



Universidad de Oviedo

Máster en Recursos Geológicos e
Ingeniería Geológica

Peligrosidad por inundaciones en el
río Nora (Colloto) integrando datos
geomorfológicos históricos y
modelos hidráulicos

Autor: Marcos Rodríguez Fernández
Director: Jorge Marquínez García
Julio 2015

Trabajo Fin de Máster



MASTER EN RECURSOS GEOLÓGICOS E INGENIERÍA GEOLÓGICA

D. Marcos Rodríguez Fernández, autor del presente Trabajo, de título *“Peligrosidad por inundaciones en el río Nora (Colloto) integrando datos geomorfológicos históricos y modelos hidráulicos”*, solicita su presentación como Trabajo Fin de Máster de la Universidad de Oviedo.

Oviedo, 15 de julio de 2015

Fdo: Marcos Rodríguez Fernández

D. Jorge Marquínez García del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, y Director del Trabajo Fin de Máster, certifica que el documento presentado por D. Marcos Rodríguez Fernández, titulado *“Peligrosidad por inundaciones en el río Nora (Colloto) integrando datos geomorfológicos históricos y modelos hidráulicos”*, reúne las condiciones necesarias para ser admitido como Trabajo Fin de Máster en la Universidad de Oviedo.

Y para que así conste dónde convenga, firma la presente certificación

En Oviedo, a 15 de julio de 2015.

Fdo: Jorge Marquínez García

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	9
2. ZONA DE ESTUDIO	10
2.1. GEOLOGÍA	14
2.2. HIDROGEOLOGÍA.....	16
2.3. CLIMA	17
3. OBJETIVOS	19
4. INFORMACIÓN DISPONIBLE	19
4.1. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	19
4.1.1. Modelo digital del terreno (MDT).....	20
4.1.2. Ortofotos PNOA	21
4.1.3. Fotos aéreas históricas	23
4.2. INFORMACIÓN DE INUNDACIONES HISTÓRICAS.....	24
4.2.1. Revisión de documentación y eventos	24
4.2.2. Datos de calados	25
4.3. CAUDALES DE REFERENCIA	26
4.3.1. Plan Hidrológico Norte III.....	28
4.3.2. CAUMAX	28
4.3.3. Máxima Crecida Ordinaria (MCO).....	29
4.4. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (Nº DE MANNING).....	30
5. METODOLOGÍA.....	32
5.1. TRATAMIENTO Y MEJORA DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT).....	32
5.1.1. Edición del modelo digital del terreno (MDT).....	34
5.1.2. Otros tratamientos	40
5.2. PRECISIÓN ORTOFOTOS PNOA.....	42
5.3. ORTOFOTOS HISTÓRICAS	44
5.3.1. Composición y georreferenciación	44
5.4. GEOMORFOLÓGICO E HISTÓRICO	48
5.4.1. Delimitación del DPHP	48
5.4.2. Recorrido geomorfológico	49
5.5. CÁLCULO DE AVENIDAS (ANÁLISIS HIDRÁULICO).....	52
5.5.1. Pre-procesado.....	52
5.5.2. Procesado	55
5.5.3. Post-procesado	57
5.6. CÁLCULO DE LA VÍA DE INTENSO DESAGÜE (VID).....	57
6. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO E HISTÓRICO.....	59
6.1. HISTÓRICO DE EVENTOS DE INUNDACIONES.....	59

6.1.1.	Análisis estadístico	60
6.2.	PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DEL DPHP	61
6.2.1.	Periodo 1946 - 1957.....	62
6.2.2.	Periodo 1957 - 1984.....	64
6.2.3.	Periodo 1984 - 2006.....	65
6.2.4.	Periodo 2006 - 2011.....	66
6.3.	ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO	67
6.3.1.	Cauces activos.....	69
6.3.2.	Morfologías canaliformes	70
6.3.3.	Zonas encharcadas.....	71
6.3.4.	Terrazas.....	71
6.3.5.	Diques o motas	72
6.3.6.	Canalizaciones y Colectores	72
6.3.7.	Rellenos antrópicos.....	73
6.3.8.	Restos de inundaciones, arribazones y huellas del paso del agua.....	74
6.4.	CONSIDERACIONES GEOMORFOLÓGICO HISTÓRICO.....	75
7.	ANÁLISIS HIDRÁULICO	76
7.1.	MODELOS HIDRÁULICOS	76
7.1.1.	Máxima Crecida Ordinaria (MCO).....	76
7.1.1.1.	HEC-RAS.....	77
7.1.1.2.	HEC-GeoRAS	77
7.1.2.	Avenidas Q10, Q100 y Q500	80
7.1.2.1.	HEC-RAS.....	80
7.1.2.2.	HEC-GeoRAS	82
7.1.3.	Vía de Intenso desagüe (VID).....	89
7.1.4.	Zona de flujo preferente (ZFP).....	91
7.2.	CALIBRACIÓN.....	95
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	96
8.1.	DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO PROBABLE (DPHP)	97
8.2.	ZONA DE FLUJO PREFERENTE (ZFP).....	100
8.3.	ZONIFICACIÓN DEL ÁREA INUNDABLE (HIDRAULICO – GEOMORFOLÓGICO).....	106
9.	CONCLUSIONES.....	109
10.	BIBLIOGRAFÍA	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Situación y Ortofoto de la zona de estudio (Elaboración propia).	10
Figura 2:	Situación de la cuenca del río Nora y las ARPSIs en el Principado de Asturias (Elaboración propia).	11
Figura 3:	Situación del río Nora en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico (Elaboración propia).	12
Figura 4:	Mapa de unidades geomorfológicas de Asturias (Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias. PORNA).....	13
Figura 5:	Encuadre de la zona objeto de estudio en las unidades geológicas del Principado de Asturias (Elaboración propia).....	14
Figura 6:	Vista de los materiales Terciarios del Surco de Oviedo-Infiesto (Rodríguez, M. Blanco, J. (2010) Estudio geotécnico Apoyo 45 Piloña. Línea de 400 kV Soto de Ribera – Penagos. INGE SL. Ref: 10-043).....	15
Figura 7:	Geología de la zona de estudio (GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España [en línea]. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. IGME. Editor: J. Navas [Fecha de consulta 06/03/2015]. Disponible en: http://cuarzo.igme.es/sigeco/default.htm).	16
Figura 8:	Unidades Hidrogeológicas en el Principado de Asturias (Elaboración propia).	17
Figura 9:	Temperaturas medias máximas y mínimas anuales de Asturias (Felicísimo, 1990).....	17
Figura 10:	Mapas de precipitación máxima en 24 horas obtenidos para diferentes períodos de retorno (Riesgos Naturales en Asturias. INDUROT, 2003)	18
Figura 11:	Vista de la hoja 0029 del MDT05-0029-H30-LIDAR.asc.	20
Figura 12:	Extracto Ortofoto PNOA 2011 del área objeto de estudio (Ortofotos PNOA del IGN)	22
Figura 13:	Extracto Ortofoto PNOA 2006 del área objeto de estudio (Ortofotos PNOA del IGN)	22
Figura 14:	Escaneo de un fotograma del Vuelo Americano Serie B 1957 (http://fototeca.cnig.es).	23
Figura 15:	Datos de calados en inundaciones INDUROT (2004), TRAGSA e INDUROT (2010).	25
Figura 16:	Ficha resumen ARPSI ES018-AST-34-1 (Mapas de peligrosidad y riesgo de inundación. Junio 2014. Confederación Hidrográfica del Cantábrico).....	27
Figura 17:	Plan Hidrológico Norte III. Caudales específicos de avenidas en función de la cuenca afluyente y del periodo de retorno T. (R.D. 1664/1998).	27
Figura 18:	Polígonos de usos del suelo (SIOSE2005) sobre ortofoto PNOA2006.	30
Figura 19:	Usos del suelo. Izquierda. Polígonos del SIOSE2005. Derecha. Polígonos SIOSE2005 editados sobre la Ortofoto PNOA2006.	31
Figura 20:	Izquierda. MDT05 del río Nora en Colloto. Derecha. MDT05 en el CC Parque Principado.....	33
Figura 21:	Izquierda. MDT05 del río Nora entre Colloto y Folgueras. Derecha. Ortofoto PNOA2011	34
Figura 22:	Clip de la zona de la hoja objeto de estudio sobre la hoja 0029 MDT05.	35
Figura 23:	Salida de Filtro BAJO (LOW) de un ráster con un dato anómalo (http://resources.arcgis.com)	35
Figura 24:	Diferencia entre MDT05Lidar con y sin filtro en un perfil cercano al Puente de Colloto.	36
Figura 25:	Puntos de control sobre el cauce del río Nora de la ortofoto PNOA 2006.	37

Figura 26:	TIN creado a partir de los puntos del control.	37
Figura 27:	Ráster generado a partir del TIN_cauce.	38
Figura 28:	Capa ráster extraída, raster_cauce.	39
Figura 29:	MDT05 Lidar editado para eliminar zonas de vegetación y puentes.	39
Figura 30:	Diferencias en la zona del cauce del MDT de partida y el MDT editado en la zona del cauce. ..	40
Figura 31:	Vista de sumidero y pico, antes y después de Fill Sink (http://resources.arcgis.com)	41
Figura 32:	Zonas encharcadas casi permanentemente, con vegetación hidrófila.	41
Figura 33:	Reacondicionamiento de un cauce (Manual Hec-GeoHMSv.5.US Army Corps of Engineers)	42
Figura 34:	Distorsión en edificio IKEA. Izquierda Ortofoto PNOA 2011. Derecha Ortofoto PNOA 2006.	43
Figura 35:	Distorsiones y precisión entre ortofotos en el Puente de Colloto. Izquierda Ortofoto PNOA 2011. Derecha Ortofoto PNOA 2006.	43
Figura 36:	Imágenes obtenidas del Vuelo Americano de 1946.	44
Figura 37:	Barra de herramientas Georreferenciación ArcGis de ESRI.	45
Figura 38:	Imagen del escaneo del vuelo 1984 IRYDA sobre la Ortofoto PNOA de 2011	45
Figura 39:	Link Table de la imagen del vuelo 1984 IRYDA georreferenciada.	46
Figura 40:	Resultado de la georreferenciación de las imágenes del vuelo 1984 IRYDA.	47
Figura 41:	Izquierda escarpes sobre ráster Hillsade. Derecha escarpes sobre ráster Slope.	50
Figura 42:	Escarpes obtenidos a partir de los ráster Hillsade y Slope, sobre ortofoto PNOA2011	51
Figura 43:	Inundación de junio de 2010 sobre Ortofoto PNOA2011 con alineaciones de escarpes.	51
Figura 44:	HECRAS v 4.1 del US Army Corps of Engenieers.	52
Figura 45:	Herramientas de la extensión HEC-GeoRAS para el pre-procesamiento.	52
Figura 46:	Capas creadas durante el Pre-proceso de la información geométrica en HEC-GeoRAS.	53
Figura 47:	Transformación de información plana en altimétrica, antes de ser exportada a HEC-RAS.	54
Figura 48:	Extracción del coeficiente de rugosidad de Manning.	54
Figura 49:	Izquierda. Visualización HEC-RAS de la geometría de HEC-GeoRAS. Derecha. Vista en 3D.	55
Figura 50:	Datos de flujo y condiciones de contorno para el análisis hidráulico Q10, Q100 y Q500.	55
Figura 51:	Análisis hidráulico en régimen de flujo mixto.	55
Figura 52:	Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para Q100.	56
Figura 53:	Sección longitudinal y una transversal para Q100.	56
Figura 54:	Izquierda. Extensión superficie inundada para Q500. Derecha. Ráster velocidades para Q500.	57
Figura 55:	Esquema de Encroachment. (Fuente: Manual HEC-RAS del US Army Corps of Engineers)	58
Figura 56:	Resultado del tratamiento estadístico de los eventos históricos del río Nora desde 1972.	60
Figura 57:	Propuesta de delimitación del DPHP año 1946	62

Figura 58:	Propuesta de delimitación del DPHP año 1957	62
Figura 59:	Fotografía actual de una morfología canaliforme en Folgueras, con actividad en época de avenidas.	63
Figura 60:	Propuesta delimitación del DPHP año 1984	64
Figura 61:	Propuesta delimitación del DPHP año 2006	65
Figura 62:	Propuesta delimitación del DPHP año 2011	66
Figura 63:	Variación en la dinámica fluvial del río Nora. Izquierda año 2006. Derecha año 2011.	66
Figura 64:	Emplazamientos de los reconocimientos geomorfológicos llevados a cabo.	68
Figura 65:	Canales activos a lo largo de la zona objeto de estudio en diversos emplazamientos (La numeración de la esquina superior izquierda corresponde al punto de localización de la Figura 64).	69
Figura 66:	Morfologías canaliformes en diversos emplazamientos de la zona de estudio.	70
Figura 67:	Encharcamientos a lo largo de la zona objeto de estudio en diversos emplazamientos.	71
Figura 68:	Diques a lo largo de la zona objeto de estudio en diversos emplazamientos.	72
Figura 69:	Canalizaciones y colectores a lo largo de la zona objeto de estudio en diversos emplazamientos.	73
Figura 70:	Relleno antrópico en el entorno del Polígono del Nora.	74
Figura 71:	Restos de plásticos y huellas de paso de agua a lo largo de la zona de estudio del río Nora.	74
Figura 72:	Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para la MCO.	77
Figura 73:	Sección longitudinal y una transversal para MCO.	77
Figura 74:	Calados de la lámina de agua en la inundación de la MCO.	78
Figura 75:	Velocidades de la lámina de agua en la inundación de la MCO.	79
Figura 76:	Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para Q10.	80
Figura 77:	Sección longitudinal y una transversal para Q10.	81
Figura 78:	Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para Q100.	81
Figura 79:	Sección longitudinal y una transversal para Q100.	81
Figura 80:	Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para Q500.	82
Figura 81:	Sección longitudinal y una transversal para Q500.	82
Figura 82:	Calados de la lámina de agua en la inundación Q10.	83
Figura 83:	Velocidades de la lámina de agua en la inundación Q10.	84
Figura 84:	Calados de la lámina de agua en la inundación Q100.	85
Figura 85:	Velocidades de la lámina de agua en la inundación Q100.	86
Figura 86:	Calados de la lámina de agua en la inundación Q500.	87
Figura 87:	Velocidades de la lámina de agua en la inundación Q500.	88

Figura 88:	Extensión de la Vía de Intenso Desagüe (VID) y los encroachments en la superficie inundada correspondiente a T100 años.....	89
Figura 89:	Sección transversal con la altura de la inundación Q100, la VID y los encroachments.	90
Figura 90:	Extensión de la VID en la zona objeto de estudio.	90
Figura 91:	Extensión de la VID editada en la zona objeto de estudio.	91
Figura 92:	Zona de Inundación Peligrosa ZIP (en rojo).	93
Figura 93:	Zona de Flujo Preferente ZFP, unión VID + ZIP.	94
Figura 94:	Calibración. Ráster de calados Q10 y datos de calado medidos	95
Figura 95:	DPHP históricos definidos en el estudio geomorfológico histórico.	97
Figura 96:	Comparativa DPHP histórico con ZFP (rojo) en Colloto.	98
Figura 97:	Comparativa DPHP histórico con ZFP (rojo) en el entorno del Polígono del Nora.	99
Figura 98:	Comparativa DPHP histórico con ZFP (rojo) en el entorno del Polígono del Nora.	100
Figura 99:	Colloto. Arriba ZFP de la ARPSI. Abajo ZFP obtenida en este estudio.	101
Figura 100:	Polígono del Nora. Arriba. ZFP de la ARPSI. Abajo. ZFP obtenida en este estudio.	102
Figura 101:	Folgueras. ZFP de la ARPSI.	103
Figura 102:	Folgueras. ZFP obtenida en este estudio.	104
Figura 103:	C.C. Parque Principado. Arriba ZFP de la ARPSI. Abajo ZFP obtenida en este estudio.	105
Figura 104:	Superficies de inundación de la avenida Q10.	106
Figura 105:	Superficies de inundación de la avenida Q100.	107
Figura 106:	Perfil PK 2819.14 en el Polígono del Nora. Altura lámina de agua para Q10, Q100 y Q500. ...	108
Figura 107:	Superficies de inundación de la avenida Q500.	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas UTM de los límites de la zona objeto de estudio.	11
Tabla 2.	Superficies sector occidental por C.A. y provincia (Fuente: Ámbito territorial. www.chcantabrico.es).	12
Tabla 3.	Relación de ortofotos PNOA empleadas durante este estudio.....	21
Tabla 4.	Fotografías históricas recopiladas.....	23
Tabla 5.	Caudales de cálculo para la delimitación de zonas inundable según el Plan Hidrológico Norte III... ..	28
Tabla 6.	Caudales para varios periodos de retorno, obtenidos de CAUMAX	28
Tabla 7.	Comparativa valores de caudal CAUMAX y P.H. Norte III.	29
Tabla 8.	Caudales de la MCO, obtenidos de CAUMAX.....	29
Tabla 9.	Valores de rugosidad de Manning de los polígonos SIOSE2005 de la zona objeto de estudio.	31
Tabla 10.	Datos de la georreferenciación de los vuelos escaneados.....	47
Tabla 11.	Eventos registrados de inundaciones en el río Nora y afluentes a su paso con los Concejos de Oviedo y Siero.	59
Tabla 12.	Datos de calados históricos y calados calculados Q10	95

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio de la peligrosidad por inundaciones en el ARPSI ES018-AST-34-1 de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental en el río Nora (Colloto).

Para ello, se realiza un análisis geomorfológico histórico una vez georreferenciadas la serie de fotografías históricas de la zona objeto de estudio.

Por otro lado, se realizan las correcciones necesarias en el MDTLidar de la zona, para mejorar la fiabilidad de los modelos hidráulicos que se obtienen mediante el software HEC-RAS y para los cuales se han tomado como base los caudales de referencia obtenidos del Plan Hidrológico Norte III y CAUMAX.

Una vez modelizada la superficie de inundación para un periodo de retorno de T100 años y la Vía de Intenso Desagüe (VID) mediante los softwares ArcGIS y HEC-RAS, se obtiene el área ocupada por la Zona de Flujo Preferente (ZFP), en la que se producen graves daños sobre las personas y los bienes.

De este modo, se obtiene información que pudiera ser de utilidad para la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación en base a la aplicación de la Directiva 2007/60/CE.

ABSTRACT

This report is focused on the study of flood hazard in the ARPSI ES018-AST-34-1 in the Nora river (Colloto) in the Western Cantabrian River Basin.

An historical and geomorphological data analysis is performed after georeferencing a historical photo collection in the area of study.

Furthermore, there were made corrections in the MDT Lidar layers in order to improve the reliability of the hydraulic models. These, were treated by software HEC-RAS and had been obtained from reference flow rates contained in the Plan Hidrológico Norte III and CAUMAX

The flood area for T100 years and the high runoff path (VID) were modeled by ArcGIS and HEC-RAS. This way, the preferential flow paths (ZFP) which can cause or threaten to cause serious damage to people and goods, are carried out properly.

Thereby, this information could be useful for the preparation of the Flood Risk Management Plan based on the application of Directive 2007/60 / EC.

1. INTRODUCCIÓN

La **Directiva 2000/60/CE**, de 23 de octubre de 2000, establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, imponiendo la elaboración de planes de gestión de cuenca fluvial para cada demarcación hidrográfica con objeto de conseguir un buen estado químico y ecológico, y contribuir a mitigar los efectos de las inundaciones.

En octubre de 2007 tiene lugar la aprobación de la **Directiva 2007/60/CE** sobre evaluación y gestión de riesgos de inundación, en la que se exige a los Estados miembros la caracterización de aquellas zonas especialmente expuestas a riesgo de inundación, determinando la extensión de las mismas, siendo de aplicación tanto para las aguas continentales como costeras en todo el territorio de la UE.

Para ello, se debe llevar a cabo una primera **evaluación preliminar (2011)**. Elaborando posteriormente unos **mapas de peligrosidad y riesgo de inundación (2013)** y así, establecer **planes de gestión del riesgo de inundación** centrados en la prevención, la protección y la preparación **(2015)**.

En España con el **R.D. 9/2008** que modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (R.D. 849/1986) y la trasposición de la Directiva 2007/60/CE mediante el **R.D 903/2010** de evaluación y gestión de los riesgos de inundación se pone en marcha el **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas inundables (SNCZI)**.

El R.D. 903/2010 tiene como entre sus principales objetivos obtener un adecuado conocimiento y evaluación de los riesgos asociados a las inundaciones y lograr una actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones, fijando asimismo, el contenido de los Planes de Gestión con diversas medidas:

- Restauración fluvial e hidrológico-agroforestal de las cuencas.
- Mejora del drenaje de infraestructuras lineales.
- Predicción de avenidas.
- Protección civil.
- Ordenación territorial y urbanismo.
- Promoción de seguros frente a inundación de personas y bienes y, en especial, los agrarios.
- Medidas estructurales y estudios coste-beneficio, así como las posibles medidas de inundación controlada de terrenos.

El R.D. 849/1986, junto con el R.D. Legislativo 1/2001, establecen las medidas para la protección de las diversas masas de agua, delimitando los terrenos pertenecientes al Dominio Público Hidráulico, y aquellas zonas que puedan quedar anegadas y como consecuencia, afectar a bienes materiales y/o humanos, para de este modo, garantizar su seguridad.

De este modo, en el R.D. 849/1986 se define una zona inundable.

Artículo 14. 1. Se consideran zonas inundables las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas, a menos que el Ministerio de Medio Ambiente, a propuesta del organismo de cuenca fije, en expediente concreto, la delimitación que en cada caso resulte más adecuada al comportamiento de la corriente.

2. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se sitúa entre los Concejos de Oviedo y Siero, en el entorno del núcleo rural de Folgueras, al norte de la localidad de Colloto, a unos 5,0 Km al NE de Oviedo, capital del Principado de Asturias.

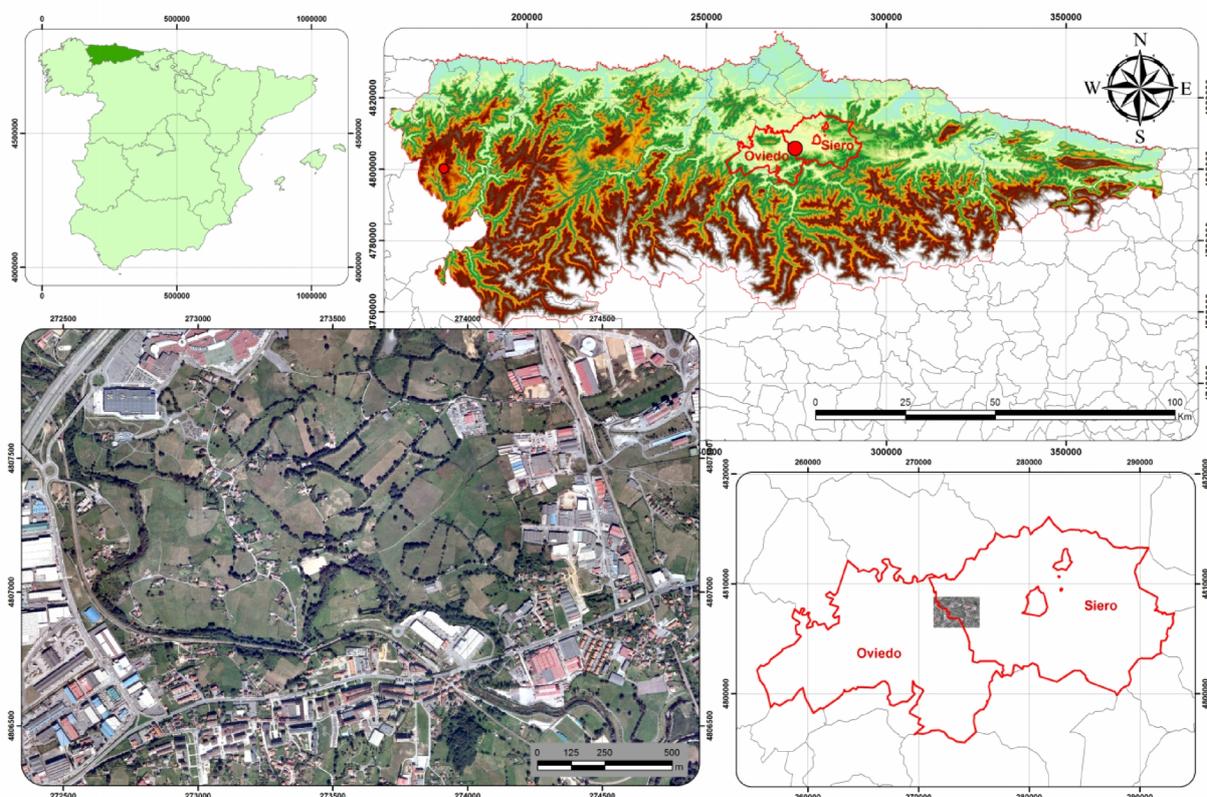


Figura 1: Situación y Ortofoto de la zona de estudio (Elaboración propia).

Las coordenadas UTM de los límites de la zona objeto de estudio se muestran en la tabla 1.

	Norte		
	4808924.28		
Oeste	271342.22	275504.91	Este
	4806132.19		
	Sur		

Tabla 1. Coordenadas UTM de los límites de la zona objeto de estudio.

En diciembre de 2011 la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, aprobó la primera fase correspondiente a la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental.

Las ARPSIs son áreas en las que existe un riesgo potencial significativo de inundación, o aquellas en las que pueda considerarse probable la presencia de riesgo, a partir de los estudios de Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI), en base al artículo 5 del R.D. 903/2010.

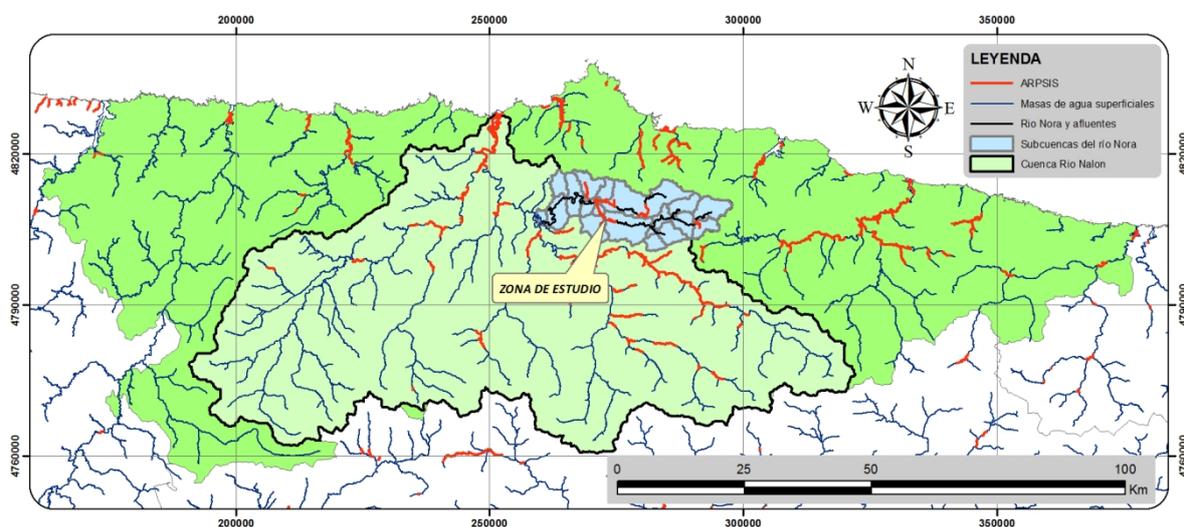


Figura 2: Situación de la cuenca del río Nora y las ARPSIs en el Principado de Asturias (Elaboración propia).

En Asturias se inventariaron 64 áreas con riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs), asociadas a avenidas fluviales y otras 10 de componente mareal (Figura 2). La zona de estudio corresponde al **ARPSI ES018-AST-34-1**.

La Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, según el Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, "comprende el territorio de las cuencas hidrográficas de los ríos que vierten al mar Cantábrico desde la cuenca del río Eo, hasta la cuenca del Barbadun, excluidas ésta última y la intercuenca entre la del arroyo de La Sequilla y la del río Barbadun, así como todas sus aguas de transición y costeras. Las aguas costeras tienen como límite oeste la línea con orientación 0º que pasa por la Punta de Peñas Blancas, al oeste del río Eo, y como límite este la línea con orientación 2.º que pasa por Punta del Covarón, en el límite entre las Comunidades Autónomas de Cantabria y del País Vasco".

La DHC Occidental limita por el Oeste con las demarcaciones del Miño-Sil y de Galicia Costa, por el Sur con las demarcaciones del Duero y el Ebro; y por el Este con la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental y Francia (Figura 3). La DHC Occidental ocupa una superficie total de unos 19.002 km² de los cuales cerca de 17.444,00 km² son de la parte continental y transición; el resto corresponde a las masas de agua costeras.

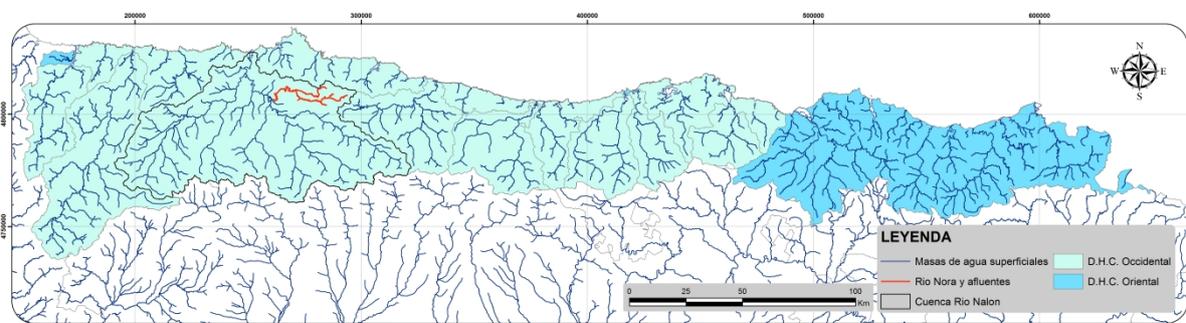


Figura 3: Situación del río Nora en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico (Elaboración propia).

Se extiende por 5 Comunidades Autónomas y 6 Provincias, mayoritariamente Asturias y Cantabria, aunque también quedan incluidas en él pequeñas porciones de las provincias de León, Lugo, Palencia y Vizcaya (Tabla 2).

C.A.	PROVINCIA	TOTAL CC.AA (Km ²)	EN LA DHC OCCIDENTAL(Km ²)
GALICIA	Lugo	9.880,00	1.909,00
ASTURIAS	Asturias	10.611,00	10.566,00
CANTABRIA	Cantabria	5.318,00	4.405,00
PAIS VASCO	Vizcaya	2.216,00	188,00
CASTILLA Y LEON	León	15.590,00	276,00
	Palencia	8.049,00	7,00
TOTAL		51.664,00	17.351,00

Tabla 2. Superficies sector occidental por C.A. y provincia(Fuente: Ámbito territorial. www.chcantabrico.es).

El río Nora, nace en Valvidares, en el concejo de Sariego, a una altura aproximada de 320 m, en el Cordal de la Peña de los Cuatro Jueces, que hace de divisoria con la cuenca costero-litoral centro-oriental, cruza Siero y Noreña, para hacer de frontera entre Oviedo y Llanera y Las Regueras.

Con una longitud de 77,60 km, se trata del mayor afluente del río Nalón por la derecha, y el que nace a menor altitud, por lo que presenta muy poca pendiente;de hecho, gran parte de su recorrido lo realiza atravesando grandes vegas, como la de Sariego y solo al final, hasta rodear por el Norte la sierra del Naranco, se encajona para desembocar embalsado en el Nalón, en el embalse del "Furacón", cerca de San Pedro de Nora.

Drena una cuenca de 377 Km², mostrando en la estación 1343 de SanCucao (Llanera), un caudal medio anualde 6,144 m³/s y un caudal máximo y mínimomensual de 46,17 m³/sy0,24 m³/s, respectivamente.



Figura 4: Mapa de unidades geomorfológicas de Asturias (Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias. PORNA).

Asimismo, el área objeto de estudio, se encuentra en la denominada Cuenca Mesozoico-Terciaria de Asturias (Figura 4), que se extiende a lo largo del sector centro-septentrional de Asturias, presentando relieves poco importantes sobre los que se asientan numerosos núcleos de población y una importante actividad industrial.

La situación de la cuenca del río Nora en el seno de esta unidad geomorfológica es la que confiere a este río unas características que difieren del resto de los ríos de la Cordillera Cantábrica, presentando una dirección predominante E-W, así como una pendiente relativamente llana, en consonancia con la morfología que presenta la Cobertera Mesozoico-Terciaria de Asturias.

Además del suave relieve, son característicos de esta unidad los suelos ricos y profundos que, junto con el clima benigno, han propiciado un intenso uso agrícola y ganadero. Por otra parte, la estructura y la naturaleza de algunas de las formaciones geológicas existentes ha dado lugar a importantes acuíferos subterráneos.

2.1. GEOLOGÍA

Esta área se engloba dentro de la Hoja Nº 29 (13-04) de Oviedo, del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1:50.000, del I.G.M.E (M. Gervilla, C. Beroiz, R. Pignateli, A. Baron, J.E. Coma, C. Felgueroso, J. Ramírez del Pozo y G. Giannini, 1973. Mapa geológico. Hoja 29 10-04. Oviedo. Madrid: IGME. Instituto Geológico y Minero. Mapa Geológico de España, MAGNA. Escala 1:50.000).

Estratigráfica y estructuralmente la Hoja de Oviedo incluye dos conjuntos diferenciados, el Paleozoico, de reducida extensión en sus afloramientos, distribuido en manchas aisladas por los bordes este y sur de la Hoja y el Mesozoico y Terciario, que ocupan casi la totalidad de la superficie, situándose el área de estudio dentro de esta zona.

Este Terciario está localizado en el Suroccidente de la Cuenca Meso-terciaria de Asturias (Figura 4), en la que se distinguen tres unidades principales:

- 1) Cuenca de Gijón-Villaviciosa
- 2) Franja móvil intermedia
- 3) Surco de Oviedo

La zona de estudio se encuentra dentro del denominado Surco de Oviedo-Infiesto, el cual, representa una zona de alto o umbral desde el Triásico hasta el Cretácico Inferior, faltando los sedimentos del Triásico Superior y Jurásico(Figura 5).

Posteriormente, por efecto de un basculamiento al sur, relacionado con el accidente de la franja móvil intermedia, se depositaron sedimentos del Cretácico Inferior (facies de Utrillas) y del Cretácico Superior, en facies marina poco profunda.

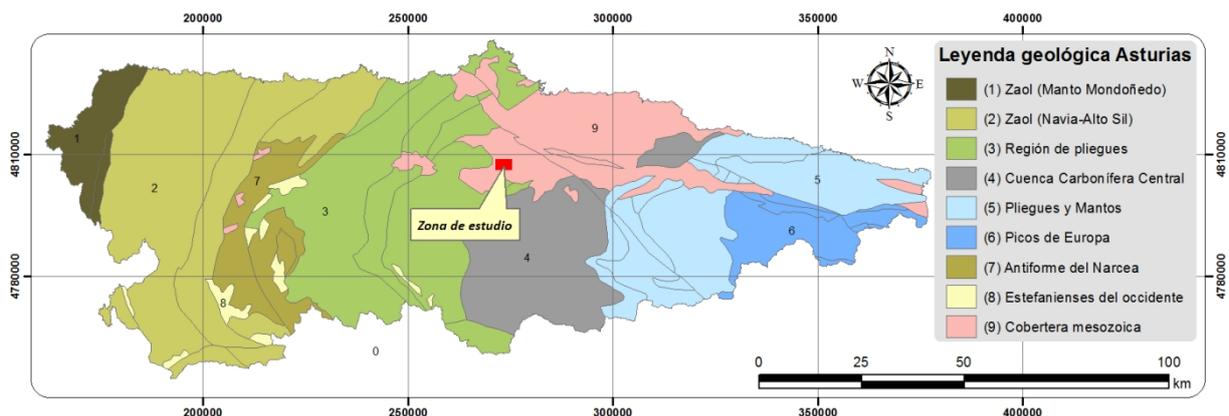


Figura 5: Encuadre de la zona objeto de estudio en las unidades geológicas del Principado de Asturias (Elaboración propia).

Sobre los depósitos Cretácicos se encuentran los materiales Terciarios de facies



continentales, constituidos por arcillas, arenas, a veces conglomeráticas, calizas lacustres y conglomerados preferentemente calcáreos, denominados, "Pudinga de Posada" (Figura 6).

Figura 6: Vista de los materiales Terciarios del Surco de Oviedo-Infiesto (Rodríguez, M. Blanco, J. (2010) Estudio geotécnico Apoyo 45 Piloña. Línea de 400 kV Soto de Ribera – Penagos. INGE SL. Ref: 10-043).

Debido al extraordinario recubrimiento que se observa en toda la cuenca Oviedo-Infiesto y muy particularmente al carácter de suaves pliegues que presenta todo el Terciario, resulta muy difícil la realización de cortes estratigráficos completos. No obstante, en la bibliografía geológica (M. Gervilla, C. Beroiz, R. Pignateli, A. Baron, J.E. Coma, C. Felgueroso, J. Ramírez del Pozo y G. Giannini, 1973. Mapa geológico. Hoja 29 10-04. Oviedo. Madrid: IGME. Instituto Geológico y Minero. Mapa Geológico de España, MAGNA. Escala 1:50.000) se definen dos conjuntos fundamentales:

- **Inferior**, de carácter detrítico terrígeno, constituido por margas limolíticas rojizas con manchas amarillentas y pequeños cantos calcáreos, arcillas gris verdosas y plásticas y arenas gruesas blanco amarillentas.
- **Superior**, con episodios de calizas lacustres, dentro de una serie predominantemente de arcillas y margas limolíticas generalmente de tonos rojizos, marrones y amarillentos, con alguna delgada intercalación de areniscas calcáreas, unos tramos de calizas y margas blancas, bien estratificadas, aunque brechoides, y de carácter lenticular.

Sobre los depósitos Terciarios anteriores, se pueden observar unos materiales Cuaternarios, representados principalmente por los aluviales de los ríos Nora y Noreña, que ocupan una cierta extensión de la parte central del Surco de Oviedo-Infiesto.

En la Figura 7 se muestran las formaciones geológicas presentes a lo largo de la zona objeto de estudio.

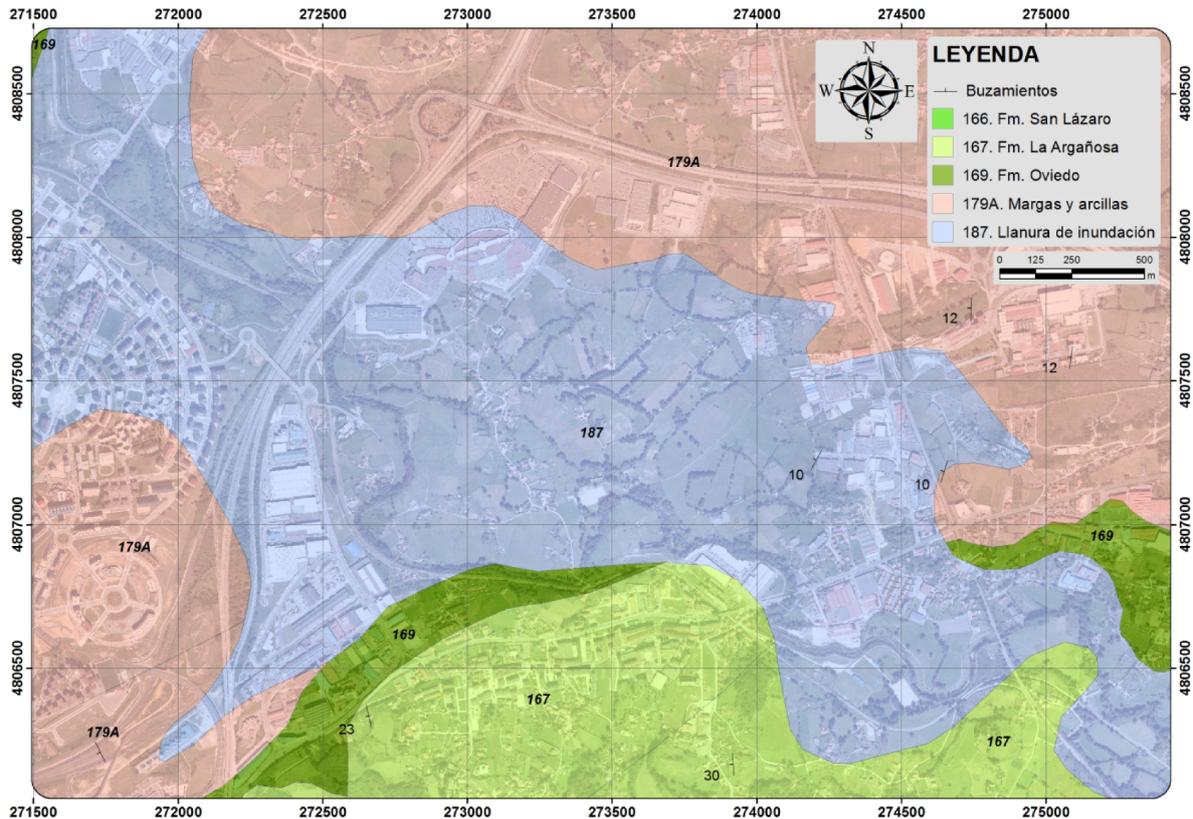


Figura 7: Geología de la zona de estudio (GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España [en línea]. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. IGME. Editor: J. Navas [Fecha de consulta 06/03/2015]. Disponible en: <http://cuarzo.igme.es/sigeco/default.htm>).

2.2. HIDROGEOLOGÍA

Hidrogeológicamente, el área de actuación se encuentra dentro del Sistema Nº2. Unidad Mesoter terciaria Oviedo – Cangas de Onís (Figura 8).

Al E de Pola de Siero, los materiales cretácicos sufren un fuerte estrechamiento y tectonización que permite subdividir el Sistema en dos subsistemas:

- Subsistema 2 A: Subsistema de Oviedo – Pola de Siero.
- Subsistema 2 B: Subsistema de Nava – Cangas de Onís.

Este límite arbitrario, es evidentemente abierto, aunque debido al estrechamiento, la circulación subterránea es de poca importancia. Se ha hecho esta división desde un punto de vista práctico, ya que sobre el Subsistema de Oviedo Pola de Siero, se asientan los núcleos de población más importantes, así como las mayores concentraciones industriales.

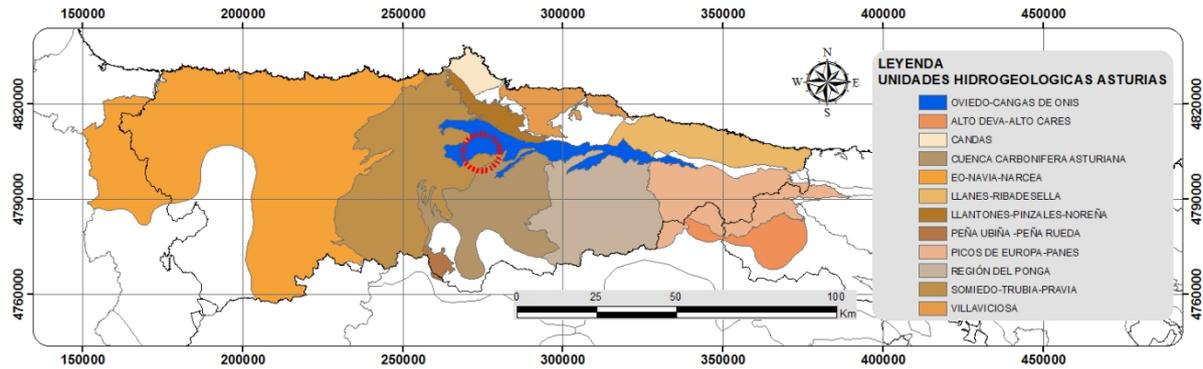
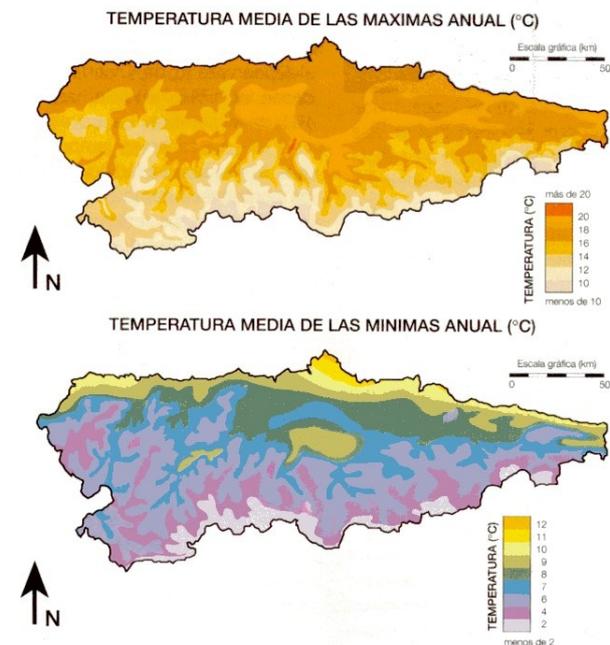


Figura 8: Unidades Hidrogeológicas en el Principado de Asturias (Elaboración propia).

2.3. CLIMA

El clima de Asturias es típicamente oceánico, con contrastes de temperatura moderados en la costa, que aumentan hacia el interior, pero sin alcanzar extremos como en la montaña leonesa o en la meseta, de características continentales.

El régimen térmico depende de varios factores, principalmente la radiación solar, de este modo, dado que Asturias se encuentra a una latitud en torno a los 43º N, se producirá fuerte estacionalidad en la radiación.



En el entorno del área objeto de estudio, el cociente entre los valores máximos y mínimos mensuales de radiación solar es de 3.9 (valores en Oviedo), mientras que para las temperaturas medias es de 2.5 (máxima de 18.7º C en agosto y mínima de 7.4 en enero) (Figura 9).

Figura 9: Temperaturas medias máximas y mínimas anuales de Asturias (Felicísimo, 1990).

La fluctuación térmica es menor que la variación de la radiación solar, hecho que es debido a la presencia y proximidad del mar, que actúa como regulador, absorbiendo o cediendo calor a las capas bajas de la atmósfera.

De este modo, la costa cantábrica presenta el régimen térmico más templado de Europa, con diferencias de temperaturas medias del mes más cálido y el más frío, que no superan los 10ºC, disminuyendo esta amortiguación ligeramente hacia los valles interiores.

Respecto al régimen de precipitaciones, la situación de Asturias, en un área sometida a la interacción de masas de aire de origen polar y de origen subtropical, explicaría esencialmente la curva de precipitaciones, con máximos invernales y descensos en época estival. Mostrando nuevamente las masas de aire y la influencia marítima, un papel decisivo en este contraste estacional.

La Cordillera Cantábrica representa un obstáculo montañoso que actúa como barrera ante la circulación de las masas de aire procedentes del Norte y Noroeste, provocando la retención de las masas nubosas. La cornisa cantábrica constituye, debido a este motivo, la región con menos insolación de la Península (unas 1800 horas anuales frente a las 2500 h de media) y sólo existen entre 30 y 50 días despejados al año (Linés Escardó, 1970).

Los mapas de precipitación máxima en 24 horas, presentan un patrón de distribución similar para los diferentes periodos de retorno, variando únicamente la intensidad de las mismas a medida que éste es mayor. (Riesgos naturales en Asturias. INDUROT. 2003).

Concretamente, en la zona de estudio varía desde 60-70 l/m² para un período de retorno de 5 años, hasta 110-120 l/m² para un período de retorno de 100 años (Figura 10).

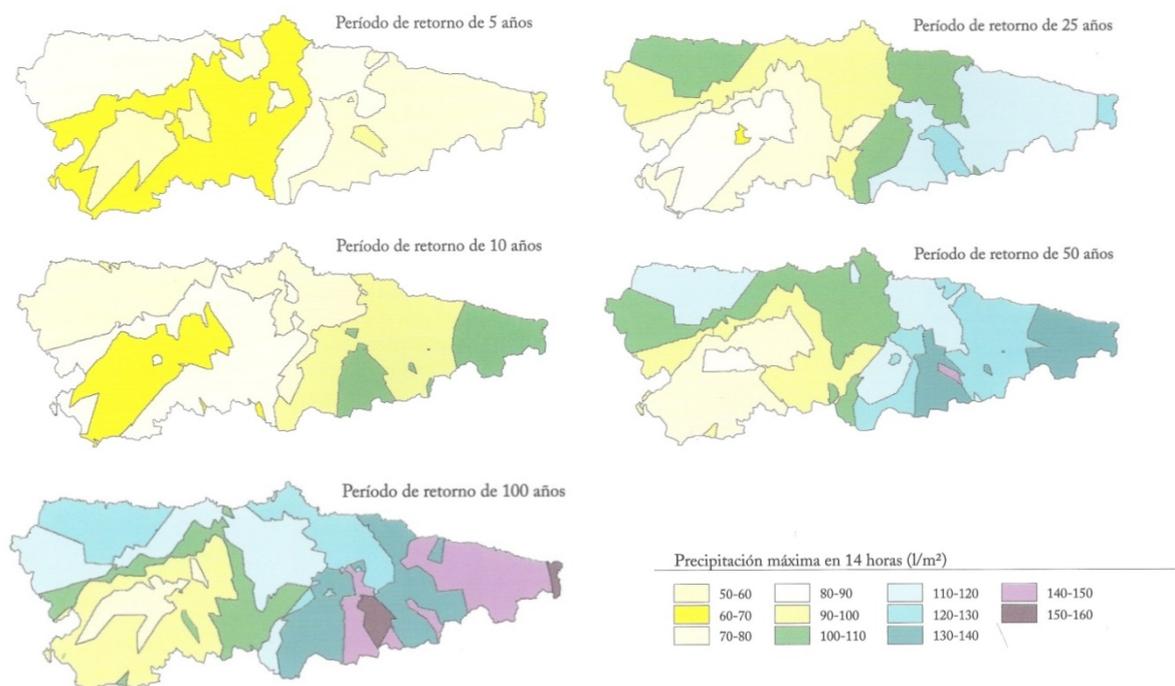


Figura 10: Mapas de precipitación máxima en 24 horas obtenidos para diferentes periodos de retorno (Riesgos Naturales en Asturias. INDUROT, 2003)

Cabe destacar que la distribución de precipitaciones está influenciada por factores, como el efecto de ladera, que da lugar al aumento de las precipitaciones a medida que asciende la altitud, o bien el abrigo orográfico, que produce una disminución de las mismas en los fondos de algunos de los valles fluviales más encajados.

3. OBJETIVOS

En el presente documento se analizarán las características que controlan los eventos de inundación en el ARPSI ES018-AST-34-1 de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental.

Para ello, se establecerán una serie de objetivos particulares, tal y como se resumen a continuación:

- Caracterización del ARPSI ES018-AST-34-1.
- Análisis geomorfológico e histórico.
- Cálculo de los caudales de referencia
- Análisis Hidráulico.
- Calibración de modelos en base a la información disponible.
- Estudio comparativo entre los valores obtenidos y los datos de la ARPSI.

De este modo, una vez analizados todos los datos obtenidos, se obtendrá información que pudiera ser de utilidad para la elaboración del Plan de Gestión Plan de Gestión del Riesgo de Inundación en base a la aplicación de la Directiva 2007/60/CE.

4. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se ha recopilado abundante información cartográfica digital, fotografías históricas, ortofotografías, datos alfanuméricos y datos de campo con el objeto de realizar un análisis que permita la consecución de los objetivos previstos.

Toda la información ha sido tratada mediante un sistema de información geográfica (ArcGIS de ESRI) y software de modelización hidráulica (HEC-RAS del US Army Corps).

4.1. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Para la elaboración del presente trabajo, se hace necesario contar con una información cartográfica de la zona objeto de estudio, lo más actual posible y con una resolución suficiente, para ello se ha contado con los siguientes archivos:

- Modelo digital del terreno (MDT) de la zona objeto de estudio.
- Ortofoto de 2006 y de máxima actualidad, correspondiente al año 2011.
- Fotografías aéreas históricas georreferenciadas.
- Mapa de usos del suelo (SIOSE2005).

Esta documentación cartográfica ha sido obtenida principalmente a través Centro Nacional de Información Geográfica del IGN, de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Agricultura, Confederación Hidrográfica del Cantábrico y del Sistema de Información Territorial del Principado de Asturias (SITPA).

Además, se han obtenido otra serie información complementaria del Instituto Geológico Minero de España, del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, y otros datos de la bibliografía revisada durante la ejecución del trabajo.

4.1.1. Modelo digital del terreno (MDT)

Del centro de descargas («© Instituto Geográfico Nacional de España» IGN) se obtuvo el modelo digital del terreno con paso de malla de 5 m (MDT05), correspondiente a la hoja 0029 de la distribución del Mapa Topográfico Nacional, a escala 1:50.000 (MTN50). En formato de archivo ASCII matriz ESRI (asc), con sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en el huso 30 correspondiente a la zona de estudio (Figura 11).

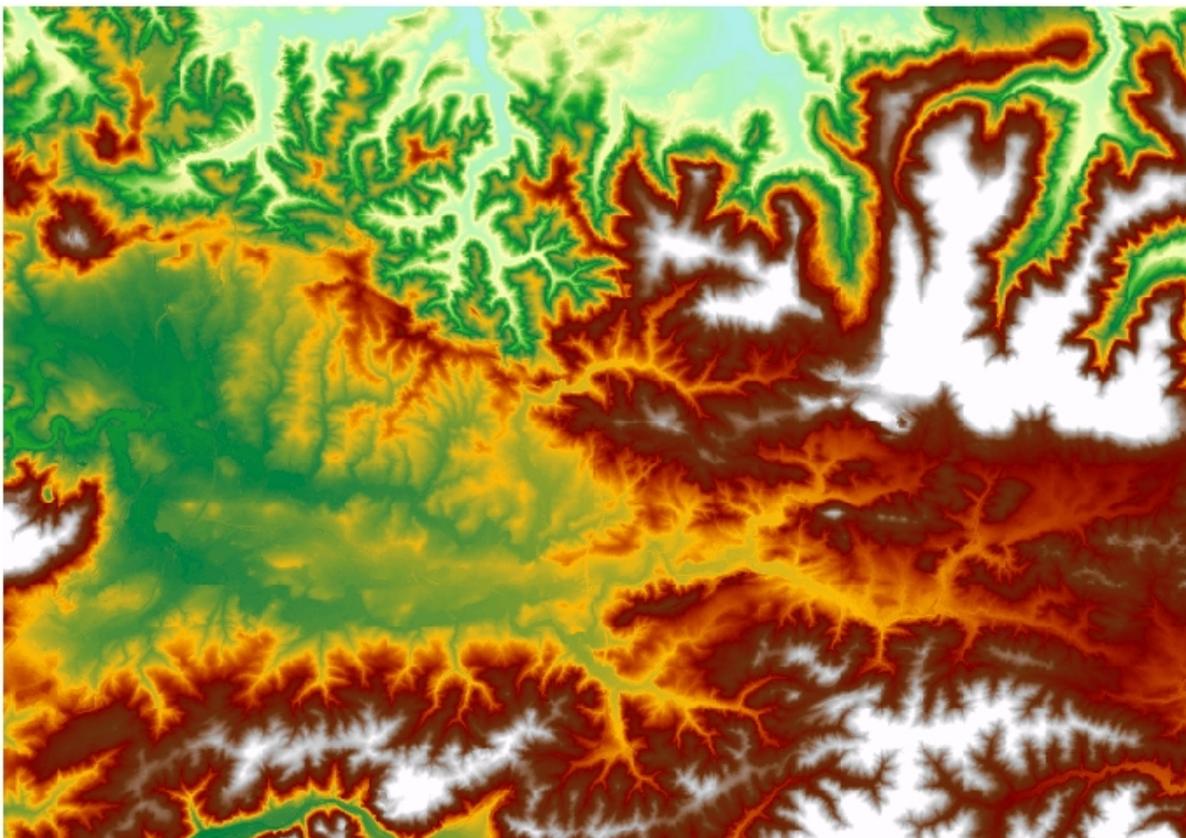


Figura 11: Vista de la hoja 0029 del MDT05-0029-H30-LIDAR.asc.

Tal como indica el IGN, según la hoja de que se trate, estos MDT05, se obtienen bien por interpolación a partir de la clase terreno de vuelos LIDAR del PNOA, o como en este caso mediante estéreo-correlación automática de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 a 50cm/píxel, revisada e interpolada con líneas de ruptura.

4.1.2. Ortofotos PNOA

El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) tiene disponibles para descarga en la web del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) un mosaico de ortofotos, en formato ECW y sistema geodésico de referencia ETRS89 en proyección UTM.

Para este estudio se ha utilizado una serie de ortofotos de la hoja 0029 de Oviedo (según la nomenclatura del MTN50) (Tabla 3), tal y como recomienda la Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI. MMAMRM, 2011).

NOMENCLATURA	AÑO VUELO	TAMAÑO PIXEL (cm)
PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h50_0029	2011	25
PNOA_ANUAL_2006_OF_ETRS89_HU30_h50_0029	2006	25

Tabla 3. Relación de ortofotos PNOA empleadas durante este estudio.

A partir de los mosaicos anteriores, con el software ArcGis 10.1 de ESRI, y la herramienta *Data Management Tools/Raster/RasterProcessing/Clip*, se han recortado las ortofotos en el área objeto de estudio (Figuras 12 y 13).



Figura 12: Extracto Ortofoto PNOA 2011 del área objeto de estudio (Ortofotos PNOA del IGN)



Figura 13: Extracto Ortofoto PNOA 2006 del área objeto de estudio (Ortofotos PNOA del IGN)

4.1.3. Fotos aéreas históricas

El “Vuelo Americano” se corresponde con dos vuelos realizados por Estados Unidos en la década de los años 1940 y en los años 1950, encontrándose disponibles los fotogramas escaneados (Figura 14) en la web del Centro Nacional de Información Geográfica (<http://fototeca.cnig.es>).

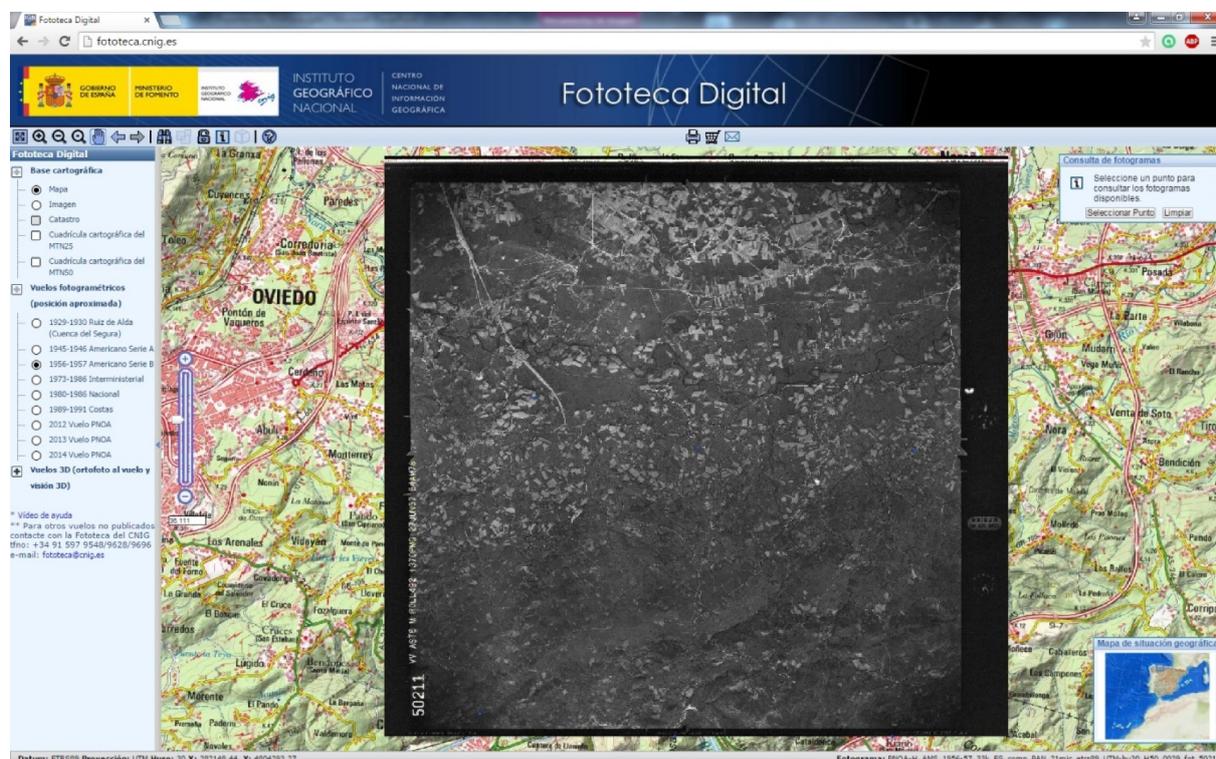


Figura 14: Escaneo de un fotograma del Vuelo Americano Serie B 1957 (<http://fototeca.cnig.es>).

Asimismo, también se han obtenido imágenes del Vuelo Fotogramétrico Nacional Interministerial, realizado entre los años 1977 – 1983 para todo el territorio nacional, también conocido como “vuelo del IRYDA” por ser el Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario el principal usuario del mismo.

La disponibilidad de este tipo de información es fundamental para el análisis de la evolución del cauce del río Nora en la zona objeto de estudio y su comparación con el estado actual.

En la tabla 5 se muestran las características principales de las imágenes obtenidas.

Año	Fecha	Denominación	Organismo	Escala vuelo	Nº Imágenes
1945-1946 Americano Serie A	07-10-1945	Vuelo AMS-46/47	Ejército del Aire (CECAF)	1:43.300	2
1956-1957 Americano Serie B	27-06-1957	Vuelo AMS-56	Ministerio de Defensa (CEGET)	1:32.000	2
1984 IRYDA	06-1984		Ministerio de Hacienda	1:18.000	2

Tabla 4. Fotografías históricas recopiladas

4.2. INFORMACIÓN DE INUNDACIONES HISTÓRICAS

La utilización del término inundación histórica se utiliza en el presente trabajo para referirse a cualquier inundación que ha tenido lugar en el pasado, donde este pasado se inicia desde el día de ayer y puede extenderse a un periodo que va de unos años a unos siglos (Barnolas y Llasat, 2007).

En el año 1983 a propuesta de la Comisión Nacional de Protección Civil se creó la Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones (CTEI), la cual recopiló y clasificó información sobre episodios de inundación en las diferentes cuencas hidrográficas.

Posteriormente, en 1995 la Dirección General de Protección Civil y Emergencias comenzó la elaboración del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH), compuesto por toda la documentación referida a cada una de cuencas hidrográficas en las que se divide el territorio nacional, e incluyendo la recopilada en su día por la CTEI.

Este catálogo contiene la información más relevante de los eventos históricos de mayor importancia, incluyendo fichas descriptivas, con la fecha del suceso, situación geográfica y el resumen de los daños ocasionados y ha servido de base para la elaboración de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) y el informe de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIS).

4.2.1. Revisión de documentación y eventos

Se han consultado varios informes, proyectos y servicios web, que contienen diversa información sobre las inundaciones que han tenido lugar en el área objeto de estudio, a fin de obtener en la medida de lo posible datos de los diferentes eventos ocurridos en la zona.

- CTEI. Cuenca del Norte de España. Inundaciones Históricas y Mapa de Riesgos Potenciales. 1986.
- Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI). SNCZI. MMAMRM(2011).
- Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIS). C.H.Cantábrico (2014).
- Proyecto de Plan de Gestión del Riesgo de Inundación. Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental(2015-2021).
- Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones del Principado de Asturias. PLANINPLA (2010).
- Web del CNIH.
http://www.proteccioncivil.org/catalogo/naturales/cnih/cnih2014/B1_Anteced.html
- Web Desinventar.

<http://www.desinventar.net/DesInventar/main.jsp?countrycode=g15>

- 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. Informe inédito. INDUROT (2004).
- Artículos de prensa en periódicos autonómicos (El Comercio, La Nueva España).

Asimismo, durante las visitas de campo realizadas, se pudo recabar cierta información de los vecinos de la zona sobre los últimos episodios de inundación.

4.2.2. Datos de calados

Para la comprobación y calibración de los modelos hidráulicos que se obtendrán en el presente trabajo, se hace necesaria la presencia de datos de calado de diversas inundaciones en el área objeto de estudio.

De esta manera, una vez revisadas las fuentes documentales descritas anteriormente, los visores disponibles en las páginas web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (<http://www.magrama.gob.es>) y de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico (<http://www.chcantabrico.es>), así como las observaciones realizadas durante las salidas de campo, se han obtenido una serie de datos de calados de la zona de estudio, que han sido digitalizados para su empleo con el resto de información cartográfica (Figura 15).



Figura 15: Datos de calados en inundaciones INDUROT (2004), TRAGSA e INDUROT (2010).

Para la calibración de los modelos hidráulicos se ha de tener en cuenta que la Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI. MMAMRM, 2011) establece que estos calados presentan diferentes precisiones en función de la fuente de referencia, debiendo considerarse los mostrados en la Figura 15 como calados mínimos u orientativos.

4.3. CAUDALES DE REFERENCIA

En la Memoria Resumen de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo de Inundación (de las ARPSIs seleccionadas en la EPRI) redactado por la C.H. Cantábrico en Febrero de 2014, se establece que según el Apartado 2 del Artículo 52 Caudales máximos de avenida y determinación de zonas inundables del Capítulo 7 PROTECCIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE Y CALIDAD DE LAS AGUAS de la Normativa del Plan Hidrológico publicado en el Boletín Oficial del Estado del sábado 8 de junio de 2013:

"2. Para la determinación de la cartografía de inundabilidad, en tanto ésta no quede definida por la Administración Hidráulica, podrán emplearse los "Criterios técnicos para la elaboración de estudios hidráulicos" que figuran en el anejo 9. En la elaboración de dichos estudios se realizará una estimación de los caudales de avenida considerados que, en ausencia de otros validados por la Administración Hidráulica, adoptarán como Caudal Máximo de Avenida los establecidos en el Plan Hidrológico Norte III, aprobado por el artículo 1.1 a) del Real Decreto 1664/1998, de conformidad con la disposición transitoria única."

De este modo, para los caudales de cálculo, se han empleado los correspondientes a alta, media y baja probabilidad de inundación que se contemplan en los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación de la ARPSI correspondiente a la zona objeto de estudio (Figura 16).

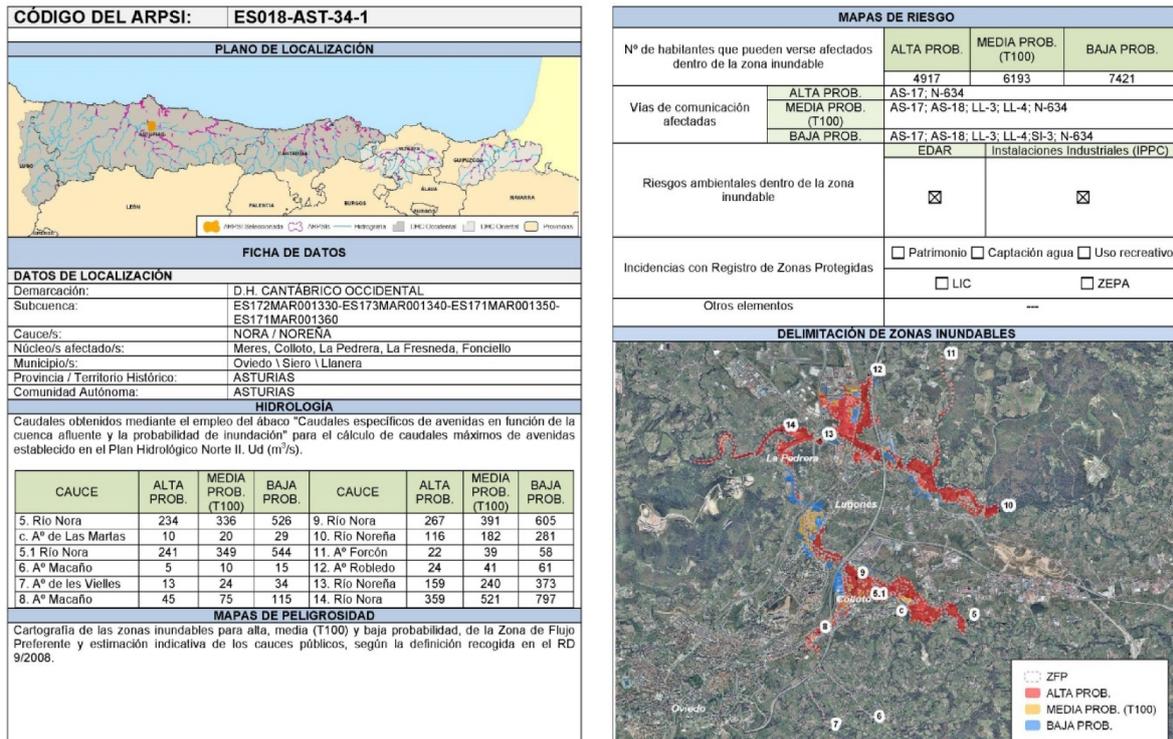


Figura 16: Ficha resumen ARPSI ES018-AST-34-1 (Mapas de peligrosidad y riesgo de inundación. Junio 2014. Confederación Hidrográfica del Cantábrico)

Estos caudales, se corresponderían con los obtenidos del gráfico G.N.1. "Caudales específicos de avenidas en función de la cuenca afluyente y del periodo de retorno T" (Figura 17) del Plan Hidrológico Norte III aprobado por Real Decreto 1664/1998.

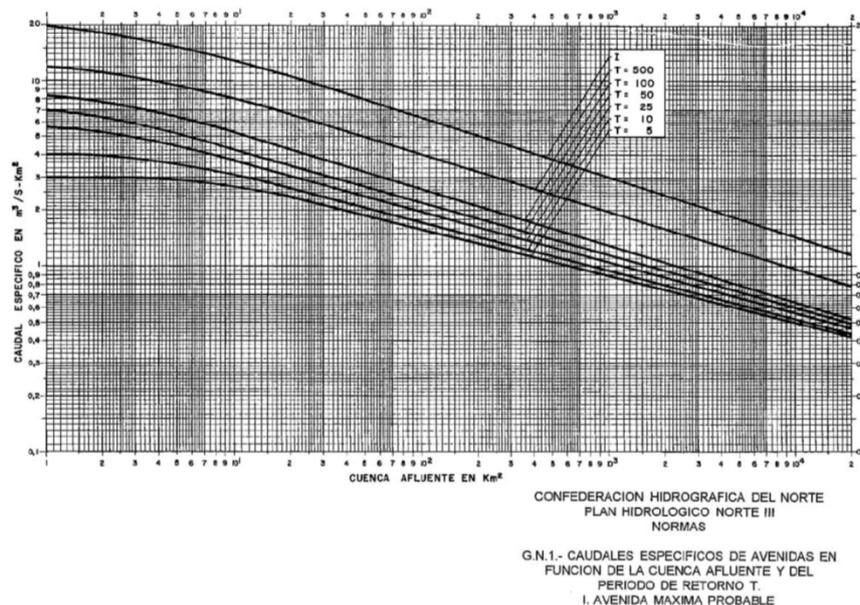
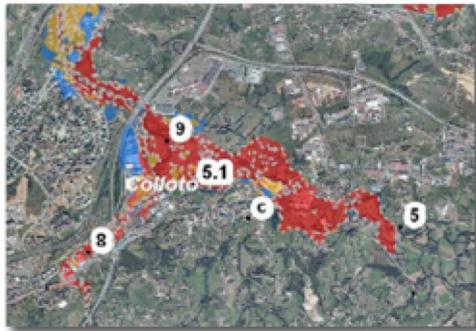


Figura 17: Plan Hidrológico Norte III. Caudales específicos de avenidas en función de la cuenca afluyente y del periodo de retorno T. (R.D. 1664/1998).

4.3.1. Plan Hidrológico Norte III

En la ficha de la Figura 16 se puede observar que a lo largo del área objeto de estudio se han establecido tres zonas con diferentes caudales para los períodos de retorno T10, T100 y T500, correspondientes a alta, media y baja probabilidad de inundación respectivamente (Tabla 5).



CAUCE	CAUDAL (m ³ /s)		
	ALTA PROB. (T10)	MEDIA PROB. (T100)	BAJA PROB. (T500)
5. Río Nora	234	336	526
5.1 Río Nora	241	349	544
9. Río Nora	267	391	605

Tabla 5. Caudales de cálculo para la delimitación de zonas inundables según el Plan Hidrológico Norte III.

4.3.2. CAUMAX

Por otro lado, la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MMAMRM) dispone de un mapa de caudales máximos CAUMAX (CEDEX, 2009), en régimen natural y formato ráster con resolución 500x500 m y varios periodos de retorno 2, 5,10,25,100 y 500.

Se ha de tener en cuenta que los caudales obtenidos mediante CAUMAX, son en régimen natural, haciéndose necesario comprobar si en la cuenca del río Nora se encuentra alguna infraestructura del tipo azudes, presas, etc. que puedan alterar dicho régimen.

Según la Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI. MMAMRM, 2011) *“la alteración del registro de caudales y volúmenes máximos anuales no es significativa si el porcentaje de cuenca controlada por los embalses es menor del 10 %”*.

De este modo, una vez comprobada la ausencia de infraestructuras que dan lugar a laminaciones que alteran el régimen natural, se obtienen los caudales para varios periodos de retorno (Tabla 6).

Zona equivalencia Tabla 6	PK (m)	COORDENADAS		CAUDALES (CAUMAX) m ³ /s			
		X	Y	Q10	Q25	Q100	Q500
5	4408	274.823.430	4.806.600.529	203	254	345	468
5	3082	274.120.333	4.806.809.410	204	255	346	470
5.1	2405	273.607.252	4.807.069.761	206	258	350	470
5.1	748	272.780.480	4.807.317.252	206	258	350	475
9	101	272.546.006	4.807.735.559	209	261	355	481

Tabla 6. Caudales para varios periodos de retorno, obtenidos de CAUMAX

Tal y como se puede observar comparando las tablas 5 y 6, los valores de caudal muestran evidentes diferencias (Tabla 7), presentando los caudales de CAUMAX valores promedio en torno a un 15,37% menores para un periodo de retorno T10 años, prácticamente similares para un periodo de retorno T100 años y un 13,69% inferiores para un periodo de retorno de T500 años, respecto a los caudales obtenidos en el P.H. Norte III.

PK (m)	CAUDALES (m ³ /s)								
	Q10			Q100			Q500		
	CAUMAX	P.H. NORTE III	% DIF	CAUMAX	P.H. NORTE III	% DIF	CAUMAX	P.H. NORTE III	% DIF
4408	203	234	-13.25	345	336	2.68	468	526	-11.03
3082	204	234	-12.82	346	336	2.98	470	526	-10.65
2405	206	241	-14.52	350	349	0.29	470	544	-13.60
748	206	241	-14.52	350	349	0.29	475	544	-12.68
101	209	267	-21.72	355	391	-9.21	481	605	-20.50
		Dif. Promedio	-15.37		Dif. Promedio	-0.60		Dif. Promedio	-13.69

Tabla 7. Comparativa valores de caudal CAUMAX y P.H. Norte III.

Por tanto, tal y como se ha comentado al inicio del presente apartado, para los cálculos hidráulicos por ser más conservadores y estar del lado de la seguridad se emplearán los caudales de referencia de las ARPSIs (Tabla 5), obtenidos del Plan Hidrológico Norte III.

De esta manera se podrán comparar los resultados obtenidos para las diferentes avenidas, con los representados en las ARPSIs.

4.3.3. Máxima Crecida Ordinaria (MCO)

Para el estudio hidráulico y la delimitación del Dominio Público Hidráulico Probable (DPHP), es necesario conocer los valores de caudal de la Máxima Crecida Ordinaria (MCO).

Dado que no se disponen de los caudales para la MCO según el Plan Hidrológico Norte III, sus valores se han obtenido de CAUMAX, debiendo tenerse en cuenta que éstos constituyen estimaciones basadas en asignar mediante fórmulas aproximadas, un valor regional al periodo de retorno correspondiente a dicha crecida.

En la Tabla 8, se muestran los valores de caudal para la MCO en los perfiles que se emplearán como referencia, no obstante, se trata de valores orientativos que no substituyen a los valores que se pudieran obtener de estudios concretos realizados para el deslinde del DPH.

PK (m)	COORDENADAS		CAUDALES MCO (CAUMAX) m ³ /s
	X	Y	
4408	274.823.430	4.806.600.529	130
3082	274.120.333	4.806.809.410	130
2405	273.607.252	4.807.069.761	132
748	272.780.480	4.807.317.252	132
101	272.546.006	4.807.735.559	134

Tabla 8. Caudales de la MCO, obtenidos de CAUMAX

4.4. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (Nº DE MANNING)

Por último, además de toda la documentación reseñada en apartados anteriores, para la realización del estudio hidráulico se debe conocer el coeficiente de rugosidad o nº de Manning asignado al tramo objeto de estudio.

Esta rugosidad depende fundamentalmente de los diferentes usos del suelo presentes a lo largo de la zona, para ello, se puede partir de la información suministrada por el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Esta información está disponible para su descarga en la página web www.siose.es. Se trata de una base de datos de ocupación del suelo de todo el territorio nacional a escala 1:25.000, correspondiente al año 2005 (Figura 18).



Figura 18: Polígonos de usos del suelo (SIOSE2005) sobre ortofoto PNOA2006.

Para la modelización hidráulica se ha de emplear la información más reciente de los usos del suelo, así las actuaciones de canalización llevadas a cabo en el cauce entre los años 2005 (año de creación del SIOSE) y 2006 (año de la ortofoto PNOA) dan lugar a la presencia de zonas en las que no se corresponde la geometría de los polígonos de usos del suelo con la actual.

Por tanto, se ha de modificar la morfología de alguno de los polígonos de usos del suelo antes de la asignación del coeficiente de rugosidad a cada uno de ellos (Figura 19).



Figura 19: Usos del suelo. Izquierda. Polígonos del SIOSE2005. Derecha. Polígonos SIOSE2005 editados sobre la Ortofoto PNOA2006.

Tal y como se recomienda en la Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, para los valores del coeficiente de rugosidad se establece como punto de partida la Tabla 1 del Anejo V(SNCZI. MMAMRM, 2011).

De este modo, una vez editada la geometría de alguno de los polígonos que delimitan parcelas del SIOSE2005, se ha creado una capa con los valores de rugosidad, asignando valores en función del tipo de uso del suelo referenciado, tal y como se muestran en la siguiente tabla:

Clasificación de usos del suelo del SIOSE2005	Nº Manning
Asentamiento agrícola residencial	0.035
Comercial y oficinas	0.1
Cultivos herbáceos distintos del arroz	0.04
Cursos de agua	0.04
Deportivo	0.09
Discontinuo	0.09
Edificación	0.1
Educación	0.1
Ensanche	0.1
Fronosas caducifolias	0.07
Frutales no cítricos	0.06
Industria aislada	0.1
Matorral	0.055
Parque urbano	0.1
Pastizal	0.035
Polígono industrial ordenado	0.1
Polígono industrial sin ordenar	0.1
Prados	0.035
Red ferroviaria	0.1
Red viaria	0.1
Religioso	0.1
Suelo No edificado	0.04
Zonas de extracción y vertido	0.04

Tabla 9. Valores de rugosidad de Manning de los polígonos SIOSE2005 de la zona objeto de estudio.

5. METODOLOGÍA

Para la consecución de los objetivos fijados para el presente trabajo, se hará uso de las siguientes aplicaciones y programas:

- **ArcGis 10.1:** Sistema de información geográfica (SIG o GIS en inglés) de ESRI, que permite reunir, organizar, compartir y analizar información espacial.
- **HEC-GeoRAS:** Extensión del software ArcGis de ESRI para el procesado de datos y como complemento al programa HEC-RAS, y la obtención de mapas de inundación y riesgo.
- **HEC-RAS 4.1.0**(HydrologicEngineering Centers RiverAnalysisSystem): Desarrollado por el US Army Corps Engineers, permite la modelización hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales.
- **CAUMAX (CEDEX):** Para el cálculo de caudales máximos instantáneos en régimen natural asociados a distintos periodos de retorno.

En general, en zonas de bajo relieve, como la zona de actuación, para el estudio de inundaciones, se recomienda el empleo del LIDAR, dado que presentará una mayor precisión y homogeneidad de resultados. No obstante, también podría presentar una serie de limitaciones, como la necesidad de batimetrías en los cauces, errores de precisión en la delineación de líneas visibles en imágenes fotográficas o bien, la dificultad de cartografiar superficies cubiertas de vegetación muy densa, dando lugar a errores de cota en el MDT final.

5.1. TRATAMIENTO Y MEJORA DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)

Un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo, A.M. 1994).

Para la realización de los estudios geomorfológicos e hidráulicos es necesario disponer de una cartografía de precisión que represente fielmente la realidad del terreno en el tramo de estudio. (SNCZI. MAGRAMA, 2011), especialmente, teniendo en consideración que el tramo de estudio presenta una topografía general relativamente llana. Por tanto, para la consecución de los objetivos de este trabajo, se debe emplear un modelo digital del terreno (MDT) tratado para eliminar los valores correspondientes a elementos distintos al terreno: vegetación, puentes, etc.

Para el levantamiento de este tipo de MDT a partir de un vuelo fotogramétrico se utilizan técnicas de correlación automática de imágenes digitales y depuración de los MDTs resultantes, resumiéndose estos en los siguientes:

1. **Creación del TIN.**A partir de puntos con cotas distribuidos aleatoriamente por el terreno y líneas de ruptura, curvas de nivel, líneas de carretera, caminos, sendas, etc.
2. **Posicionamiento del primer punto del GRID,** normalmente esquina inferior izquierda.
3. **Tamaño del paso en coordenadas X e Y.**Malla de paso de 5 metros, en X e Y.
4. **Cálculo de la coordenada Z.**El LIDAR aerotransportado realiza un barrido del terreno a partir del cual se obtienen datos altimétricos consistentes en una serie de nubes de puntos con altura de elementos del territorio (terreno, edificios, infraestructuras, árboles y vegetación). La altura se calcula a partir de la altura de la trayectoria del avión sobre el nivel del mar. Dada la cantidad de puntos existente, el modelo se construye a partir de la clasificación de los mismos de forma automática, para posteriormente revisar y editar manualmente.

Las precisiones obtenidas de un LIDAR varían según la altitud y el ángulo de barrido, entre 15-30 cm. Actualmente el LIDAR permite obtener densidades de puntos que pueden variar entre 50 a 0.33 ptos/m², siendo la densidad promedio del LIDAR nacional de 0.5 ptos/m².

Dado que la información cartográfica de partida, corresponde con una hoja MDT05, obtenida mediante correlación de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y LIDAR, se realiza un primer análisis visual en el que se han detectado una serie de limitaciones para el correcto estudio de una zona inundable y que condicionarán en cierta medida el desarrollo del trabajo.

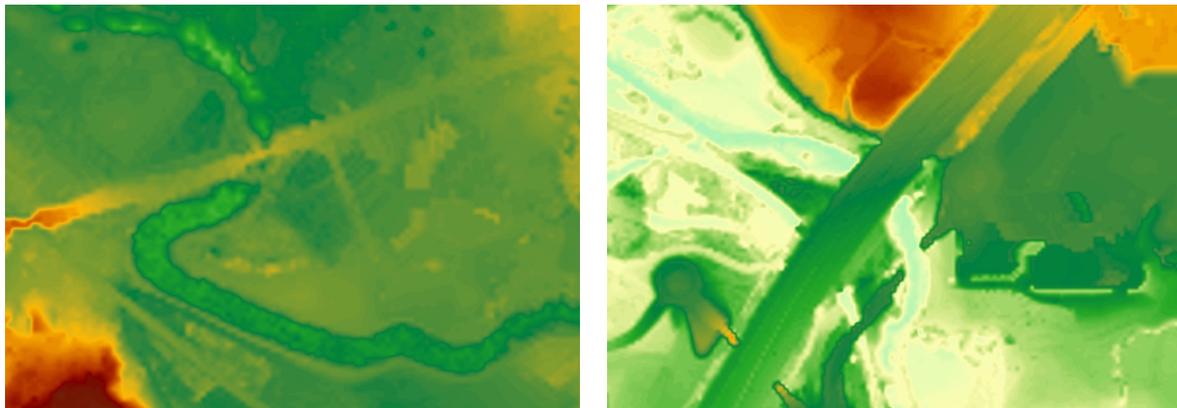


Figura 20: Izquierda. MDT05 del río Nora en Colloto. Derecha. MDT05 en el CC Parque Principado

En la Figura 20 Derecha, se muestra una zona situada en el entorno del Centro Comercial Parque Principado, donde se observa que se ha eliminado el puente de acceso al centro comercial, pero no así el de la autopista A-66 Oviedo - Gijón - Avilés.

En la Figura 20 Izquierda se muestra el área en torno al Puente de Colloto y el Polígono Empresarial Águila del Nora, donde no se ha eliminado el puente de la carretera N-634.

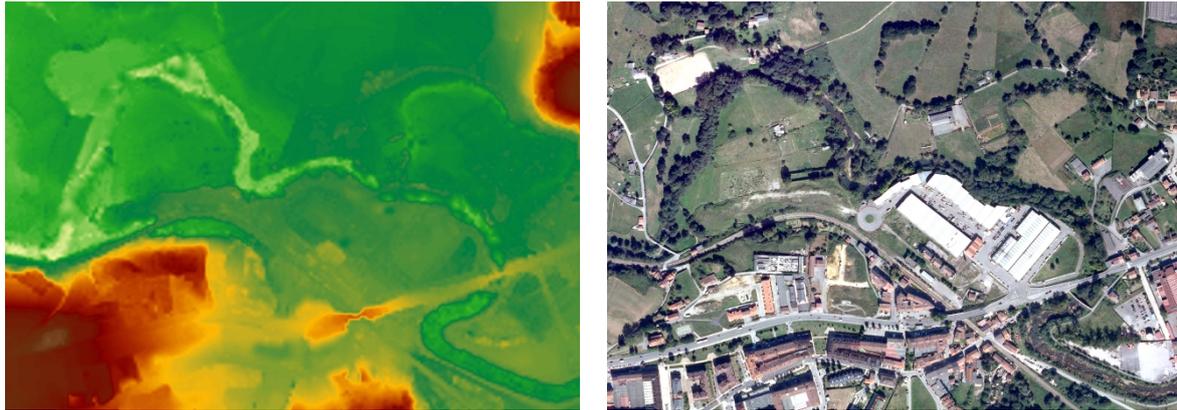


Figura 21: Izquierda. MDT05 del río Nora entre Colloto y Folgueras. Derecha. Ortofoto PNOA2011

En la Figura 21 Izquierda se muestra el MDT05 entre la localidad de Colloto y Folgueras, en el entorno del Polígono del Nora, donde se puede observar la presencia de píxeles en el centro del cauce que presentan un valor de altura más elevada que los márgenes, con diferencias de cota entre estos y el propio cauce en torno a 3,00 m. Este tipo de errores en Z, se encuentran a lo largo de todo el tramo del cauce en estudio y son debidos a la presencia de una densa vegetación.

A la vista de la presencia de este tipo de limitaciones, se ha estudiado la posibilidad de utilizar los ficheros digitales .LAS de 2x2 km de extensión, con información altimétrica de la nube de puntos LIDAR de densidad de 0,5 puntos/m², que se encuentran disponibles en la web del centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional de España (IGN). No obstante, dada la cantidad de información y los recursos informáticos necesarios para realizar el tratamiento, y puesto que en la mayor parte de los estudios de inundación se recurre a la documentación MDT LIDAR disponible, por su facilidad de manejo y tratamiento, se ha decidido continuar con los datos de partida, realizando una serie de correcciones mediante ArcGis.

5.1.1. Edición del modelo digital del terreno (MDT)

Partiendo del archivo MDT05 Lidar (MDT05-0029-H30-LIDAR.asc) en ETRS89 (Figura 12), obtenido del Centro de Descargas del IGN, se realizará un tratamiento del mismo mediante ArcGis a fin de eliminar o al menos minimizar las limitaciones descritas en el apartado anterior.

Para agilizar y evitar tener que procesar toda la extensión de la hoja MDT, se recorta con la herramienta *Data managementtools/Raster/Rasterprocessing/clip* y una capa (shape) previamente creada, cuya extensión abarca la zona objeto de estudio (Figura 22).

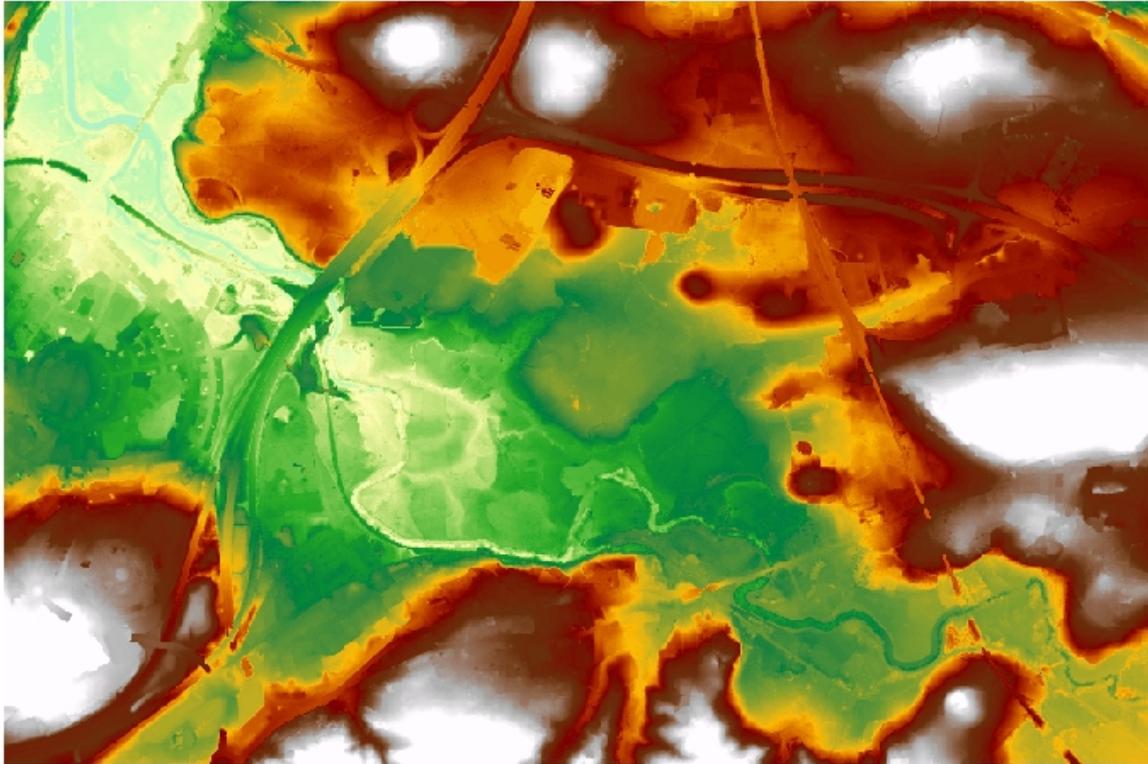


Figura 22: Clip de la zona de la hoja objeto de estudio sobre la hoja 0029 MDT05.

Una vez reducida la extensión a la zona objeto de interés, en primer lugar, se ha empleado la herramienta *Spatial Analyst Tools/Neighborhood/Filter*, para eliminar los valores falsos o erróneos del ráster. Se ha empleado un filtro de paso BAJO (LOW) que suaviza los datos (Figura 23), reduciendo la variación local y eliminando el ruido que pueda contener el ráster. Para ello, este filtro calcula el valor promedio para cada vecindad de 3x3, promediándose los valores altos y bajos, y reduciéndose los valores extremos en los datos del ráster (Figura 24).

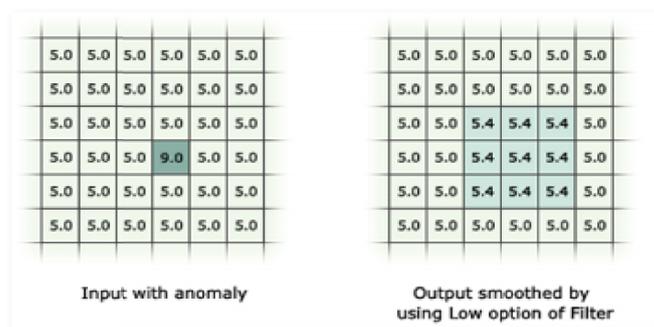


Figura 23: Salida de Filtro BAJO (LOW) de un ráster con un dato anómalo (<http://resources.arcgis.com>)

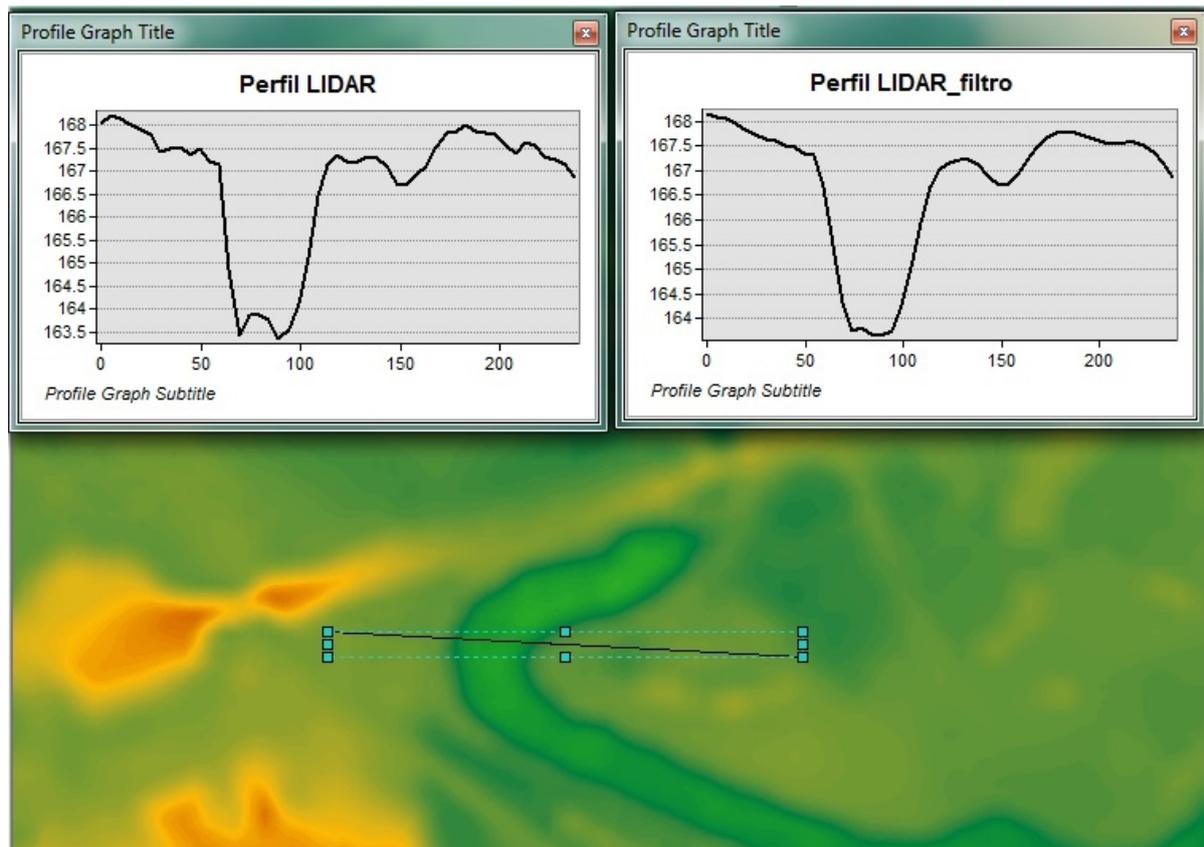


Figura 24: Diferencia entre MDT05Lidar con y sin filtro en un perfil cercano al Puente de Colloto.

Por otro lado, tal y como se ha comentado, el cauce del río Nora a su paso por la zona objeto de estudio, presenta zonas con abundante vegetación arbórea, que cubre gran parte del mismo, por lo que los valores de cota observados, se encuentran por encima de los márgenes del propio río.

De este modo, después del Filtro se han realizado una serie de tratamientos para eliminar dicha vegetación y restablecer en la medida de lo posible la topografía real del cauce, para lo cual, se han seguido los siguientes pasos:

- 1- **Se ha creado una capa de 42 puntos de control** (Figura 25) en las zonas de río que no presentan vegetación y en las cuales se cree que la cota se encuentra cercana a la real, editando manualmente algunos de los valores Z obtenidos. En esta capa, también se han tomado otros 4 puntos en terreno natural y alejado del cauce del río para definir los límites exteriores (Nora_controlpoint.shp). Por otro lado, se han contrastado las ortofotos PNOA 2006 y 2011 con el MDT05 Lidar del año 2009. En vista de la evolución del cauce durante estos años, se ha tomado como base de referencia la ortofoto PNOA 2006, que es la que presenta mayor similitud con el MDT05 Lidar.

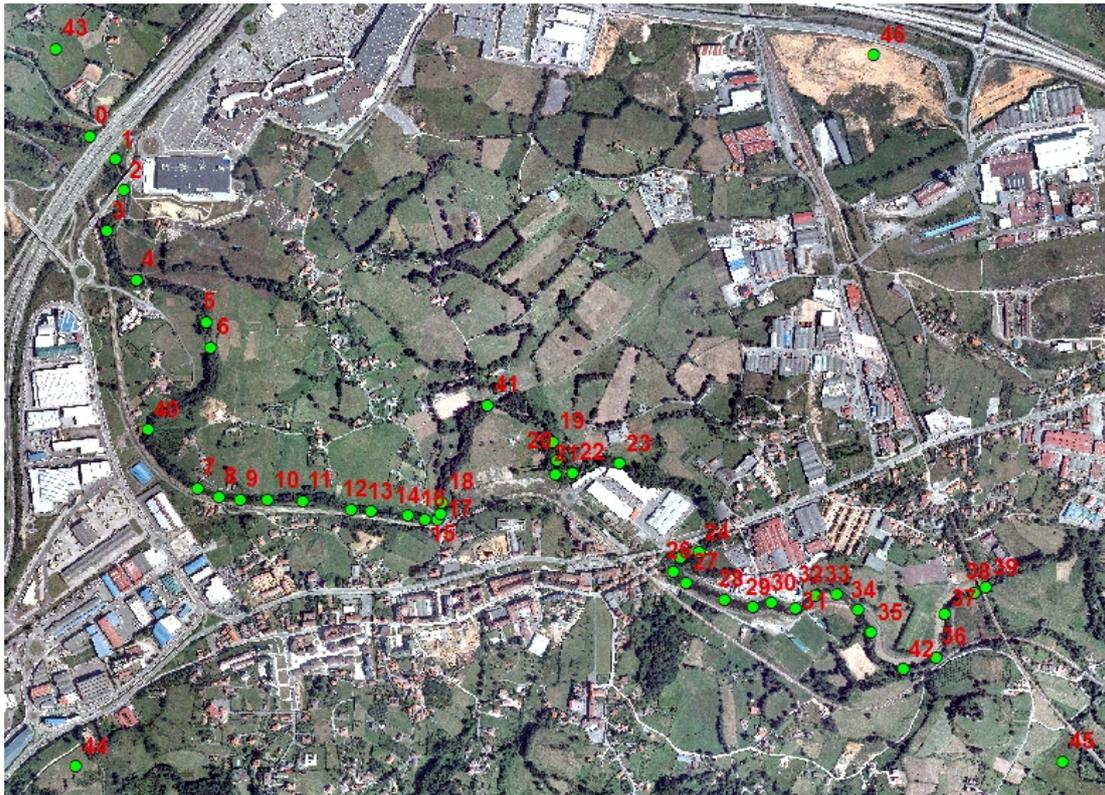


Figura 25: Puntos de control sobre el cauce del río Nora de la ortofoto PNOA 2006.

2- Se crea un TIN con los puntos mediante la herramienta *3DAnalyst Tools/TIN Management/Create TIN*, obteniéndose el TIN_cauce (Figura 26).

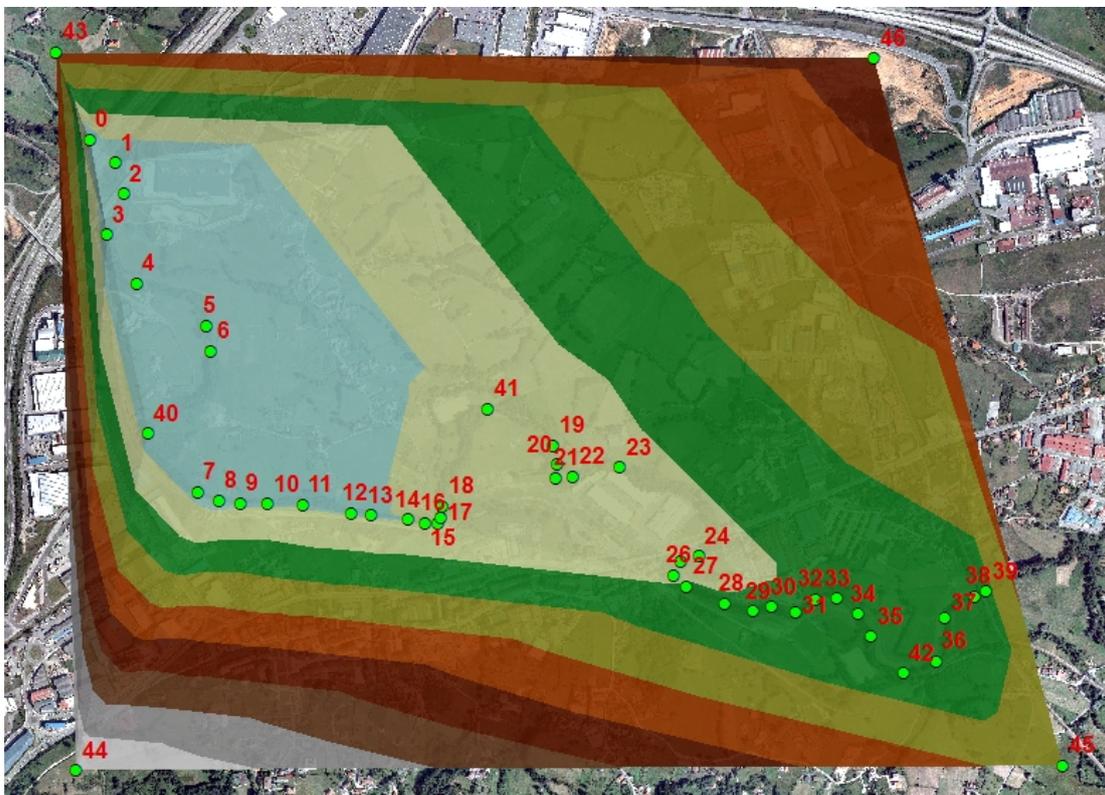


Figura 26: TIN creado a partir de los puntos del control.

- 3- **TIN to raster.** Se convierte el TIN anterior en un ráster mediante la herramienta *3D Analyst Tools/Conversion/From TIN/TIN to Raster*, obteniéndose el archivo Tinto_raster (Figura 27).

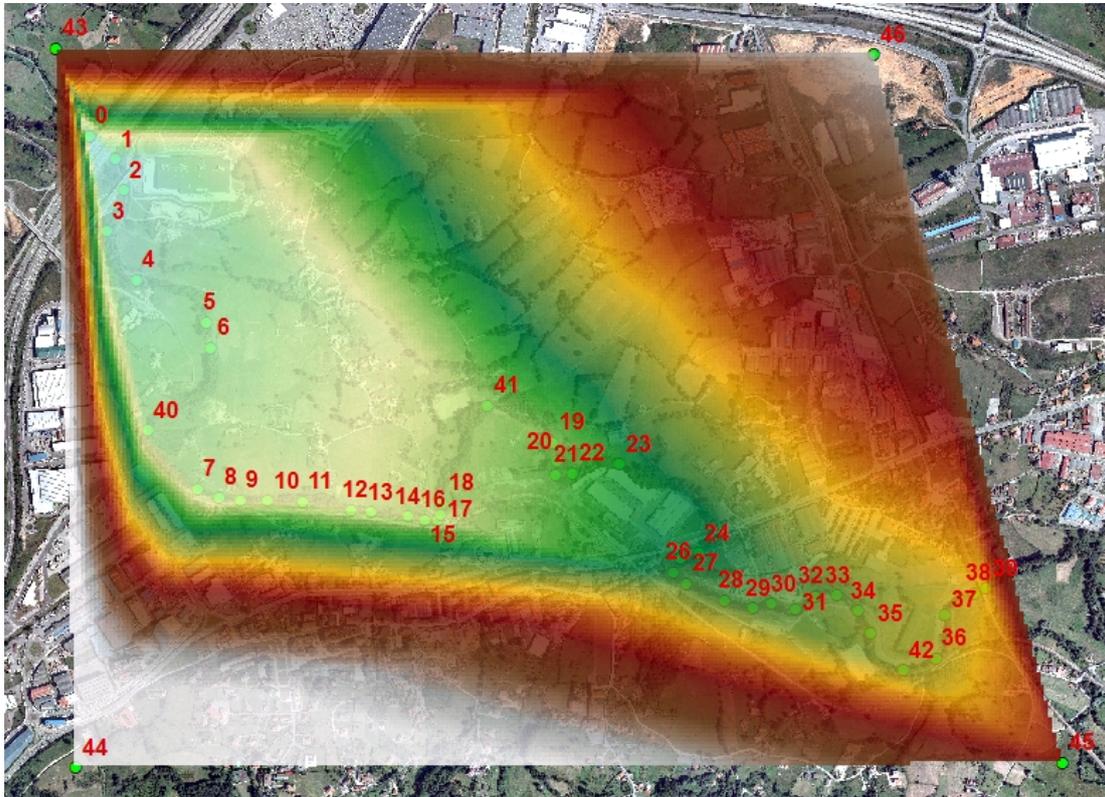


Figura 27: Ráster generado a partir del TIN_cauce.

- 4- **Se crea una capa/shape polígono** que engloba todo el cauce del río en la zona objeto de estudio. (polig_nora.shp)
- 5- **Se recorta el ráster con el shape polígono** generado mediante la herramienta *SpatialAnalyst Tools/Extraction/ExtractbyMask*, asignando un tamaño de celda de 5 m, al igual que el que presenta el ráster Lidar_filtro, para generar el ráster del cauce (raster_cauce Figura 28).



Figura 28: Capa ráster extraída, raster_cauce.

- 6- Se unen los ráster denominados Lidar_filtro y raster_cauce mediante la herramienta *Data Management Tools/Raster/RasterDataset/Mosaic to New Raster*, para crear un nuevo ráster de la zona objeto de estudio (Lidar_edit)(Figura 29).

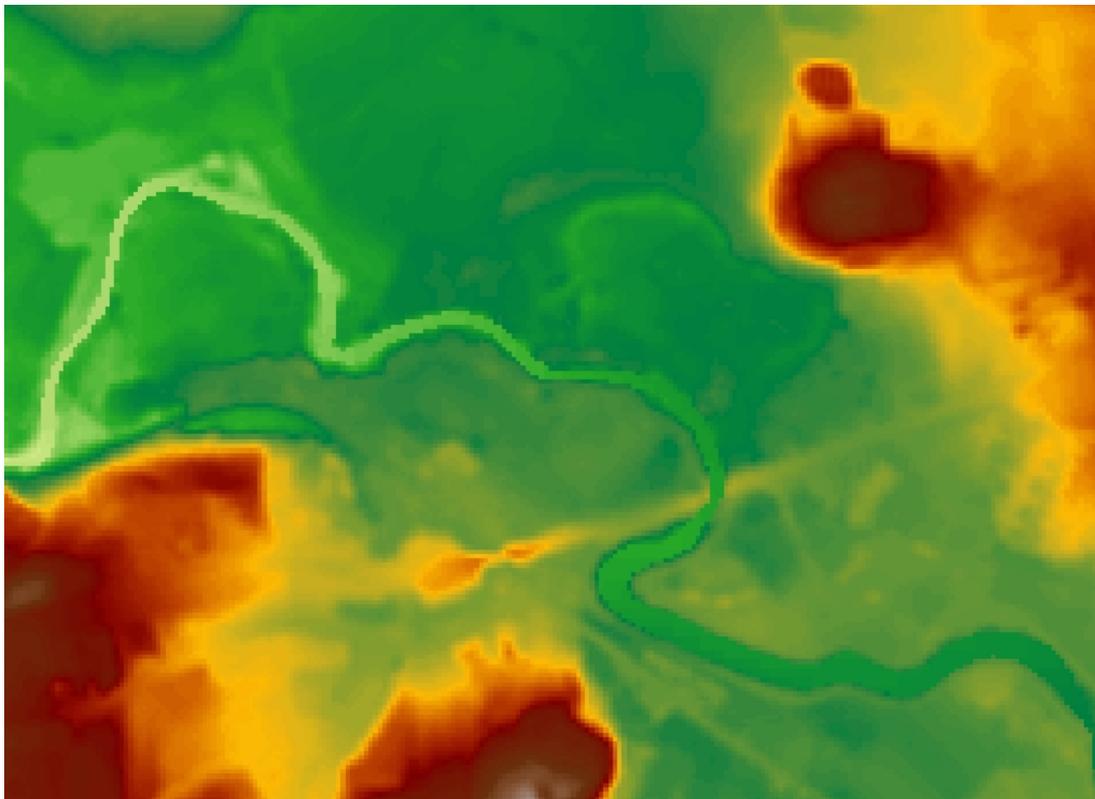


Figura 29: MDT05 Lidar editado para eliminar zonas de vegetación y puentes.

De este modo, se obtiene un nuevo MDT editado en el que se estima que las cotas en la zona del cauce del río Nora se aproximan a las de la superficie de agua existentes, eliminando en la medida de lo posible los valores de altura sobredimensionados por la vegetación y los puentes (Figuras 20 y 21).

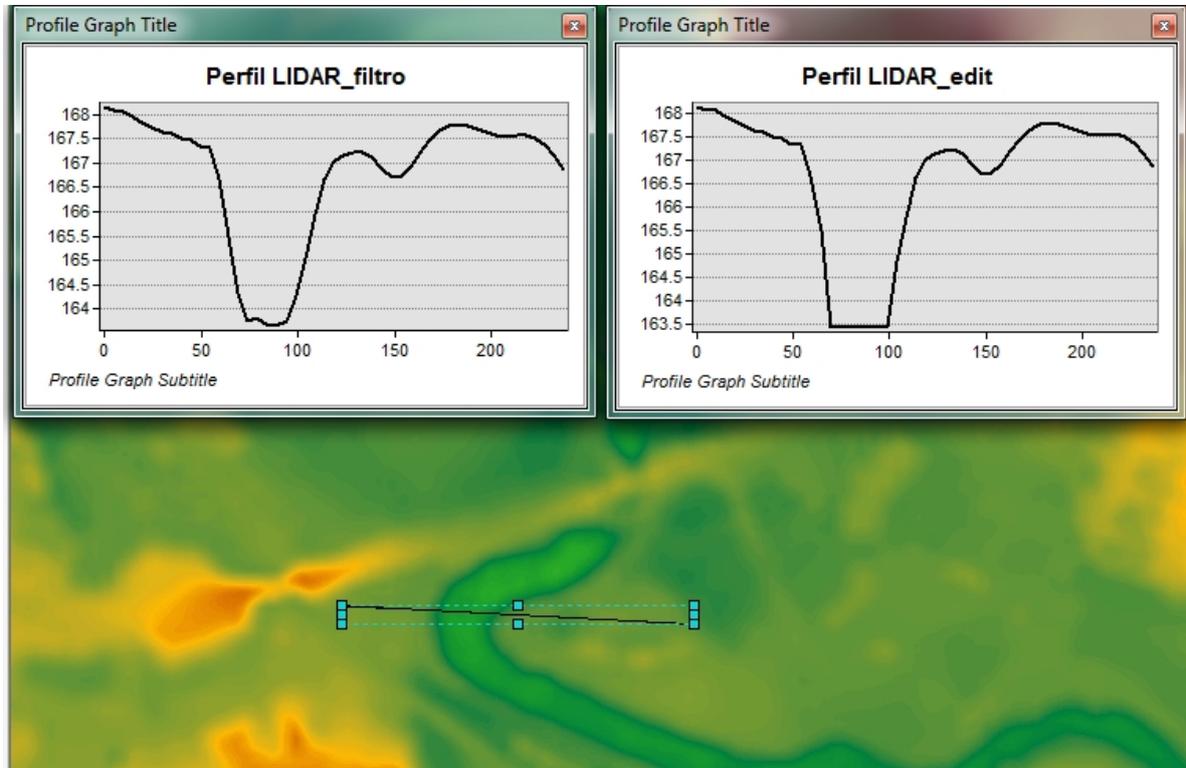


Figura 30: Diferencias en la zona del cauce del MDT de partida y el MDT editado en la zona del cauce.

La fiabilidad de este tipo de tratamiento, depende en gran medida de los puntos de control seleccionados en el primer paso.

En la Figura 30, se observar que la cota de la lámina de agua entre los dos MDTs apenas varía en unos pocos centímetros, mientras que su geometría podría considerarse más ajustada a la realidad, especialmente en esta zona donde existe encauzamiento.

Se ha de tener muy en cuenta que no se disponen de batimetrías, calados en el cauce, o de caudales aproximados en la fecha de creación del MDT, por lo cual, estos datos han de ser tratados con prudencia durante el cálculo de modelos hidráulicos.

5.1.2. Otros tratamientos

Se podrían haber utilizado otro tipo de procedimientos para eliminar la vegetación y los puentes, como el **editado manual del TIN** generado a partir del MDT05 Lidar, no obstante, dada la extensión del cauce en la zona objeto de estudio (en torno a 4,00 km) se desestimó dado que la precisión del resultado final podría ser de peor calidad y menos ajustado a los márgenes del cauce.

Con anterioridad al empleo de la herramienta Filtro (5.1.1. Edición del modelo digital del terreno MDT), se realizaron comprobaciones con la herramienta **FillSink**, de la extensión ArcHydro de ArcGis 10.1 para la corrección sumideros en un ráster de superficie, eliminando a su vez pequeñas imperfecciones en los datos.

El funcionamiento de esta herramienta, consiste en una serie de iteraciones hasta el relleno todos los sumideros, eliminando a su vez los picos de las celdas anómalas (Figura 31).

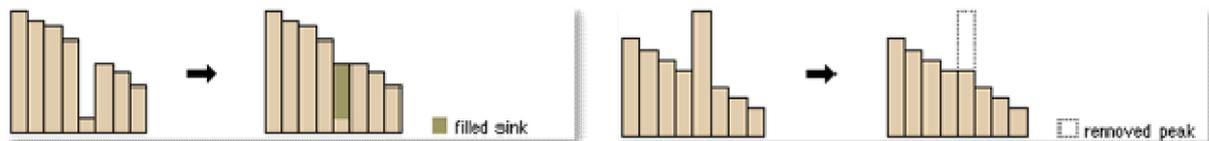


Figura 31: Vista de sumidero y pico, antes y después de FillSink (<http://resources.arcgis.com>)

La aplicación de esta herramienta en una zona relativamente llana, daría como resultado la eliminación de varias zonas encharcadas que se han observado durante las visitas de campo (Figura 32), por lo que se valoró en mejor medida el empleo de la herramienta Filtro para el tratamiento del MDT05 Lidar inicial.



Figura 32: Zonas encharcadas casi permanentemente, con vegetación hidrófila.

Aun teniendo en cuenta que el MDT pueda no ser correcto hidrológicamente, donde todas las celdas deberían verter su flujo a una circundante, se considera que para los objetivos que persigue este trabajo, la presencia de esos encharcamientos en zonas de topografía relativamente llana son de mayor relevancia a la hora de comprobar los resultados obtenidos con las observaciones geomorfológicas realizadas.

Por último, también se estudió el empleo de la herramienta **DEM Reconditioning**, de la extensión ArcHydro Tools, y que reproduce el “quemado” del cauce, a partir de una línea por el eje del cauce del río Nora.

Según el Manual del usuario HEC-GeoHMS elaborado por el US Army Corps of Engineers, esta herramienta es similar al “burn in” (Figura 33), con la que se modifica la elevación de un cauce en un valor determinado, creando una transición gradual en los márgenes del mismo, y eliminando el efecto de las “islas ficticias”. Esta modificación es una implementación del método AGREE (Hellweger, F. 1997), donde se obtiene un MDT de salida corregido hidrológicamente, en el que el cauce presentará una pendiente continua a lo largo de toda la zona.

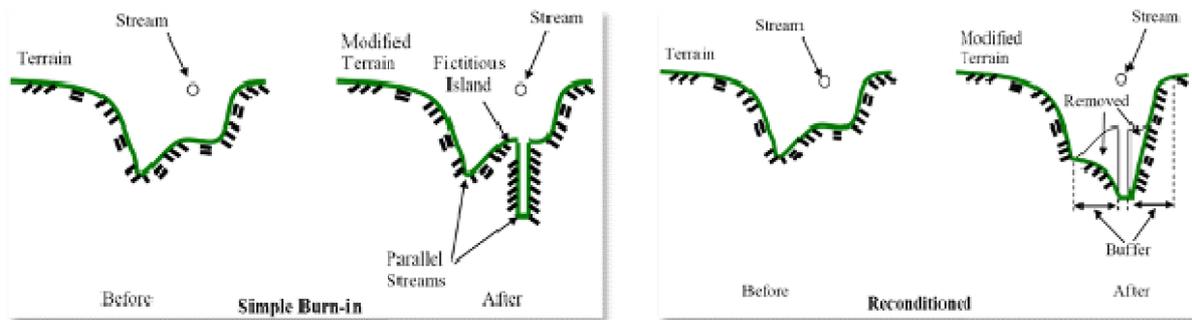


Figura 33: Reacondicionamiento de un cauce (ManualHec-GeoHMSv.5.US Army Corps of Engineers)

Aunque a primera vista pudiera parecer una herramienta funcional para la eliminación de la problemática de la vegetación y los puentes existentes, dadas las variaciones en altura que presentan estas zonas, donde en algunos casos se superan los 3,0 m, este tratamiento exigiría un calado en el resto de zonas del cauce muy superior al existente, por lo que, al igual que con el FillSink, también se ha desestimado su empleo, adoptándose la metodología descrita en el apartado 5.1.1.

5.2. PRECISIÓN ORTOFOTOS PNOA

Aunque no es objetivo de este trabajo profundizar en las metodologías para la construcción de las ortofotos, cabe considerar que la precisión de las mismas sería similar a la de la cartografía fotogramétrica digital (Hernández, 2006).

Debido a los propios procesos de orto-rectificación, en las ortofotos de la zona se han observado ciertas distorsiones, tanto en las edificaciones que sobresalen del terreno, como en algunos elementos en planta (Figura 34 y Figura 35).



Figura 34: Distorsión en edificio IKEA. Izquierda Ortofotografía PNOA 2011. Derecha Ortofotografía PNOA 2006.

En la Figura 34, se observan distorsiones máximas de 3,00 m en los vértices de la edificación, mientras que en su base, la variación observada es inferior a 1,00 m. La metodología empleada para la toma de las imágenes, así como su orto-rectificación, también daría lugar a que este tipo de variaciones no sean constantes a lo largo de toda la Ortofotografía, siendo mínimas en las zonas centrales de cada fotografía.



Figura 35: Distorsiones y precisión entre ortofotografías en el Puente de Colloto. Izquierda Ortofotografía PNOA 2011. Derecha Ortofotografía PNOA 2006

Otro ejemplo se muestra en la Figura 35, donde se puede observar la distorsión de los elementos que se encuentran elevados sobre el terreno natural, como es el caso del Puente de Colloto (s. XVI), sin embargo, también se observa que existe una pequeña variación, de entre 0,50-0,60 m en los márgenes de otros elementos de la zona, como el vial del paseo fluvial o el alineamiento del aparcamiento de la Coca-Cola.

De este modo, aunque estas variaciones han de tenerse en cuenta durante la fotointerpretación, especialmente en aquellas zonas con taludes muy marcados donde este efecto pudiera ser máximo, se considera que los errores inducidos por los propios tratamientos son mínimos o de escasa relevancia para los objetivos que persigue este trabajo.

5.3. ORTOFOTOS HISTÓRICAS

Con el visor de la fototeca digital en la web del Centro Nacional de Información Geográfica (<http://fototeca.cnig.es>), se han obtenido en formato .pdf varios escaneos de los fotogramas de cada uno de los vuelos que cubren toda el área objeto de estudio (Figura 36).



Figura 36: Imágenes obtenidas del Vuelo Americano de 1946.

A partir de estas imágenes escaneadas, mediante el software ArcGis de ESRI, se realiza su composición y georreferenciación.

5.3.1. Composición y georreferenciación

Mediante el software ArcGis de ESRI se han tratado las imágenes escaneadas de los vuelos históricos para su composición y georreferenciación. De este modo, se han obtenido una serie de imágenes correctas planimétricamente que permiten su análisis junto con el resto de datos geográficos.

La georreferenciación define la ubicación mediante coordenadas de mapa y asigna un nuevo sistema de coordenadas a cada una de las imágenes escaneadas.

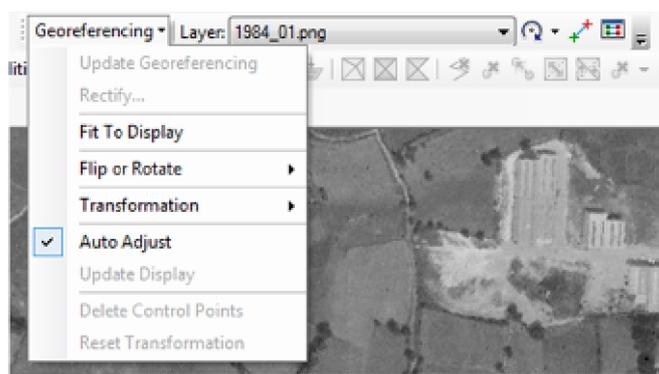


Figura 37: Barra de herramientas Georreferenciación ArcGIS de ESRI.

Se ha empleado la barra de herramientas Georreferenciación (Figura 37), siguiendo los pasos que se resumen a continuación.

1. **Fit to Display.** Permite que la imagen añadida se ubique en la misma posición que la capa que servirá de referencia para el proceso, en este caso la Ortofoto PNOA del año 2011 (Figura 38).

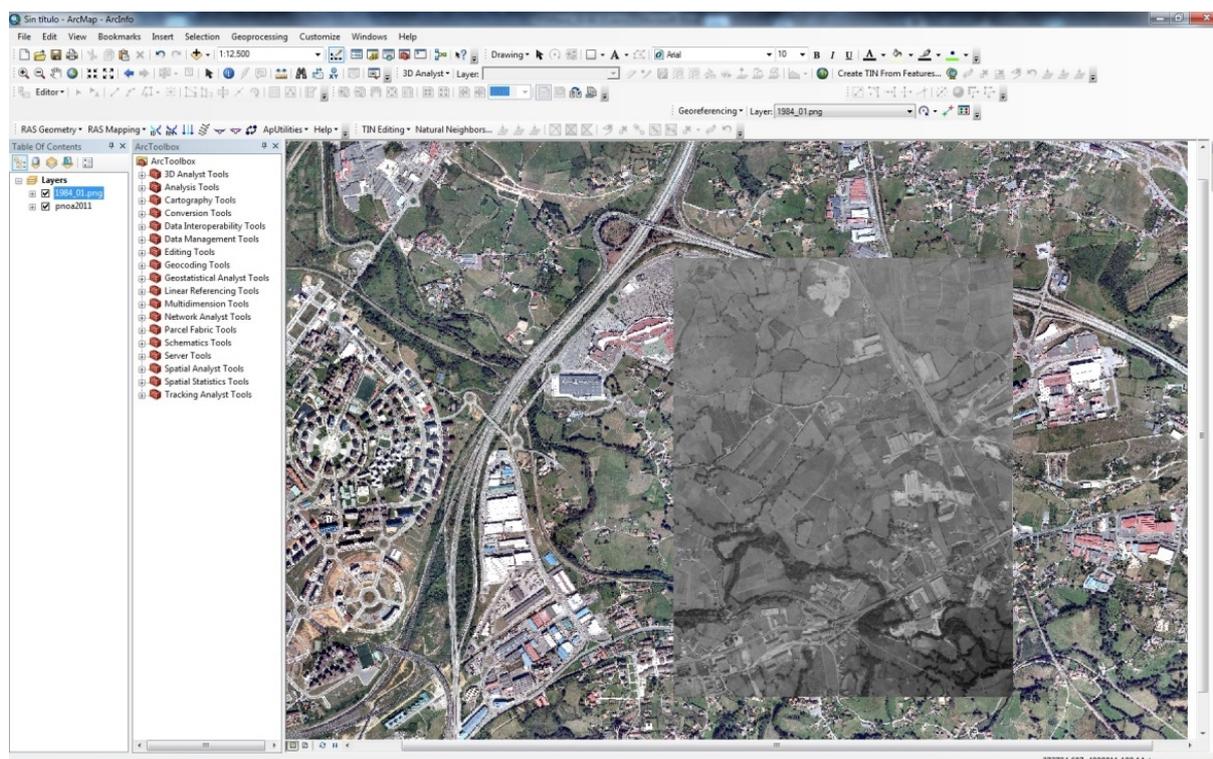


Figura 38: Imagen del escaneo del vuelo 1984 IRYDA sobre la Ortofoto PNOA de 2011

2. **Add Control Points** . Se toman puntos de control desde la imagen a tratar y se llevan hasta su posición en la imagen de referencia. Para que la imagen resultante tenga una buena georreferenciación, estos deben estar bien distribuidos por toda ella.

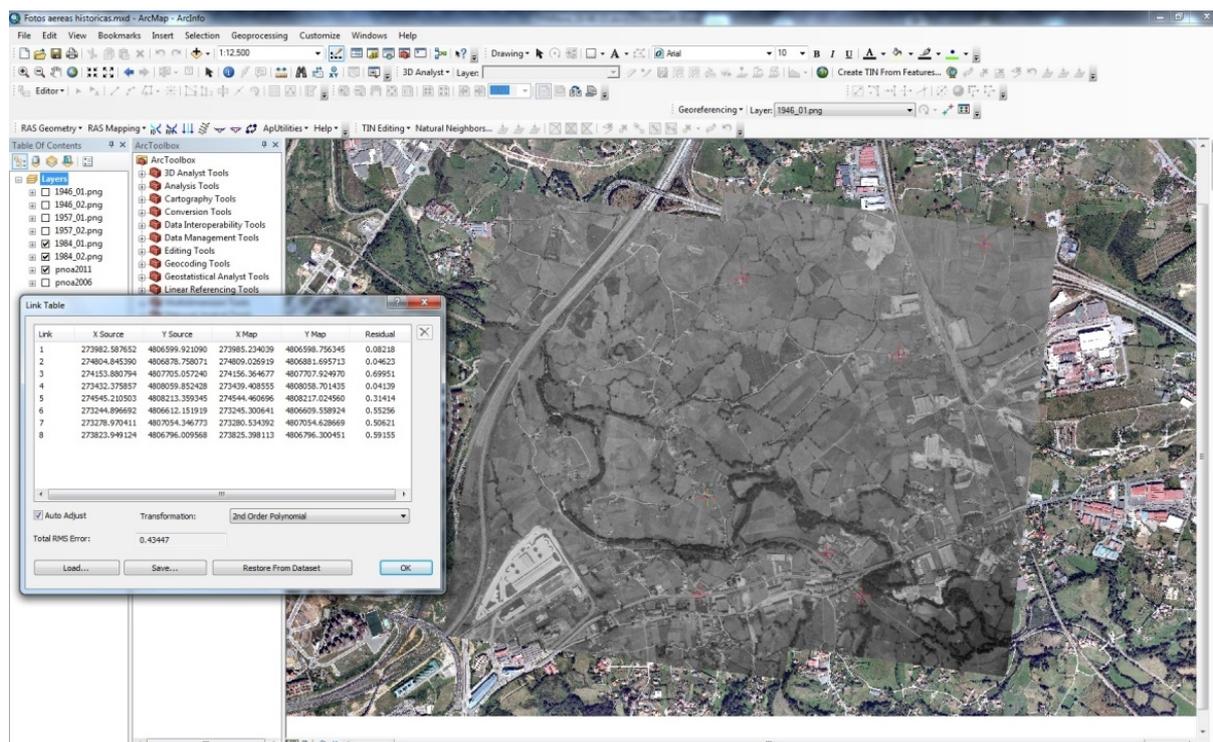


Figura 39: Link Table de la imagen del vuelo 1984 IRYDA georreferenciada.

3. **View Link Table**. En esta tabla (Link Table en Figura 39) se muestran las coordenadas iniciales y finales de los puntos de control establecidos, así como el tipo de transformación que se utilizará y el error cuadrático medio (EMS Error).
4. **Update Georeferencing**. Se transformará la imagen de forma permanente con las coordenadas de mapa de la imagen de referencia (Figura 40).

La transformación polinómica emplea un polinomio basado en los puntos de control y un algoritmo de adecuación por mínimos cuadrados. Cuanto mayor sea el orden, más compleja será la distorsión que se puede corregir. En este caso se ha empleado una transformación de segundo orden, que necesita un mínimo de seis puntos de control, permitiendo doblar y curvar la imagen inicial.



Figura 40: Resultado de la georreferenciación de las imágenes del vuelo 1984 IRYDA.

En la tabla 10 se muestran las características de la georreferenciación realizada en las imágenes históricas.

Vuelo	Referencia	Nº Puntos de control	Transformación	Error cuadrático medio (RMS Error)
1945-1946 Americano Serie A	1946_1	8	Polinomio 2º orden	0.43
	1946_2	8	Polinomio 2º orden	0.69
1956-1957 Americano Serie B	1957_1	8	Polinomio 2º orden	0.72
	1957_2	8	Polinomio 2º orden	0.36
1984 IRYDA	1984_1	7	Polinomio 2º orden	0.15
	1984_2	8	Polinomio 2º orden	0.59

Tabla 10. Datos de la georreferenciación de los vuelos escaneados

El error cuadrático medio (RMS error) sirve de evaluación para la precisión de la transformación, no obstante, un valor bajo no es indicativo de un registro preciso, la transformación podría contener errores considerables debido a un punto de control mal introducido. A mayor número de puntos de control, más preciso será el polinomio que convertirá los valores de entrada en coordenadas de salida.

Tal y como se ha comentado en el apartado 5.2. PRECISIÓN ORTOFOTOS PNOA, la propia ortofoto de 2011, podría presentar una cierta deformación en los elementos que sobresalen del terreno, y ser diferente a la deformación que presentan los escaneos de los fotogramas históricos.

Dado que son estos elementos los más representativos y los que se han tomado como base para los puntos de control, siendo fácilmente reconocibles en ambas imágenes, el ajuste final podría presentar errores tanto por la propia deformación como por la precisión, dado que la resolución de los escaneos utilizados y el pixelado de las imágenes da lugar a ciertas dificultades a la hora de ajustar un punto con exactitud.

5.4. GEOMORFOLÓGICO E HISTÓRICO

5.4.1. Delimitación del DPHP

La modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH) alude a las carencias que en el anterior reglamento presentaba la definición de cauce natural, defendiendo la necesidad de delimitar los cauces no sólo atendiendo a criterios hidrológicos, sino también a otras características como las geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las referencias históricas disponibles, incluyendo fotografías y cartografías existentes.

En el SNCZI se persigue que todos los terrenos que formaron parte del cauce histórico y los del cauce actual tengan representación en el DPHP. Posteriormente, los límites del cauce histórico son trasladados sobre la situación actual, observándose como algunos terrenos mantienen sus características de alta actividad, mientras que otros pueden haberlas reducido o incluso perdido por causas artificiales.

En función de las características dinámicas y de vegetación de ribera que presentan actualmente los terrenos del cauce histórico, el SNCZI propone tres categorías de DPHP:

- 1. DPHPa.** Cuando el cauce mínimo actual coincide o engloba al cauce histórico.
 - a) Cuando el límite del cauce histórico continúa teniendo en la actualidad una representación morfológica.
 - b) El DPHPa mínimo a contemplar incluye el canal de estiaje, los terrenos con evidencias efímeras de actividad reciente, aquellas ligadas a las avenidas habituales, y los terrenos dinámicamente conectados a estos últimos.
 - c) Los terrenos inmersos o inmediatos a las zonas con estas evidencias, que hayan formado parte del cauce histórico y que estén colonizados por vegetación de ribera, también pueden ser englobados dentro del DPHPa, aunque localmente presenten una topografía ligeramente más elevada, sobre todo si se detecta inestabilidad en el cauce.
 - d) Los indicadores anteriores primarán incluso aunque el cauce haya sufrido procesos de dragado.
- 2. DPHPb.** Esta categoría comprende las siguientes situaciones.

a) El límite entre el cauce histórico con el resto de la zona inundable no tiene actualmente una evidencia morfológica o talud reconocible.

b) Los terrenos del cauce histórico presentan actualmente una altura más similar o incluso mayor a la de los terrenos de los márgenes o la llanura aluvial.

c) El análisis realizado evidencia que se ha producido una reducción en la intensidad de las inundaciones que afectan a los terrenos, mostrando actualmente una cobertura aparentemente más estable.

- 3. DPHPc.** Comprende los terrenos que formaron parte del cauce histórico, pero que actualmente presentan una alteración artificial que ha eliminado las evidencias (rellenos artificiales), o ha modificado de forma importante la morfología del cauce (canalizaciones)

El SNCZI estima que el DPHPa representa la superficie mínima que debería formar parte del DPHP definitivo, el DPHPb también estaría incluido en la mayor parte de los casos, debiendo analizarse cada caso en detalle. El DPHPc engloba terrenos, que han perdido la dinámica que caracteriza al DPHP, tal y como se puede confirmar tras el análisis de la modelización hidráulica.

En base a todo lo anterior, se realizará una propuesta de delimitación de DPHP o estimación potencial de la envolvente del cauce histórico, en la que se delimitarán las áreas que comprenden las tres categorías del DPHP descritas, basándose en las tonalidades de los diferentes tipos de vegetación, así como los indicios de presencia de una dinámica fluvial activa.

5.4.2. Recorrido geomorfológico

Durante el análisis geomorfológico se estudiarán las evidencias topográficas presentes en el entorno de una zona inundable, así como las evidencias efímeras que desaparecen en un período de tiempo relativamente corto.

De este modo, los accidentes topográficos generados por erosión y sedimentación durante una avenida, se pueden identificar mediante el estudio del MDT Lidar de la zona objeto de estudio, sirviendo esto como base y apoyo para las observaciones de campo.

Este estudio se ha realizado en varias fases, tal y como se resume a continuación:

- 1. MDT Lidar.** Se ha realizado un estudio previo del MDT tratado de la zona de actuación, en el que se han obtenido los siguientes rásters.

- **Hillshade.** A través de esta herramienta *SpatialAnalist Tools/Surface/Hillshade*, se ha creado un ráster de relieve sombreado, que pone de manifiesto las irregularidades del terreno, vaguadas y crestas, que puedan delimitar cauces o canales de inundación.
- **Slope.** Con esta herramienta *SpatialAnalist Tools/Surface/Slope* se genera un ráster en el que se pueden observar las pendientes del terreno y delimitar las zonas llanas, de los taludes de los márgenes.

2. **Mapa escarpes.** A partir de la edición de los mapas derivados del MDTLidar, se crea un mapa con escarpes presentes en la zona objeto de estudio (Figura 41).

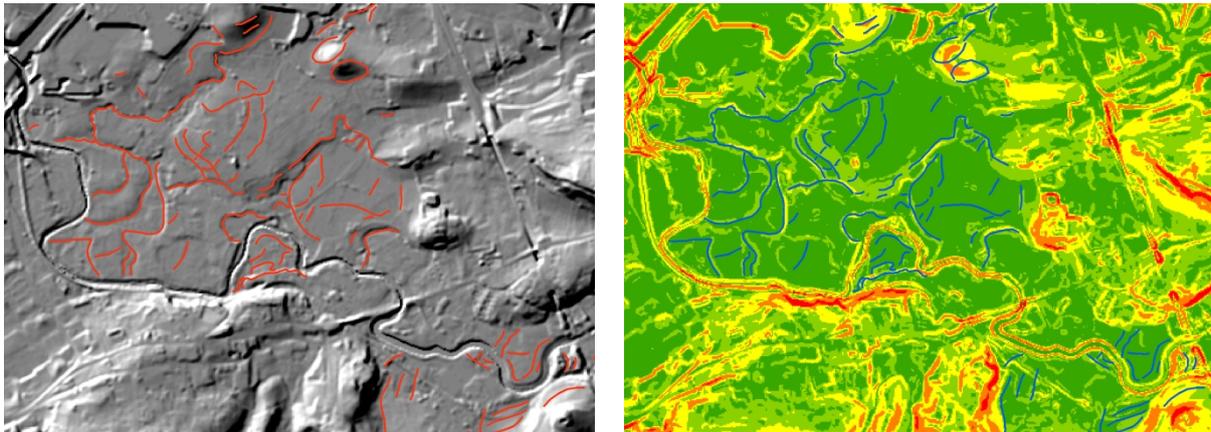


Figura 41: Izquierda escarpes sobre rásterHillsade. Derecha escarpes sobre rásterSlope.

3. **Campo.** Teniendo como base el mapa de escarpes sobre la ortofoto PNOA2011 (Figura 42), y considerando el análisis histórico realizado, se han realizado tres visitas de campo para la identificación y observación de formas erosivas o sedimentarias debidas a inundaciones que pudieran servir de ayuda para la delimitación final de la envolvente del cauce histórico.



Figura 42: Escarpes obtenidos a partir de los rásterHillsade y Slope, sobre ortofoto PNOA2011

Por otro lado, también se han revisado en campo los límites de la inundación de junio de 2010 (Las inundaciones de junio de 2010 en la Confederación Hidrográfica del Cantábrico. Confederación Hidrográfica del Cantábrico, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Informe y cartografía inédita. TRAGSA e INDUROT. 2011), buscando evidencias que aún pudieran persistir, dado que sus límites resultan concordantes con algunos de los de escarpes y canales definidos (Figura 43).

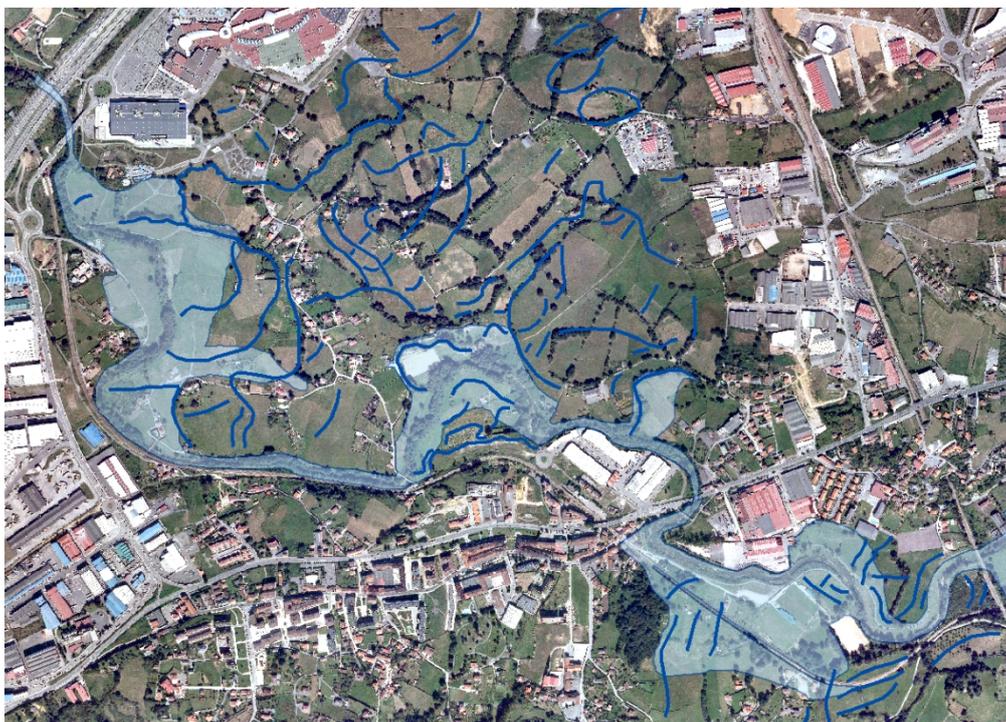


Figura 43: Inundación de junio de 2010 sobre Ortofoto PNOA2011 con alineaciones de escarpes.

5.5. CÁLCULO DE AVENIDAS (ANÁLISIS HIDRÁULICO)

Se empleará el programa HEC-RAS v 4.1.0 del US Army Corps of Engineers (Figura 44), en conjunto con la extensión HEC-GeoRAS de ESRI, a fin de obtener la lámina de agua correspondiente a los periodos de retorno establecidos previamente.

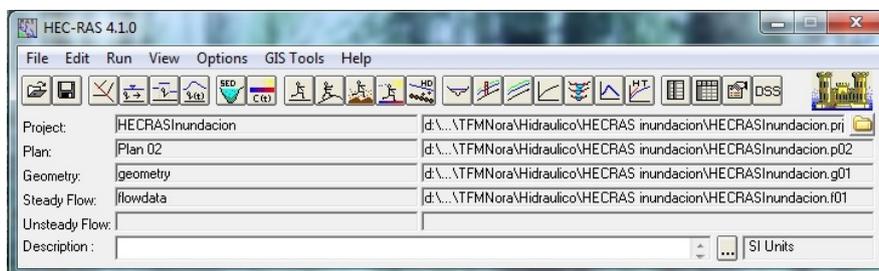


Figura 44: HECRAS v 4.1 del US Army Corps of Engineers.

El análisis se realiza en tres etapas

1. **Pre-procesado.** Se realiza mediante ArcMap y su extensión HEC-GeoRAS.
2. **Procesado.** Modelización hidráulica unidimensional mediante el HEC-RAS.
3. **Post-proceso.** Obtención de los resultados mediante HEC-GeoRAS de ArcMap.

El área objeto de estudio, queda definida por el **ARPSI ES018-AST-34-1**, en un tramo de 4.408,753 m entre las localidades de Colloto y el C.C. Parque Principado.

La información de partida para este análisis hidráulico consiste en el MDT editado, tal y como se ha comentado en el apartado 5.1.1. Edición del modelo digital del terreno (MDT), los caudales de referencia que se obtendrán en el apartado 4.3 CAUDALES DE REFERENCIA, y los valores de los coeficientes de rugosidad calculados en el apartado 4.4 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (Nº DE MANNING).

5.5.1. Pre-procesado

Una vez obtenida toda esta información, se inicia la primera etapa, que consiste en la preparación de las secciones que se exportarán posteriormente a HEC-RAS.

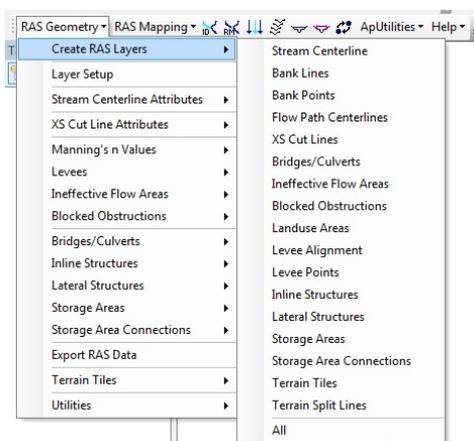


Figura 45: Herramientas de la extensión HEC-GeoRAS para el pre-procesamiento.

Para este pre-proceso, en primer lugar se crearán varias capas, siguiendo los siguientes pasos de la extensión HEC-GeoRAS (Figura 45).

1. **StreamCenterline.** Crea el eje del río.
2. **Bank Lines.** Crea los márgenes del cauce.
3. **FlowPathCenterlines.** Delimita la extensión de la zona que se va a analizar.
4. **XS CutLines.** Secciones transversales al cauce.

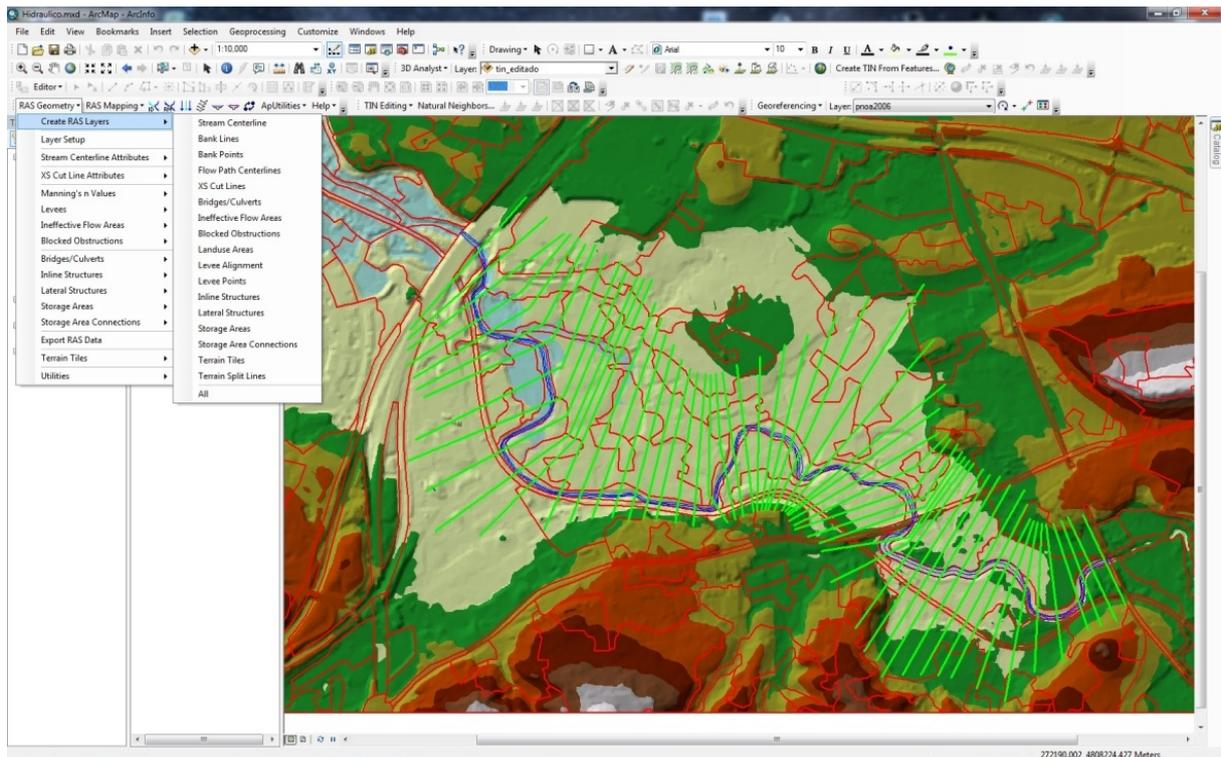


Figura 46: Capas creadas durante el Pre-proceso de la información geométrica en HEC-GeoRAS.

Esta información básica (Figura 46) se almacena en una geodatabase y mediante el procesado de la misma HEC-GeoRAS transforma la información plana en altimétrica, que posteriormente se exportará a HEC-RAS para realizar la etapa de proceso (Figura 47).

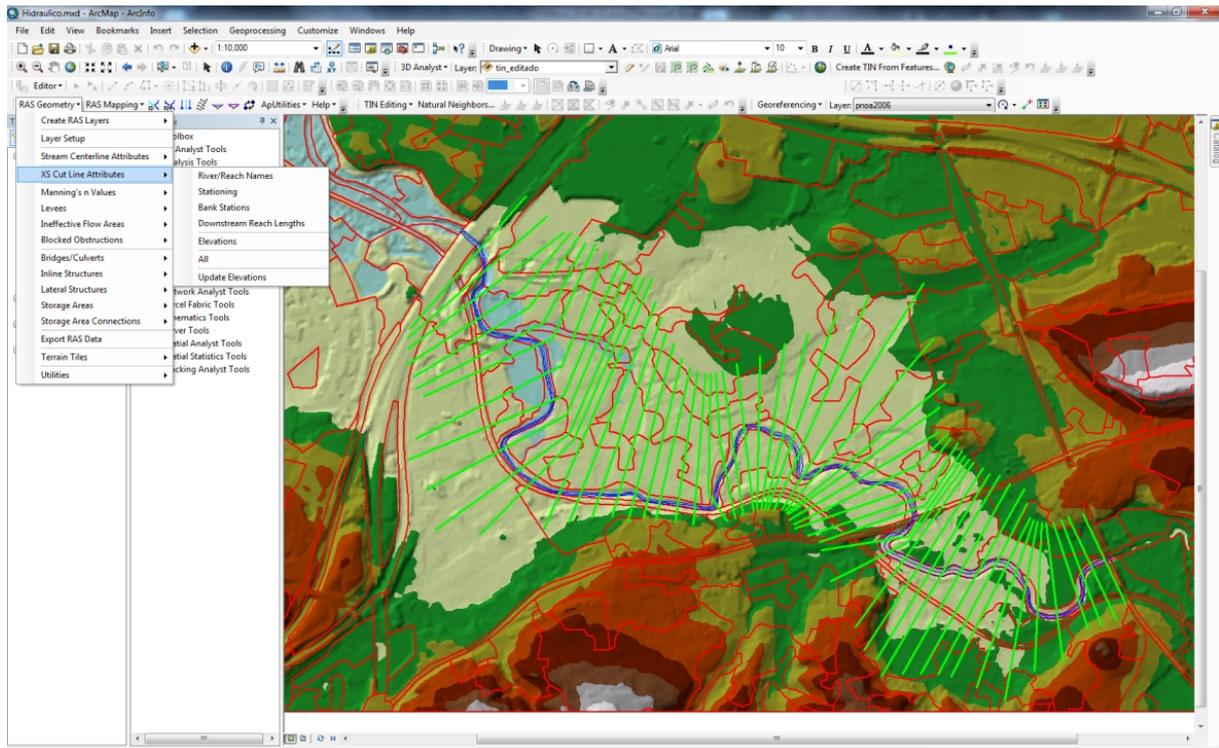


Figura 47: Transformación de información plana en altimétrica, antes de ser exportada a HEC-RAS.

Por otro lado, también se exportará la información correspondiente a los coeficientes de rugosidad de Manning para la zona objeto de estudio (Figura 48).

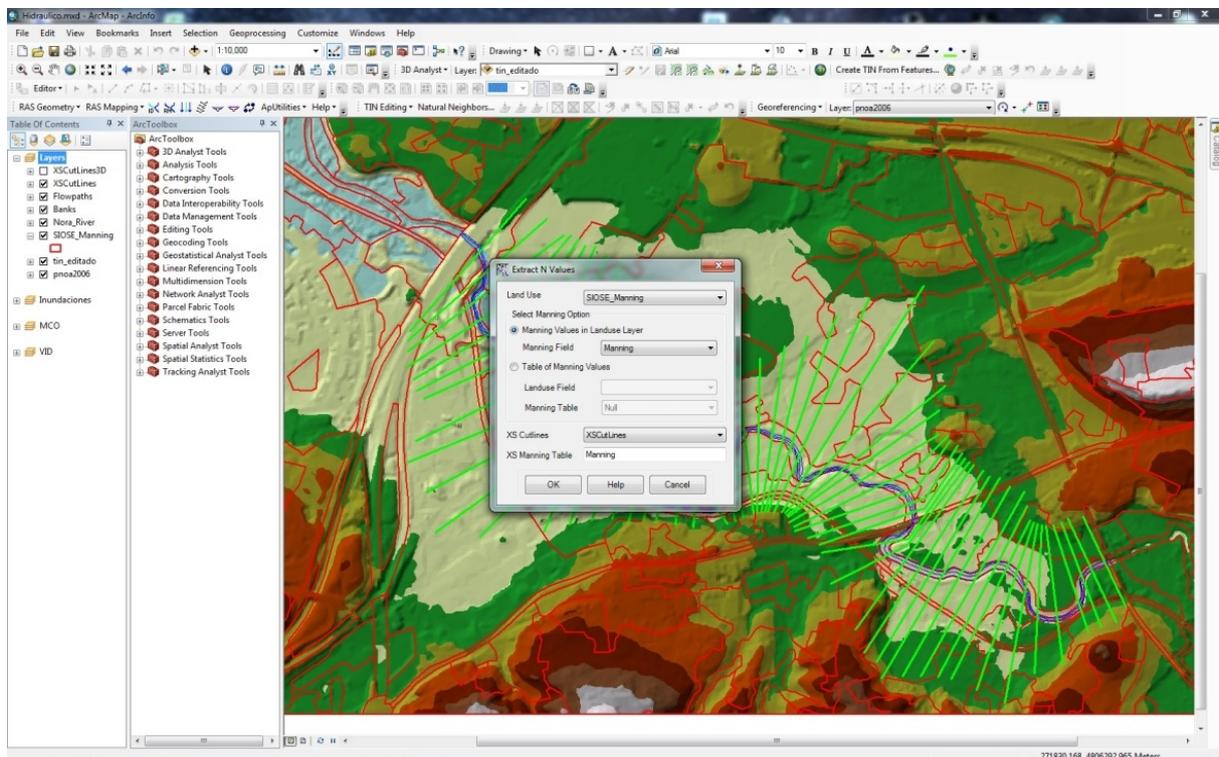


Figura 48: Extracción del coeficiente de rugosidad de Manning.

5.5.2. Procesado

Una vez exportada la información geométrica desde HEC-GeoRAS, se puede visualizar en el software HEC-RAS 4.1.0 (Figura 49).

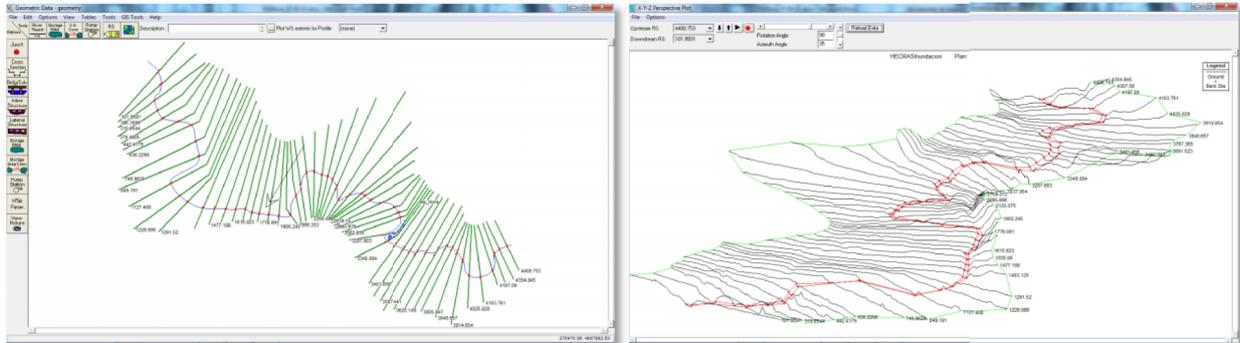


Figura 49: Izquierda. Visualización HEC-RAS de la geometría de HEC-GeoRAS. Derecha. Vista en 3D.

El siguiente paso consiste en introducir los datos de flujo (caudales) y las condiciones de contorno (Figura 50), para cada uno de los perfiles establecidos en la geometría que dispongan de información.

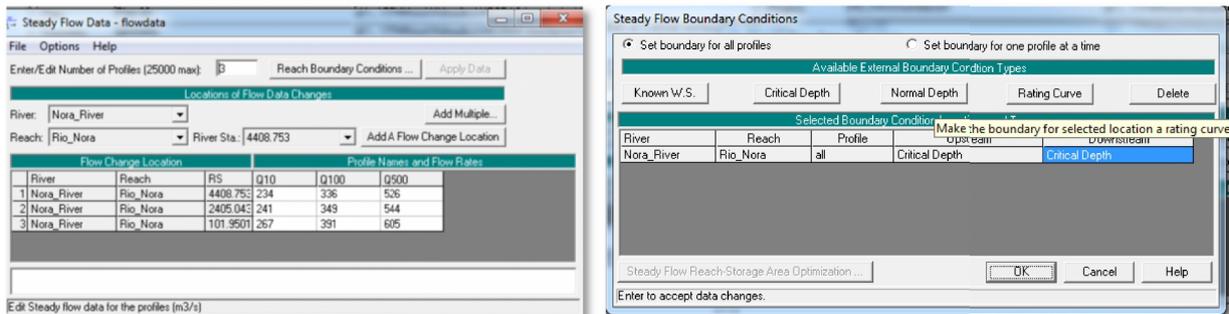


Figura 50: Datos de flujo y condiciones de contorno para el análisis hidráulico Q10, Q100 y Q500.

Una vez establecidos los parámetros de cálculo, se ejecuta el programa en régimen mixto (Figura 51)

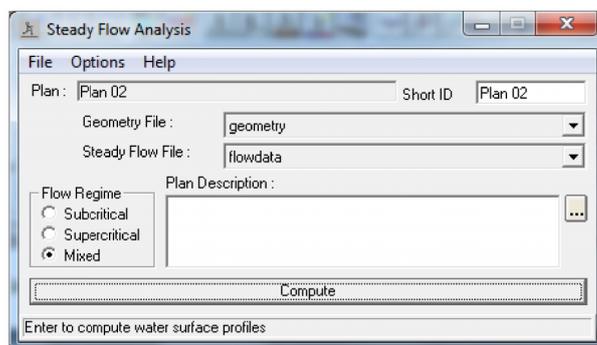


Figura 51: Análisis hidráulico en régimen de flujo mixto.

De este modo, se obtiene la extensión de ocupará la lámina de agua en cada una de las secciones consideradas (Figura 52). Las salidas gráficas del programa HEC-RAS, incluyen la sección longitudinal del cauce y las transversales, incluyendo la altura de la lámina de agua que se generará a partir de los caudales y las condiciones establecidas (Figura 53).

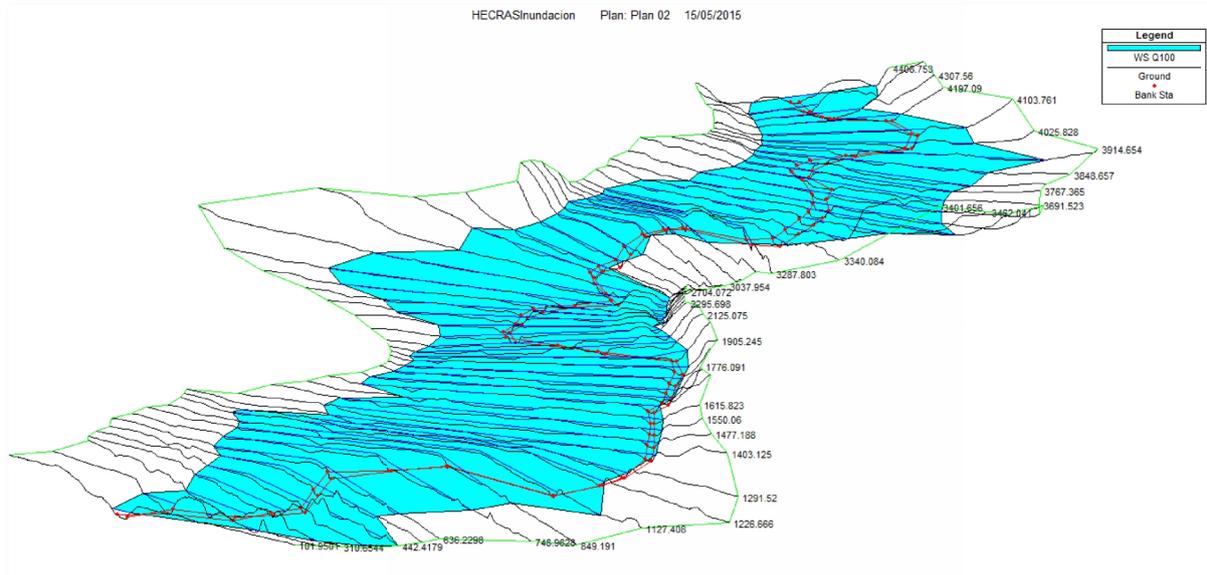


Figura 52: Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para Q100.

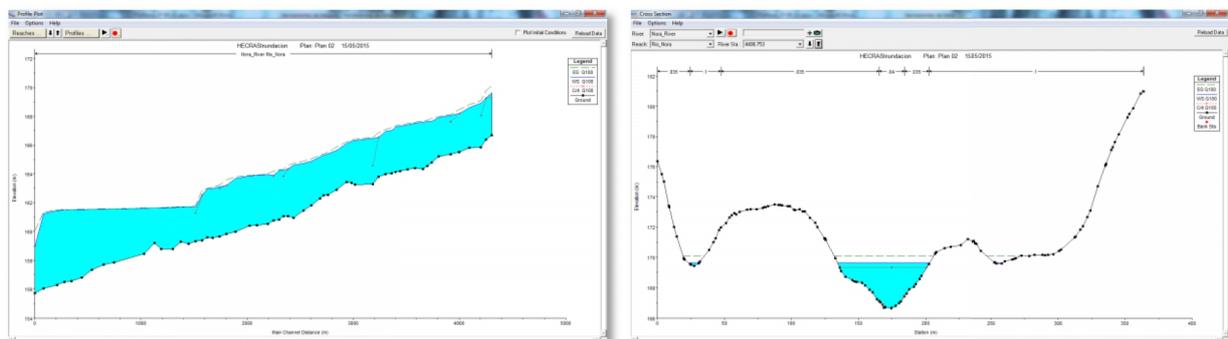


Figura 53: Sección longitudinal y una transversal para Q100.

Como último paso de este apartado, los datos del análisis se exportarán a un fichero compatible con HEC-GeoRAS para el Post-proceso.

5.5.3. Post-procesado

El archivo exportado desde HEC-RAS en el apartado anterior, se importa al HEC-GeoRAS, para la última fase del análisis hidráulico, en la que se generan las capas ráster a partir de los cálculos realizados mediante el software HEC-RAS.

De este modo, se obtienen unas capas ráster en las que se pueden observar las alturas o calados de la lámina de agua para el caudal establecido, su extensión a lo largo de toda la zona de estudio, y por ultimo una capa ráster con las velocidades (Figura 55).

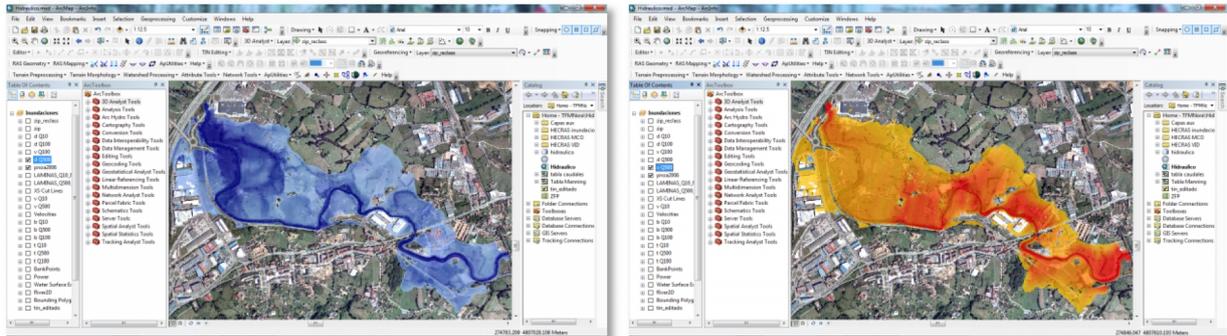


Figura 54: Izquierda. Extensión superficie inundada para Q500. Derecha. Ráster velocidades para Q500.

5.6. CÁLCULO DE LA VÍA DE INTENSO DESAGÜE (VID)

En el Real Decreto 9/2008 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, se define la Via de Intenso Desagüe (VID):

"Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. La sobreelevación anterior podrá, a criterio del organismo de cuenca, reducirse hasta 0,1 m cuando el incremento de la inundación pueda producir graves perjuicios o aumentarse hasta 0,5 m en zonas rurales o cuando el incremento de la inundación produzca daños reducidos."

El cálculo de la VID, se realiza mediante el software HEC-RAS y una herramienta específica para tal fin que se llama *Encroachment* (traspaso de límites).

En el manual de HEC-RAS, se recomienda el uso de la herramienta *Encroachment* para observar las variaciones que tendrían sobre el flujo un estrechamiento del cauce. Se trata de una herramienta que estima la sobreelevación que se produciría al establecer unos límites al flujo del agua, ajustándose de este modo al concepto de VID (Figura 55).

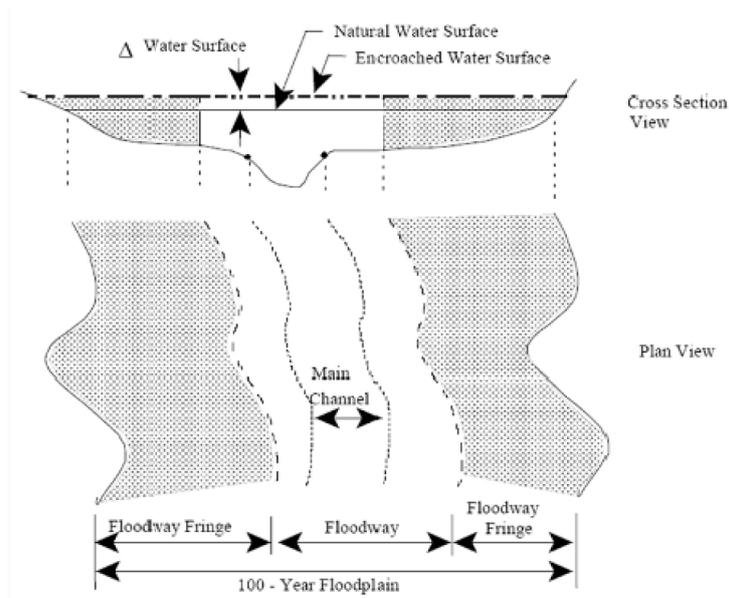


Figura 55: Esquema de Encroachment. (Fuente: Manual HEC-RAS del US Army Corps of Engineers)

Este software establece cinco métodos para el cálculo de las secciones mediante *Encroachments*:

- **Método 1:** introducir directamente las longitudes de la posición de los márgenes con respecto al origen de la sección. Da resultados muy exactos, pero es complicado por el elevado número de secciones y tanteos necesarios para determinar la sobreelevación.
- **Método 2:** se introduce la anchura del cauce a partir de la cual, el programa establece automáticamente el Encroachment. Este método no es de aplicación para el cálculo de la VID.
- **Método 3:** se introduce el porcentaje de reducción de la sección natural. Tampoco es aplicable para el cálculo de la VID.
- **Método 4:** se introduce la sobreelevación en cada sección y el programa calcula el encroachment necesario. Sería el método más adecuado para establecer la VID.
- **Método 5:** similar al anterior, se basa en introducir dos datos: la sobreelevación y la sobreelevación de la línea de energía. Tampoco sería aplicable para la VID en este caso.

6. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO E HISTÓRICO

6.1. HISTÓRICO DE EVENTOS DE INUNDACIONES

En la tabla 11 se muestran los eventos documentados en la bibliografía consultada.

Año	Mes	Localidad	Daños	Fuente
1522	Septiembre	Lugones, Cayes y Oviedo	Inundaciones en Lugones, Cayes, Brañes.	CTEI
1525		Cayes, Puente Gallegos, Brañes y San Pedro de Nora	Destrucción de puentes en las localidades citadas.	Alonso de Bello (1552-1632)
s. XVII		Colloto	El Puente de Colloto se salva de la destrucción.	La Nueva España
1972	Febrero	Lugones y Colloto	Inundación de Lugones y Colloto	CTEI
1972	Mayo	Lugones	Desbordamientos en Lugones	CTEI
1975	Mayo	Lugones y Colloto	Inundación de Lugones, Colloto y Lugo de Llanera	CTEI
1975	Septiembre	Colloto	Corte de la N-634 en Colloto	Desinventar
1977	Julio	Oviedo y Colloto	Inundación de Cerdeño, Colloto y Oviedo.	CTEI
1983	Julio	Pola de Siero	Desbordamiento en Pola de Siero	CTEI
1990	Diciembre	Cerdeño	Desbordamiento	Desinventar
1992	Octubre	Meres	Zona cercana a FEVE inundada	Desinventar
1993	Diciembre	Oviedo y Lugones	Desbordamiento en Colloto	ARPSIS y Desinventar
1995	Diciembre	Flogueras y Los prados	Localidades incomunicadas	Desinventar
1998	Abril	Castañera (Granda)	Evacuación de viviendas	Desinventar
2000	Abril	Oviedo y Lugones	Corte líneas FEVE en Colloto	ARPSIS y Desinventar
2003		Oviedo y Lugones		ARPSIS
2005		Oviedo y Lugones		ARPSIS
2006		Oviedo y Lugones		ARPSIS
2010	Junio	Oviedo y Lugones	Evacuaciones y cortes en carreteras y vías férreas.	ARPSIS y Desinventar

Tabla 11. *Eventos registrados de inundaciones en el río Nora y afluentes a su paso con los Concejos de Oviedo y Siero.*

Tal y como se puede observar teniendo en cuenta la magnitud y los daños ocasionados a los que se hace referencia, los datos de los s. XVI y XVII podrían ser considerados como mismo episodio, pudiendo existir un error en alguna de las fuentes bibliográficas consultadas.

Por otro lado, los datos incluyen eventos en varias localidades de la cuenca del río Nora ya que aunque pudieran ser eventos de carácter local, por las condiciones que presenta el entorno de estudio, no se descarta que estos también afectaran a la zona aunque fuese en menor medida.

6.1.1. Análisis estadístico

A partir de los eventos registrados desde el año 1972, tal y como recomienda la Guía metodológica del SNCZI (MMAMRM, 2011), se realiza un tratamiento estadístico por el método Bootstrap percentil, para obtener la probabilidad de inundación de la zona objeto de estudio.

Tal y como se recoge en la Guía del SNCZI (Sánchez y Lastra, 2011), "Uno de los métodos de remuestreo para intervalos de confianza más sencillos y eficientes es el Bootstrap percentil, que consiste en simular la distribución muestral del estimador de partida (en este caso, la proporción muestral de años con inundaciones) por Monte Carlo y determinar el intervalo al 95% a partir de los percentiles 2,5 y 97,5".

De este modo, se ha empleado el software The R Project for Statistical Computing (www.r-project.org), estableciéndose las siguientes condiciones del remuestreo para este análisis estadístico.

- Periodo de tiempo: 38 años (1972 - 2010).
- Nº Inundaciones: 16 eventos
- Periodo de tiempo - Nº Inundaciones: 22 (diferencia entre los parámetros anteriores)

A partir de estas variables, mediante el programa R (Figura 56) se obtienen los límites inferior (IC Inf=0.2632) y superior (IC Sup=0.5789) del intervalo de confianza del 95%.

```
R Console (32-bit)
Archivo Editar Misc Paquetes Ventanas Ayuda

o 'help.start()' para abrir el sistema de ayuda HTML con su navegador.
Escriba 'q()' para salir de R.

> local({pkg <- select.list(sort(.packages(all.available = TRUE)),graphics=TRUE)
+ if(nchar(pkg)) library(pkg, character.only=TRUE)})
> x <- c(rep(0,22), rep(1,16))
> mean.fun <- function(x,i)
+ { m <-mean(x[i])
+ n <-length(i)
+ v <- (n-1)*var(x[i])/n^2
+ c(m,v)
+ }
> fire.boot <-boot(x,mean.fun,R=1000)
> boot.ci(fire.boot, type = "perc")
BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS
Based on 1000 bootstrap replicates

CALL :
boot.ci(boot.out = fire.boot, type = "perc")

Intervals :
Level      Percentile
95%      ( 0.2632,  0.5789 )
Calculations and Intervals on Original Scale
> |
```

Figura 56: Resultado del tratamiento estadístico de los eventos históricos del río Nora desde 1972.

Estos valores permiten determinar el error asociado al cálculo de la recurrencia (1), obteniéndose un **valor de 0.15785**.

$$E = \frac{(I_S - I_i)}{2} \quad (1)$$

La probabilidad de inundación con un intervalo de confianza del 95 % es igual a 0.42105 ± 0.15785 , en base a la expresión (2).

$$P = \left(\frac{N^{\circ} I_1}{P} \frac{d t_i}{d t_i} \right) \pm E \quad (2)$$

La recurrencia de la inundación de la zona objeto de estudio, es igual al inverso de la probabilidad (3).

$$R = \frac{1}{P} = \frac{P r}{N^{\circ} I_1} \frac{d t_i}{d t_i} \pm \frac{1}{E} \quad (3)$$

Por tanto, a partir de la expresión anterior, se obtiene que el periodo de recurrencia de:

$$\text{Recurrencia} = (1 / 0.42105) \pm (1/0.15785) = 2.3750 \pm 6.3351 = [0 - 8.71]$$

Puesto que el valor 0 no tiene significado, en base a todas las expresiones anteriores, se estima que el periodo de recurrencia con un intervalo de confianza del 95% sería igual a **[1 - 8.71]**.

Dado que los datos de la tabla 6 se refieren a diversas áreas en las que se incluyen ríos y arroyos diferentes, este apartado solo persigue ofrecer una idea preliminar sobre la frecuencia de los desbordamientos en la cuenca del río Nora.

6.2. PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DEL DPHP

En base a la metodología descrita en el presente trabajo, se ha realizado una propuesta de delimitación de DPHP o estimación potencial de la envolvente del cauce histórico, en la que se han delimitado las áreas que comprenden las tres categorías del DPHP descritas en la Guía del SNCZI, basándose en las tonalidades de los diferentes tipos de vegetación, así como los indicios de presencia de una dinámica fluvial activa.

Realizándose posteriormente una serie de visitas de campo en las que se observarán las principales evidencias geomorfológicas de la zona.

Para el estudio evolutivo del cauce y la llanura de inundación de la zona objeto de estudio, se realizarán comparativas entre pares de fotografías históricas, a fin de observar las variaciones que tienen lugar entre los diferentes años.

Durante estas comparativas, se han evidenciado los errores de georreferenciación descritos en el apartado de metodología, tanto entre los fotogramas históricos, como con las ortofotos más actuales.

6.2.1. Periodo 1946 - 1957.



Figura 57: Propuesta de delimitación del DPHPaño 1946

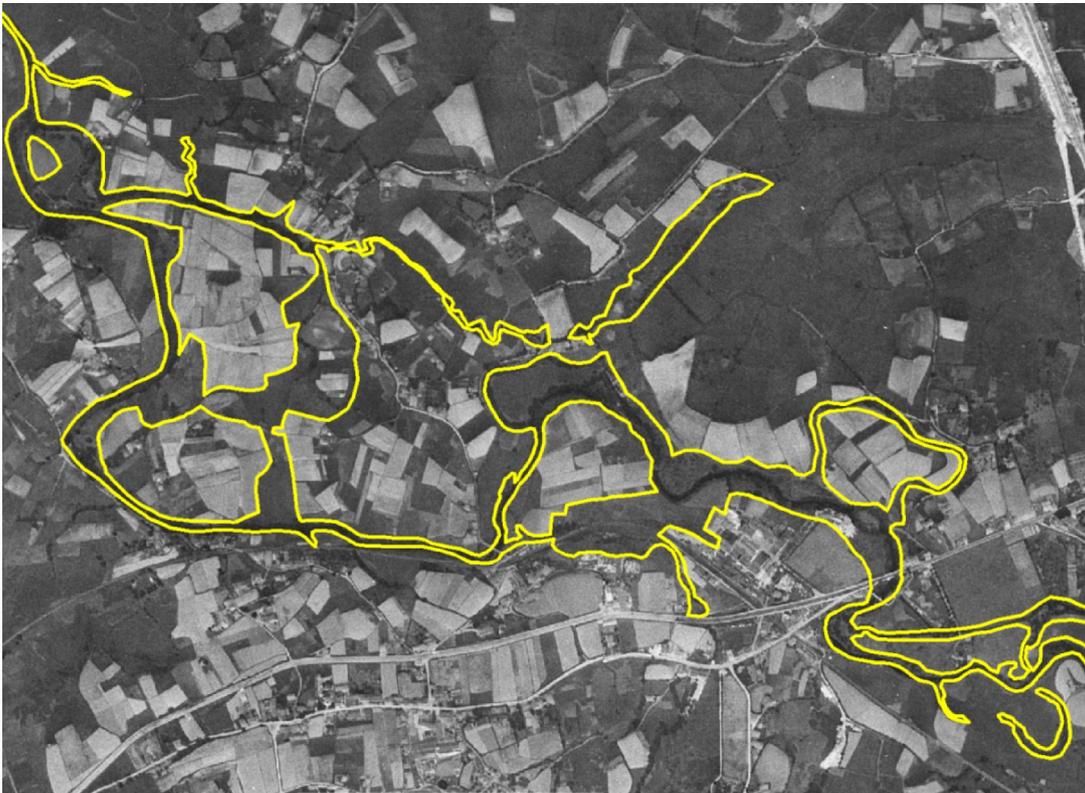


Figura 58: Propuesta de delimitación del DPHPaño 1957

En la zona de Colloto, se puede observar el abandono progresivo de un cauce meandriforme donde actualmente se encuentran las instalaciones de fútbol de CD Colloto. Tanto en esta zona como en el entorno del Polígono del Águila Nora, el cauce del río presenta una morfología relativamente sinuosa.

En 1957 se puede apreciar una mayor extensión del DPHP en este entorno, apreciándose tonalidades más oscuras en la vegetación y en algunos casos hasta huellas o resaltos en los márgenes de la zona inundable.

Por otro lado, también se puede observar la acción humana sobre el uso del suelo, aumentando la extensión de parcelas cultivables o prados de utilidad ganadera.

En la zona de Folgueras se puede observar una mayor variación en la extensión del DPHP. En la foto de 1946 (Figura 57) se aprecia una morfología canaliforme que presenta actividad en época de avenidas, mostrando una mayor extensión en la imagen de 1957 (Figura 58). Se trata de una zona con actividad erosiva que aún es reconocible en la actualidad (Figura 59).



Figura 59: Fotografía actual de una morfología canaliforme en Folgueras, con actividad en época de avenidas.

Este tipo de formas erosivas, y otras evidencias geomorfológicas se tratarán en mayor profundidad en el apartado correspondiente.

6.2.2. Periodo 1957 - 1984.



Figura 60: Propuesta delimitación del DPHP año 1984

Entre 1957 (Figura 58) y 1984 (Figura 60), se puede observar la ampliación del área industrial ocupando superficie perteneciente al cauce, tanto en el entorno del Puente de Colloto (Coca-Cola), como en el Polígono del Águila del Nora.

Se observa una nueva conexión con el cauce abandonado de la zona del campo de fútbol, así como el abandono y ocupación de un cauce secundario en la zona de la piscina de Colloto.

En el resto del tramo en estudio, se aprecia una disminución progresiva de la extensión del DPHP y el aumento de las edificaciones en el núcleo rural y ocupación de parte de un cauce secundario.

6.2.3. Periodo 1984 - 2006.



Figura 61: Propuesta delimitación del DPHP año 2006

Entre 1984 y 2006 los cambios en el cauce se hacen más evidentes. Se ha realizado un encauzamiento del río en la zona del campo de fútbol y del Polígono del Águila del Nora.

Se han rellenado zonas que pertenecían al DPHP en 1957 en el entorno del polígono y ocupado superficies entre canales.

En la zona de Folgueras se ha continuado con la edificación de viviendas, algunas de ellas en el antiguo cauce secundario (o meandro). Además se ha construido el centro comercial y urbanizado sus alrededores, lo cual ha dado lugar a la modificación de las condiciones de drenaje de toda la zona cercana, aumentando la extensión de zonas encharcadas.

La acción humana sobre las parcelas inundables no permite observar correctamente en la imagen la extensión del DPHP, por lo que se hace necesaria la observación en campo de las posibles evidencias reconocibles.

6.2.4. Periodo 2006 - 2011.



Figura 62: Propuesta delimitación del DPHP año 2011

En el apartado anterior ya se podía observar que la envolvente del cauce histórico observable en la ortofoto se había reducido en gran parte, restringiendo su extensión a las áreas más cercanas al cauce actual, haciéndose más patente esta reducción entre 2006 y 2011.

Por otro lado, se observan pequeñas variaciones en el entorno de los meandros del río (Figura 63), con erosión en la zona externa y sedimentación en la interna, siendo muy evidente justo en la salida del encauzamiento del entorno del Polígono del Nora.



Figura 63: Variación en la dinámica fluvial del río Nora. Izquierda año 2006. Derecha año 2011.

6.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

En base a las características morfológicas de la zona objeto de estudio, su situación y la gran actividad antrópica que existe en todo este entorno, apenas se han conservado evidencias geomorfológicas del último evento de inundación de junio de 2010.

Tal y como se ha comentado en el apartado de metodología, mediante el estudio del MDT Lidar, se han identificado una serie de accidentes topográficos generados por erosión y sedimentación durante las avenidas, que han servido como base y apoyo para las observaciones de campo.

De este modo, a lo largo de toda la zona existen una serie de emplazamientos, en los que se puede observar en mayor o menor medida la dinámica fluvial, así como otra serie de morfologías en las laderas que bordean la llanura de inundación del río Nora (Figura 64).

En base a los objetivos que se persigue para el presente trabajo, a continuación se muestran las principales evidencias que se han considerado a la hora de establecer la propuesta de delimitación del DPHP, en consonancia con lo definido en el estudio geomorfológico - histórico.

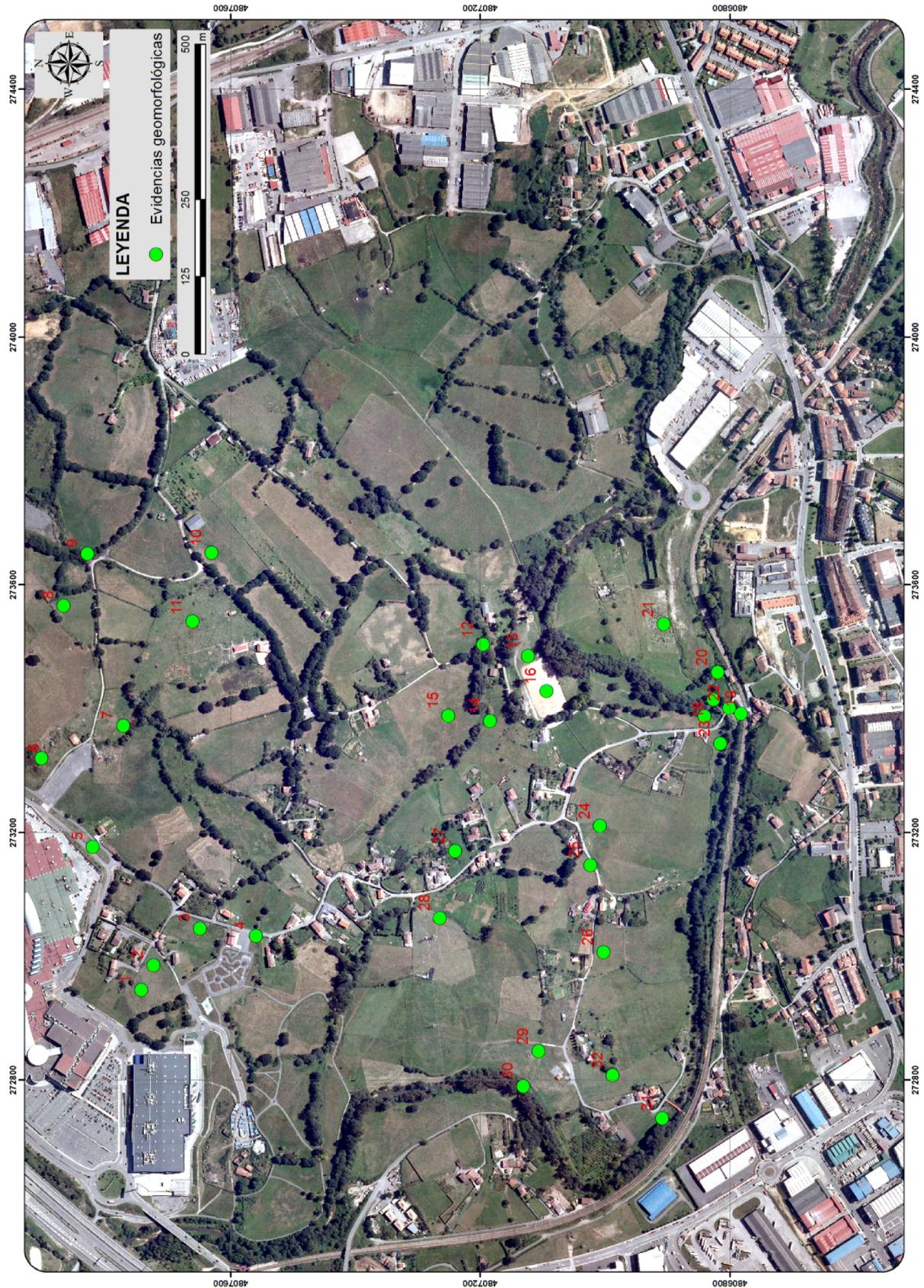


Figura 64: Emplazamientos de los reconocimientos geomorfológicos llevados a cabo.

6.3.1. Cauces activos

A lo largo de toda el área de estudio, se han observado una serie de canales (Figura 65), el principal y los secundarios que recogen el agua de las zonas encharcadas.

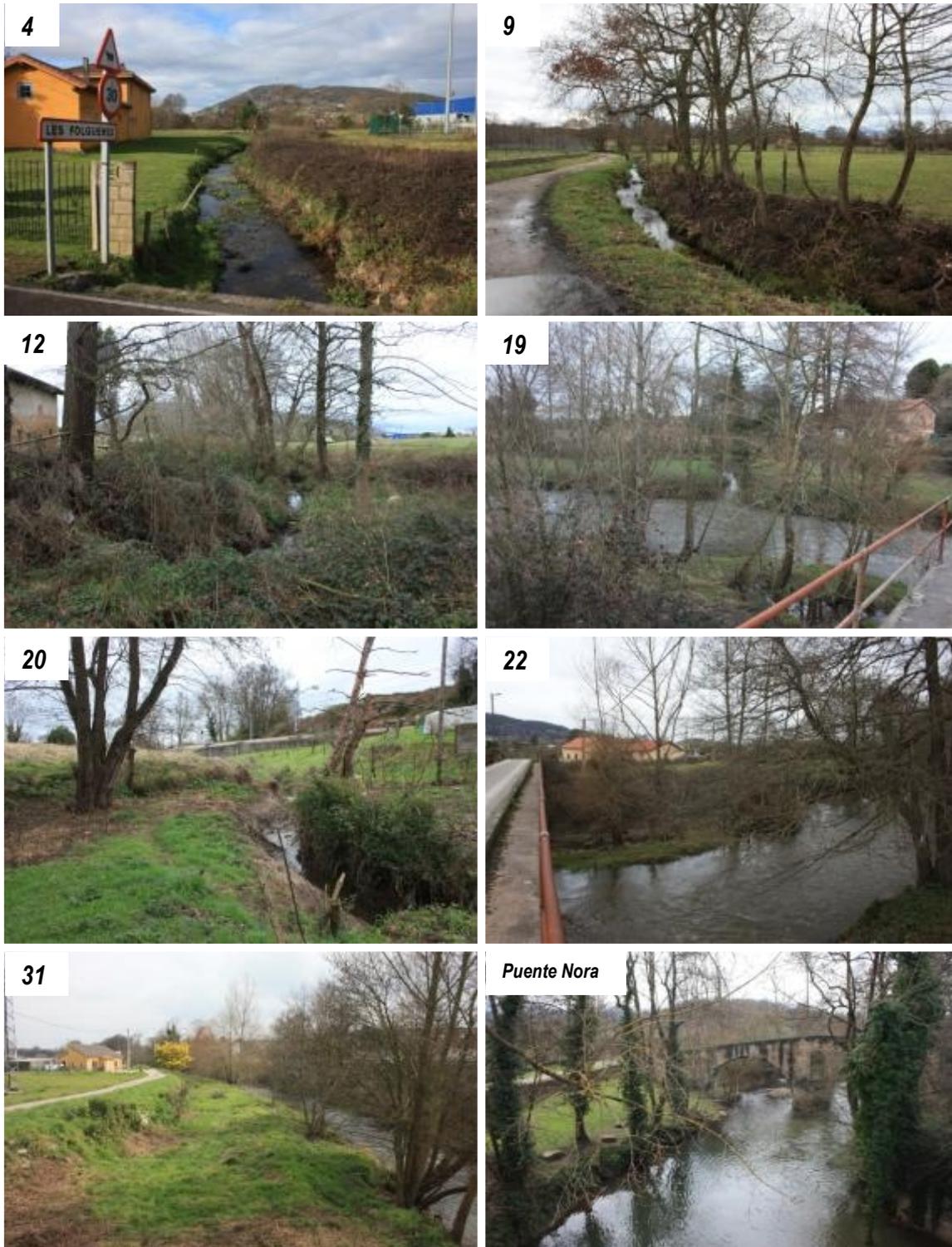


Figura 65: Canales activos a lo largo de la zona objeto de estudio en diversos emplazamientos (La numeración de la esquina superior izquierda corresponde al punto de localización de la Figura 64).

A la vista del estudio geomorfológico histórico realizado, estos canales presentan actividad durante todo el período de tiempo estudiado (desde 1947) y son fácilmente identificables en las fotografías históricas analizadas.

6.3.2. Morfologías canaliformes

Además de los canales activos, se han observado otra serie de morfologías canaliformes, que aunque en la actualidad no presenten flujo de agua, si son claramente definibles, y se han podido identificar durante el estudio geomorfológico histórico como canales con evidencias potenciales de actividad (Figura 66).



Figura 66: Morfologías canaliformes en diversos emplazamientos de la zona de estudio.

Este tipo de morfologías, aunque no muestren evidencias de actividad reciente si actuarían como zonas favorables para el flujo de agua durante períodos de lluvias o en el caso de inundaciones y desbordamientos.

6.3.3. Zonas encharcadas

Dada la morfología relativamente llana de la llanura aluvial del río Nora en esta zona, se han observado varias zonas con encharcamientos durante la mayor parte del año (Figura 67).



Figura 67: Encharcamientos a lo largo de la zona objeto de estudio en diversos emplazamientos.

Estas zonas representan tanto cubetas de drenaje de las laderas de los márgenes de la llanura aluvial, como zonas deprimidas dentro de la propia llanura. A la vista de las observaciones realizadas, la circulación de agua desde estas zonas, es relativamente escasa, y únicamente presentará mayor comunicación con los canales, tanto activos como abandonados en época de lluvias.

6.3.4. Terrazas

En la llanura aluvial del río Nora no se observan relieves de importancia debido al escaso encajamiento del río en esta zona, no generándose terrazas relevantes. No obstante, aquellas zonas que se podrían asimilar como tal, se corresponderían con barras laterales o bien con espacios que se generan por las actuaciones para evitar inundaciones y en los que la dinámica fluvial sería más frecuente que en el resto de la llanura.

6.3.5. Diques o motas

A lo largo de prácticamente toda la longitud del cauce de la zona de estudio, se ha observado la presencia de diques o motas en los márgenes del río (Figura 68).



Figura 68: Diques a lo largo de la zona objeto de estudio en diversos emplazamientos.

Estos diques dan lugar a un espacio libre entre la llanura aluvial, y el propio cauce del río, el cual se podría considerar como una zona de terraza, tal y como se ha comentado en el apartado 6.3.4. Terrazas.

6.3.6. Canalizaciones y Colectores

Además de los diques o motas, a lo largo de la zona objeto de estudio, se han observado otra serie de actuaciones antrópicas como son las canalizaciones realizadas en el entorno del Puente del Nora y el colector en la zona de Folgueras. (Figura 69).



Figura 69: Canalizaciones y colectores a lo largo de la zona objeto de estudio en diversos emplazamientos.

El colector observado en la zona de Folgueras, se encuentra a lo largo de una vaguada que se ha identificado durante el estudio geomorfológico histórico como parte de un canal secundario o canal abandonado, o bien de un meandro abandonado. Este emplazamiento presenta una problemática de cierta importancia, que será tratada en apartados posteriores, debido a su posible influencia en la inundabilidad.

En la canalización realizada en Colloto, se pueden observar otro tipo de formas geomorfológicas, como son las barras de gravas y arenas, tanto en el centro como en los laterales del cauce, huellas de avenidas en la vegetación, etc.

6.3.7. Rellenos antrópicos

Otro tipo de actuaciones antrópicas, son los rellenos antrópicos, que además de los que se han realizado en todo el entorno del centro comercial y las infraestructuras de la zona, carreteras, ferrocarril, etc, se ha observado la presencia de una zona en el entorno del Polígono del Nora (Figura 70), en la que la presencia de este tipo de depósitos ha dado lugar a la variación de la influencia que las inundaciones tienen sobre ella, tal y como se ha podido constatar durante el estudio geomorfológico histórico.



Figura 70: Relleno antrópico en el entorno del Polígono del Nora.

6.3.8. Restos de inundaciones, arribazones y huellas del paso del agua

Tal y como se ha comentado al inicio de este recorrido geomorfológico por la zona objeto de estudio, las evidencias de las inundaciones ocurridas en este emplazamiento son relativamente escasas, debido a que se trata de un área con una intensa actividad antrópica, no obstante, se han podido identificar algunas de ellas (Figura 71), que han de ser consideradas con las debidas precauciones, dado el tiempo transcurrido desde la última inundación de cierta importancia en junio de 2010.



Figura 71: Restos de plásticos y huellas de paso de agua a lo largo de la zona de estudio del río Nora.

6.4. CONSIDERACIONES GEOMORFOLÓGICO HISTÓRICO

Durante el análisis histórico del apartado 6.2 se ha realizado una propuesta de delimitación de los terrenos que formarían parte del DPHP y durante el recorrido geomorfológico del apartado 6.3 se ha podido constatar que durante los últimos años no se han producido cambios de importancia debidos a la dinámica fluvial. No obstante, si se han observado pequeñas modificaciones debido a actuaciones antrópicas como canalizaciones, diques y rellenos.

En la zona del Puente de Colloto, la canalización ha dado lugar a la disminución de la envolvente del cauce histórico en época reciente, aprovechando parte de esta superficie para uso industrial (DPHPc), lo mismo ocurre con la zona de relleno en el entorno del Polígono del Nora, que ha pasado de DPHPb a DPHPc.

Por otro lado, una vez realizado en análisis hidráulico, se ha de estudiar en profundidad la influencia de los diques o motas, especialmente en el entorno del colector de Folgueras, cuyo efecto, a tenor de las encuestas realizadas a la población de la zona, podría ser contrario al inicialmente considerado para la protección de las edificaciones de este entorno, dado que podría suponer un obstáculo para la evacuación del agua que discurre por la morfología canaliforme que se ha observado en esta zona.

7. ANÁLISIS HIDRÁULICO

Tras el análisis geomorfológico e histórico, se realiza un análisis hidráulico para periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, tal y como se establece la *Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del MMAMRM(2011)*, obteniéndose el área inundable asociada a cada uno, así como calados y velocidades.

7.1. MODELOS HIDRÁULICOS

Siguiendo la metodología descrita para el presente trabajo, se han creado dos modelos hidráulicos, por un lado se han simulado las inundaciones Q10, Q100 y Q500 con los caudales del ARPSI de la zona de estudio (Tabla 5), y por otro la Máxima Crecida Ordinaria (MCO)(Tabla 7).

Asimismo, una vez obtenida la inundación correspondiente a un período de retorno T100 años mediante HEC-RAS y HEC-GeoRAS, se obtendrán la Via de Intenso Desagüe (VID) y la Zona de Flujo Preferente (ZFP).

7.1.1. Máxima Crecida Ordinaria (MCO)

El Artículo 4 del Texto Refundido de la Ley de Aguas define cauce como, "Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias".

En el Artículo 4 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico se contempla la definición de cauce y se define la MCO:

1. "Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias. La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles."
2. "Se considerará como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales en su régimen natural producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente y que tengan en cuenta lo establecido en el apartado 1".

7.1.1.1. HEC-RAS

Los resultados obtenidos para la superficie de inundación de la MCO se muestran en la Figuras 72y 73.

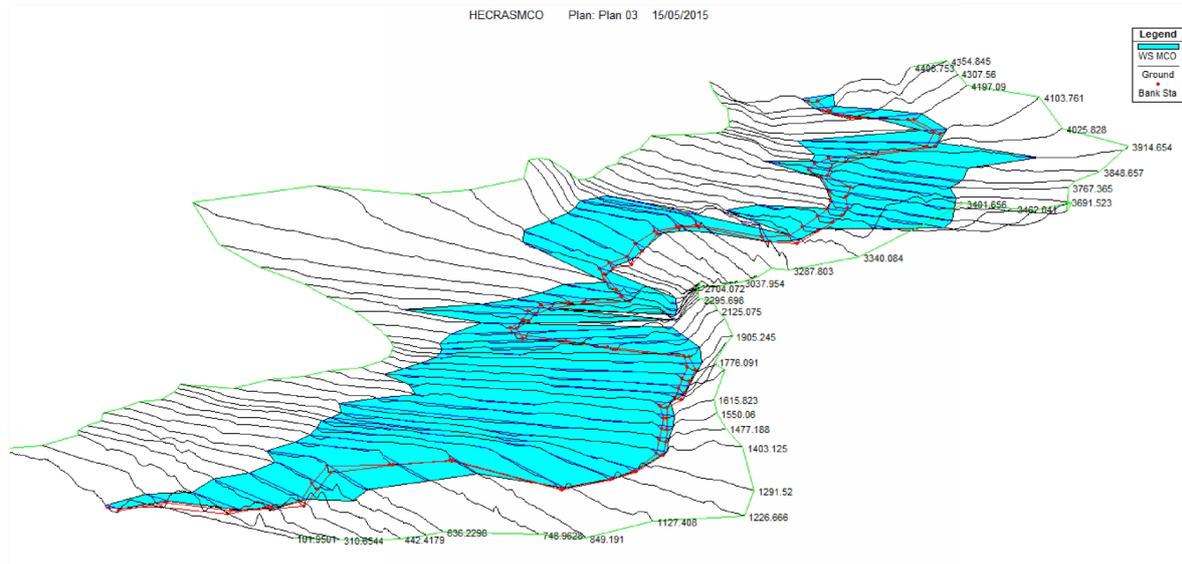


Figura 72: Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para la MCO.

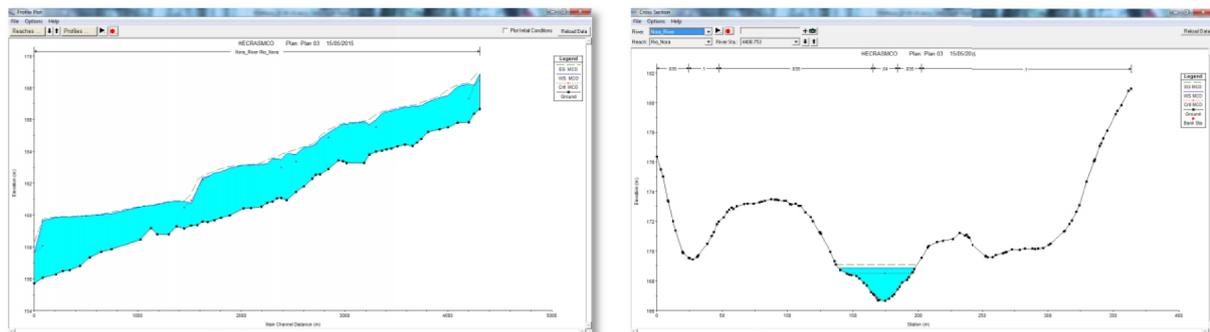


Figura 73: Sección longitudinal y una transversal para MCO.

7.1.1.2. HEC-GeoRAS

Una vez exportados los datos de HEC-RAS, mediante HEC-GeoRAS se obtienen los rásters de calados y velocidades para la superficie inundada por la MCO (Figuras 74y 75).



Figura 74: Calados de la lámina de agua en la inundación de la MCO.

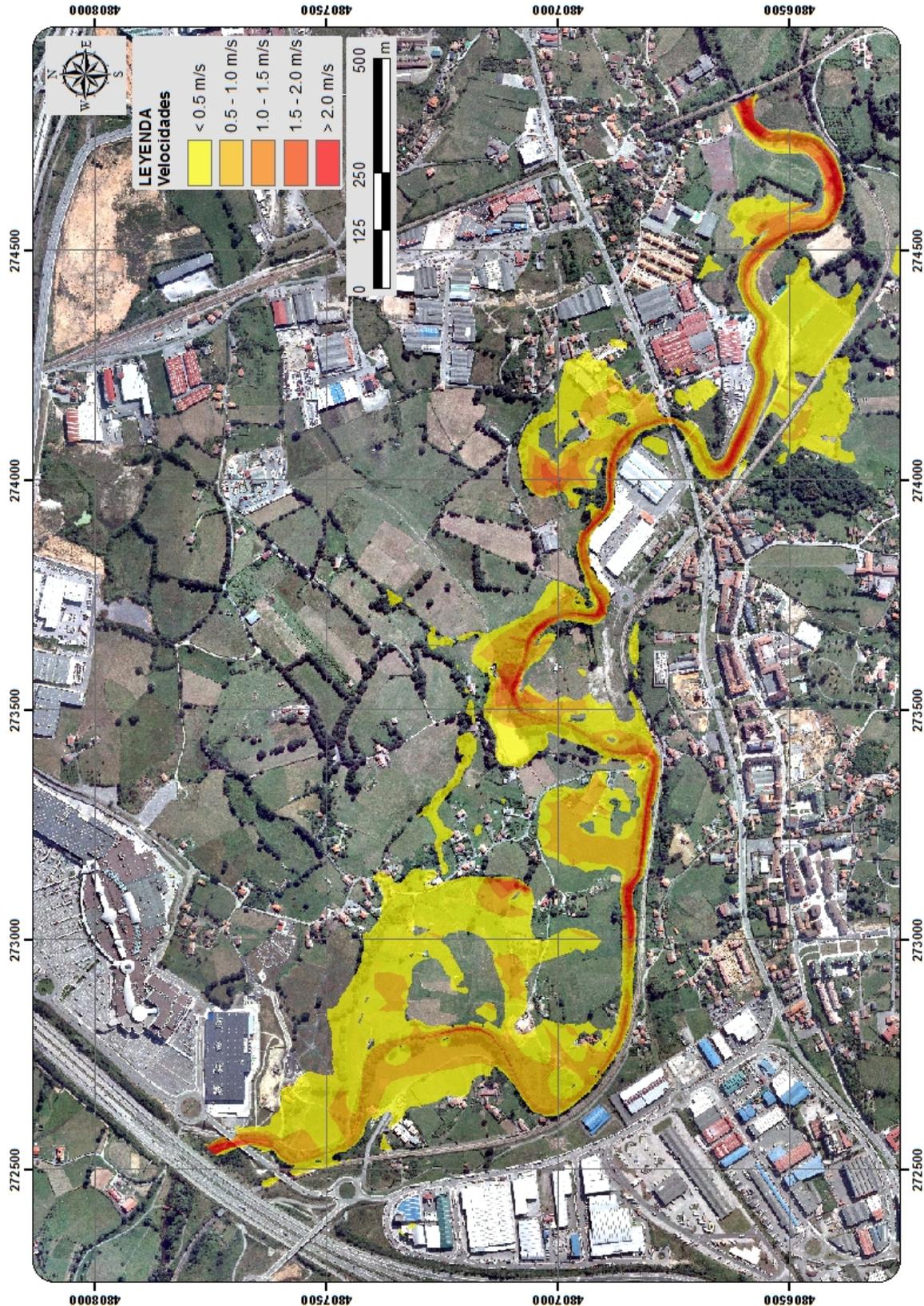


Figura 75: Velocidades de la lámina de agua en la inundación de la MCO.

Tal y como se expresó en el apartado 4.3.2. CAUMAX, los valores de caudal obtenidos por este método, son del orden de un 15% inferiores a los obtenidos mediante el Plan Hidrológico Norte III, no obstante en el caso de la MCO a tenor de los resultados obtenidos, cabe considerar que existe un sobredimensionamiento en la inundación resultante, aun habiéndose empleado caudales de CAUMAX.

En este caso pudiera influir la base topográfica (MDT) que se ha empleado, en la que no existen datos de calado del cauce, por lo que las variaciones entre las extensiones de las láminas de agua entre los modelos generados y las de los ARPSIs presentan mayores diferencias a caudales bajos, siendo relativamente concordantes para periodos de retorno más elevados.

Los valores de caudal obtenidos por los diferentes métodos, podrían ser objeto de una discusión más amplia, en la que se podría arrojar más luz sobre esta situación, para lo que habría que realizar un estudio más exhaustivo a fin de identificar la causa de tales diferencias.

7.1.2. Avenidas Q10, Q100 y Q500

Tal y como se ha comentado en el apartado 4.3. CAUDALES DE REFERENCIA, se han empleado los caudales correspondientes a alta, media y baja probabilidad de inundación que se contemplan en los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación de la ARPSI en la zona de estudio (Figura 16).

7.1.2.1. HEC-RAS

Los resultados obtenidos para la superficie de inundación con un período de retorno de T10 años se muestran en las Figuras 76y 77.

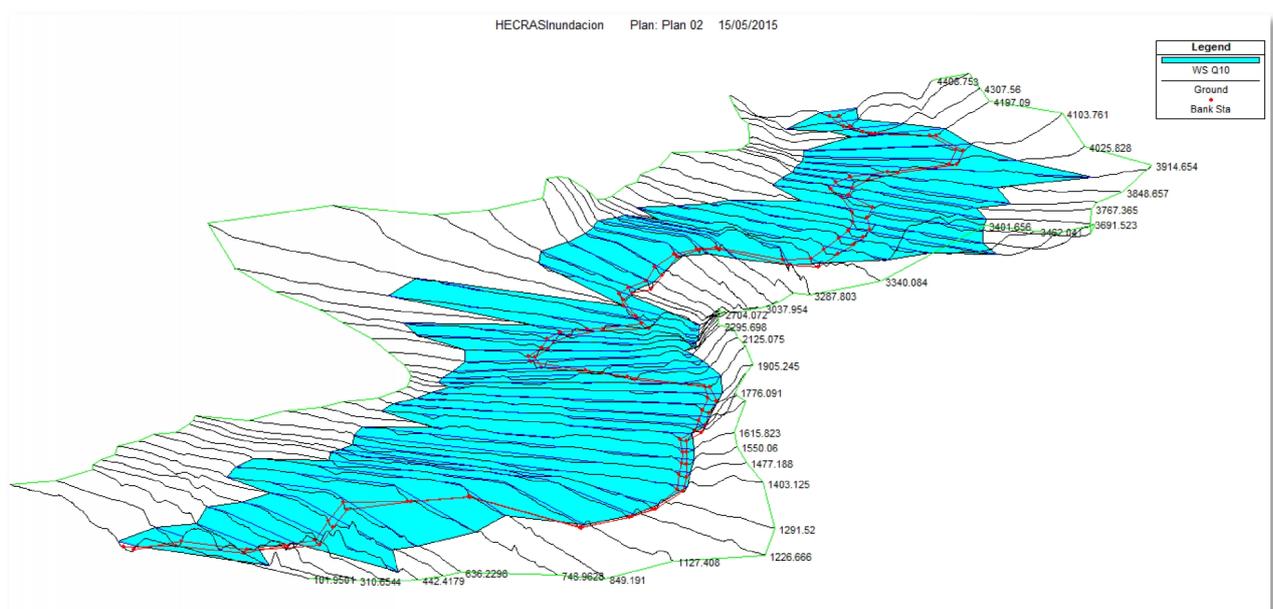


Figura 76: Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para Q10.

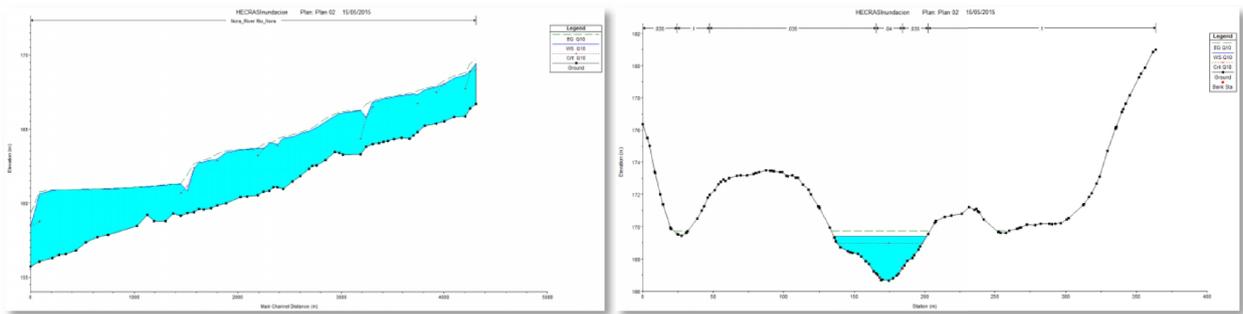


Figura 77: Sección longitudinal y una transversal para Q10.

Los resultados obtenidos para la superficie de inundación con un período de retorno de T100 años se muestran en las Figuras 78y 79.

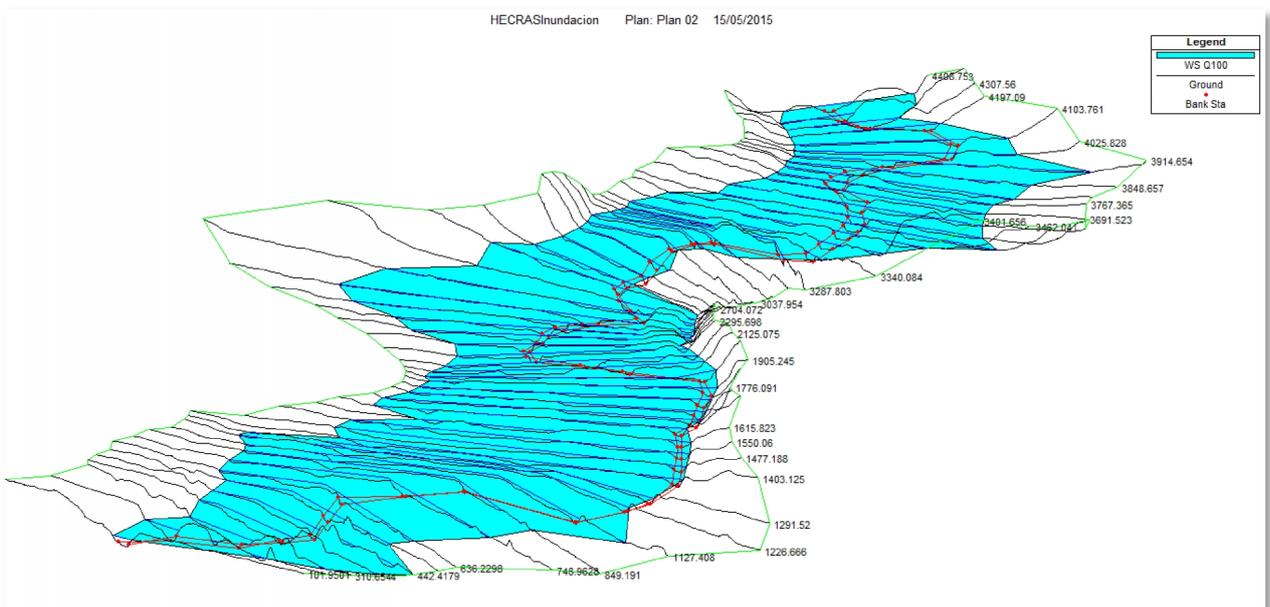


Figura 78: Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para Q100.

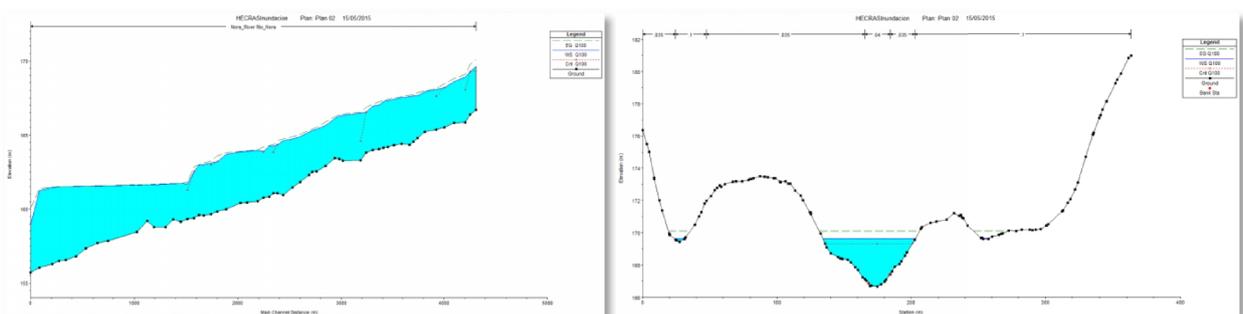


Figura 79: Sección longitudinal y una transversal para Q100.

Los resultados obtenidos para la superficie de inundación con un período de retorno de T500 años se muestran en las Figuras 80y 81.

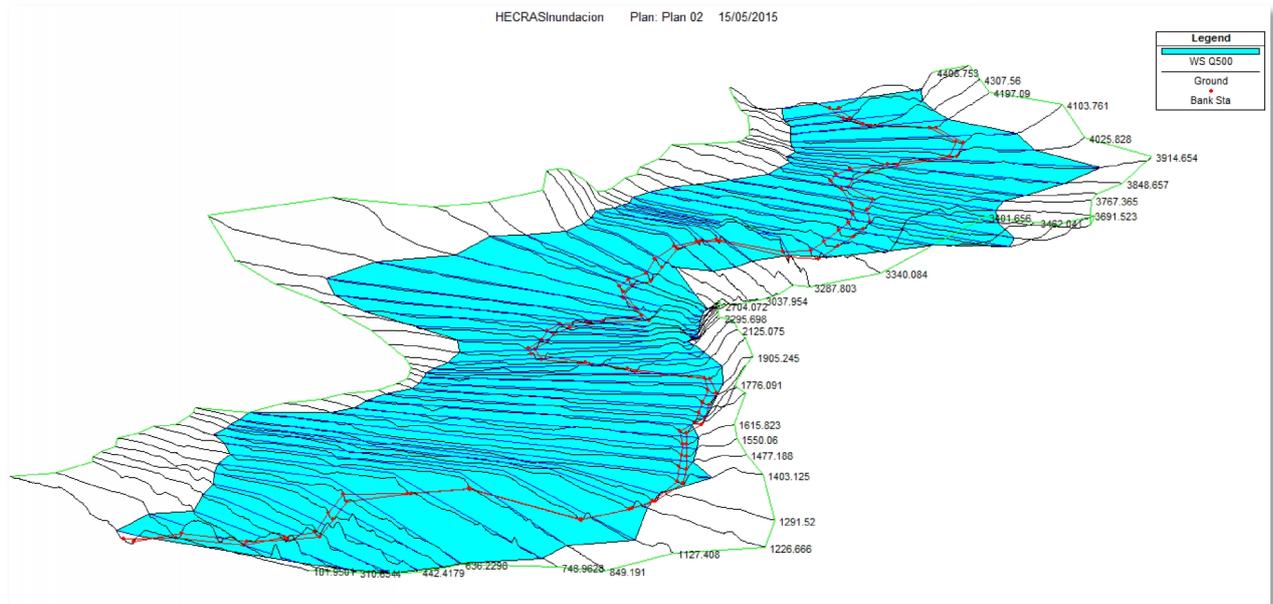


Figura 80: Visualización 3D de la extensión de la lámina de agua para Q500.

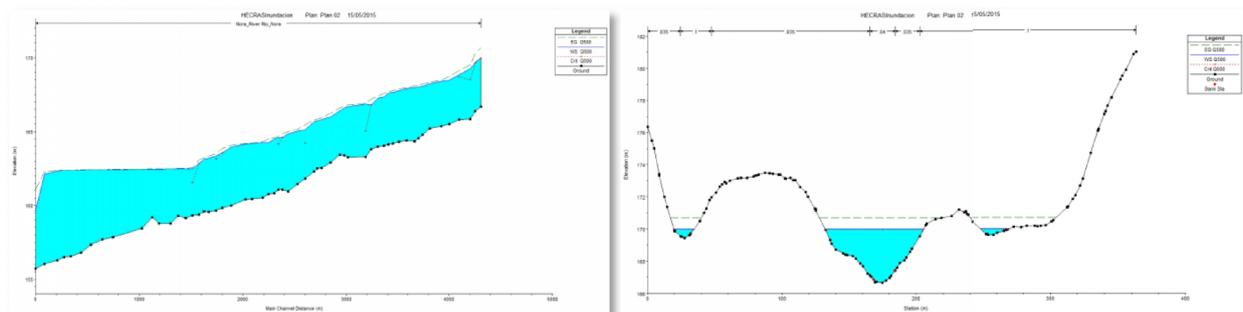


Figura 81: Sección longitudinal y una transversal para Q500.

7.1.2.2. HEC-GeoRAS

Una vez exportados los datos de HEC-RAS, mediante HEC-GeoRAS se obtienen los rásters de calados y velocidades para la superficie inundadas de los períodos de retorno T10, T100 y T500 años (Figuras 82a 87).

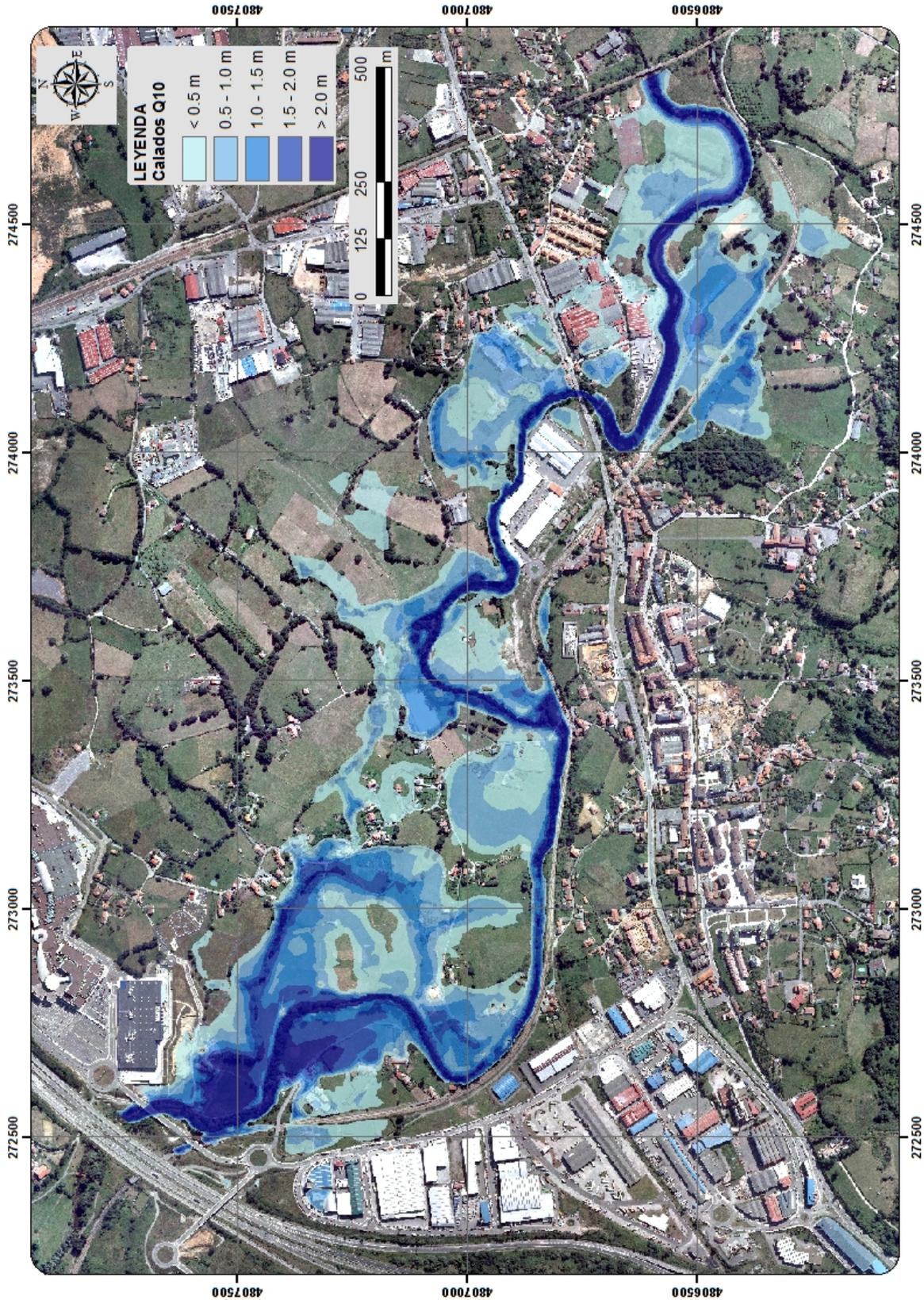


Figura 82: Calados de la lámina de agua en la inundación Q10.

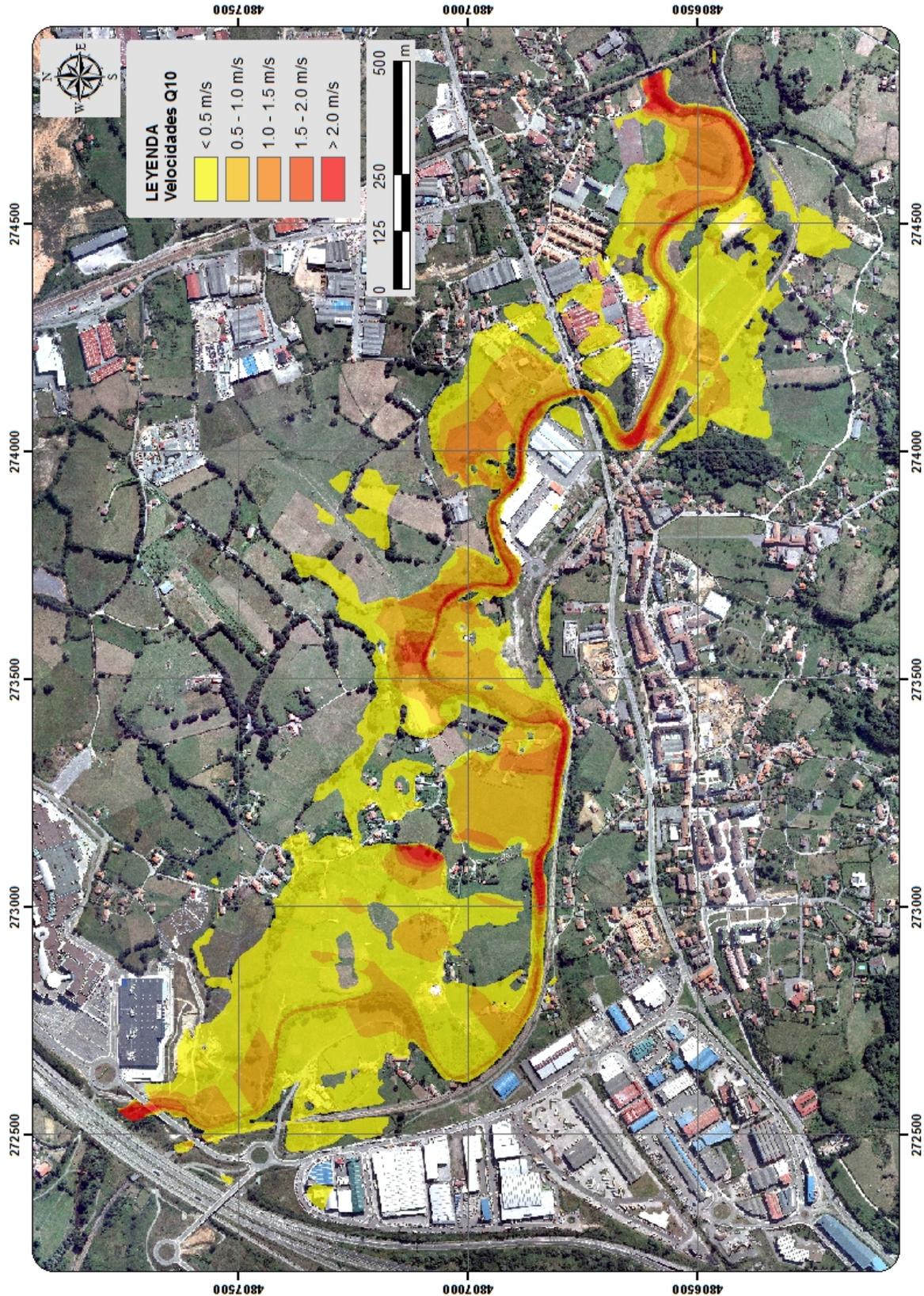


Figura 83: Velocidades de la lámina de agua en la inundación Q10.

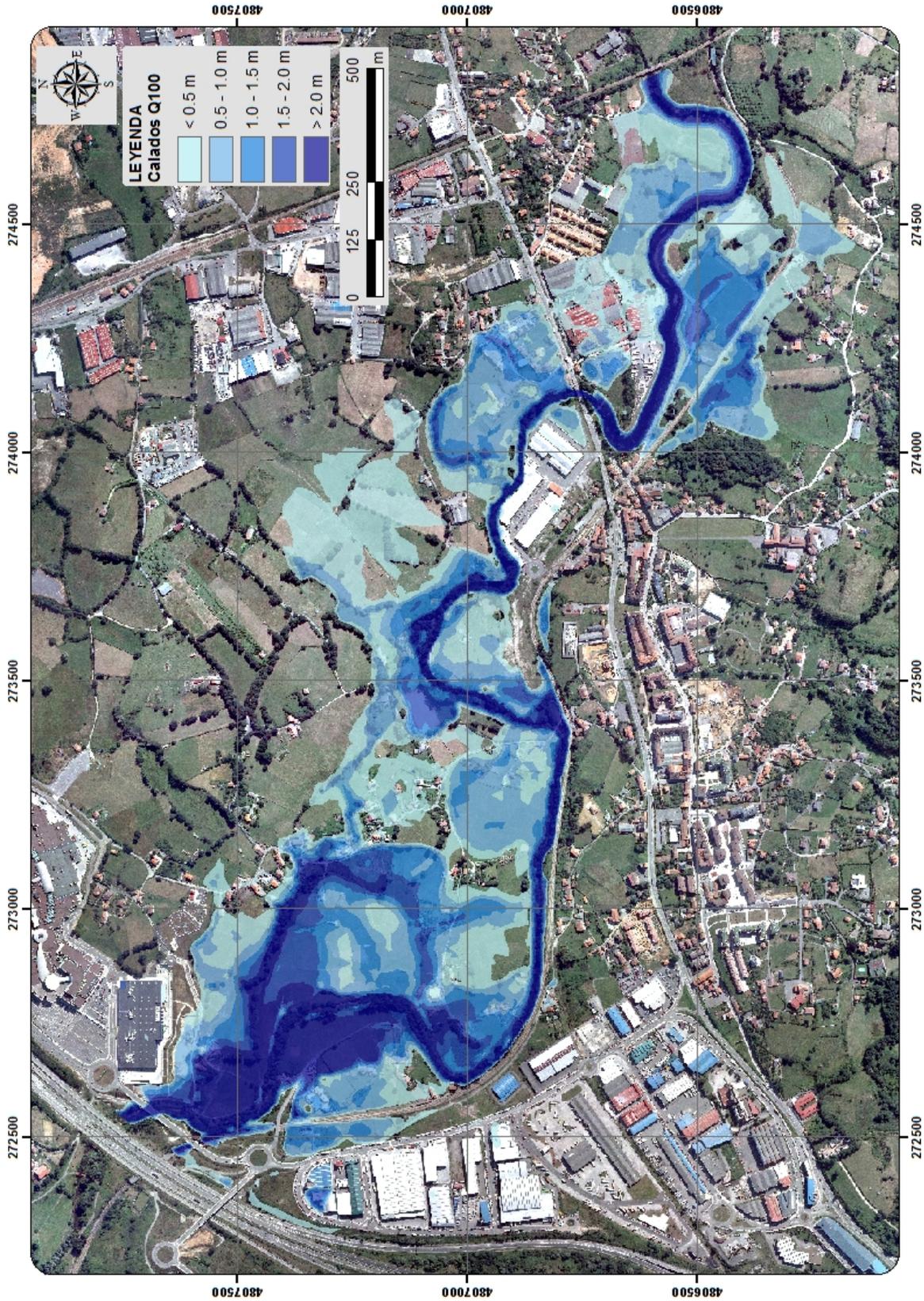


Figura 84: Calados de la lámina de agua en la inundación Q100.

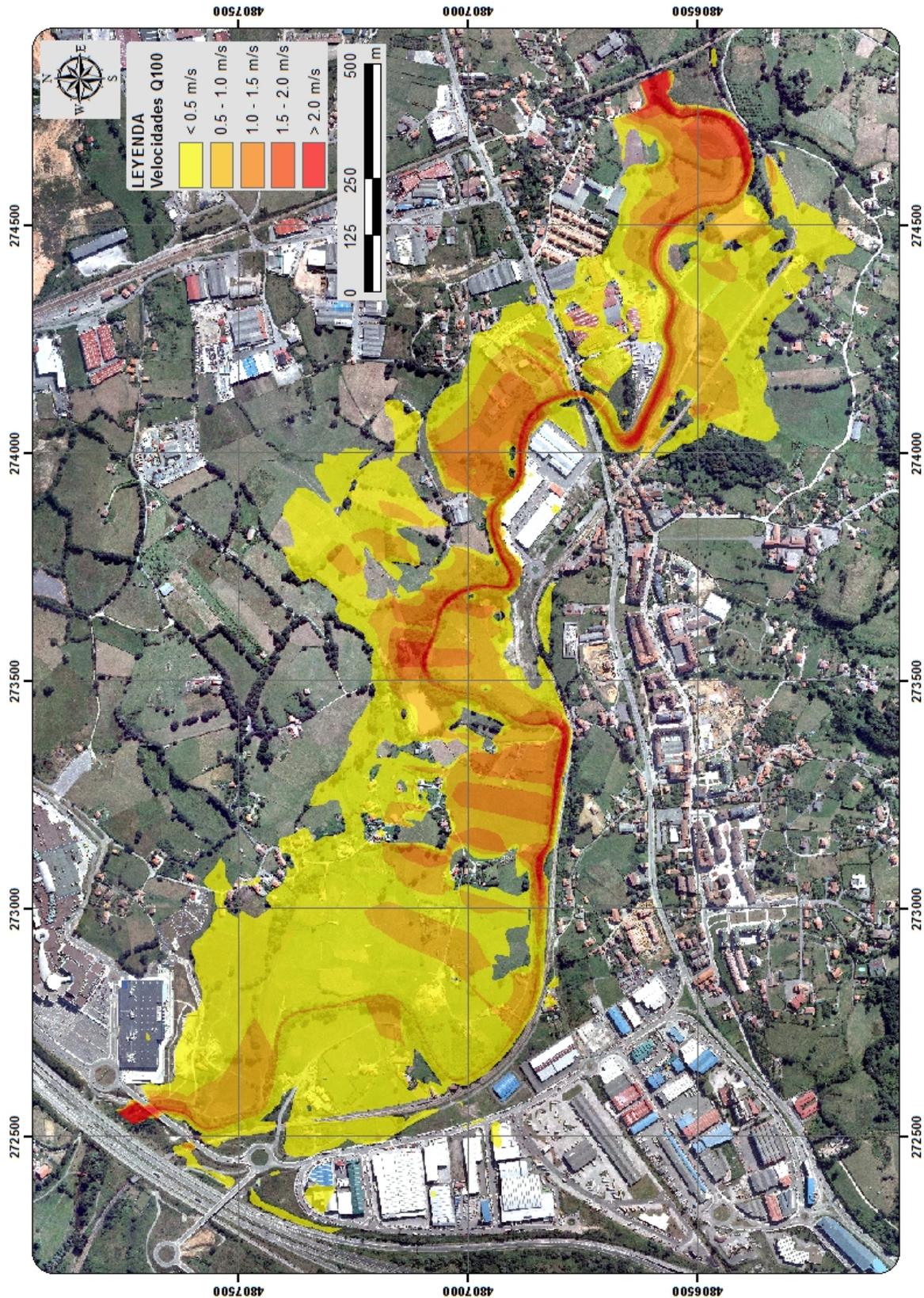


Figura 85: Velocidades de la lámina de agua en la inundación Q100.

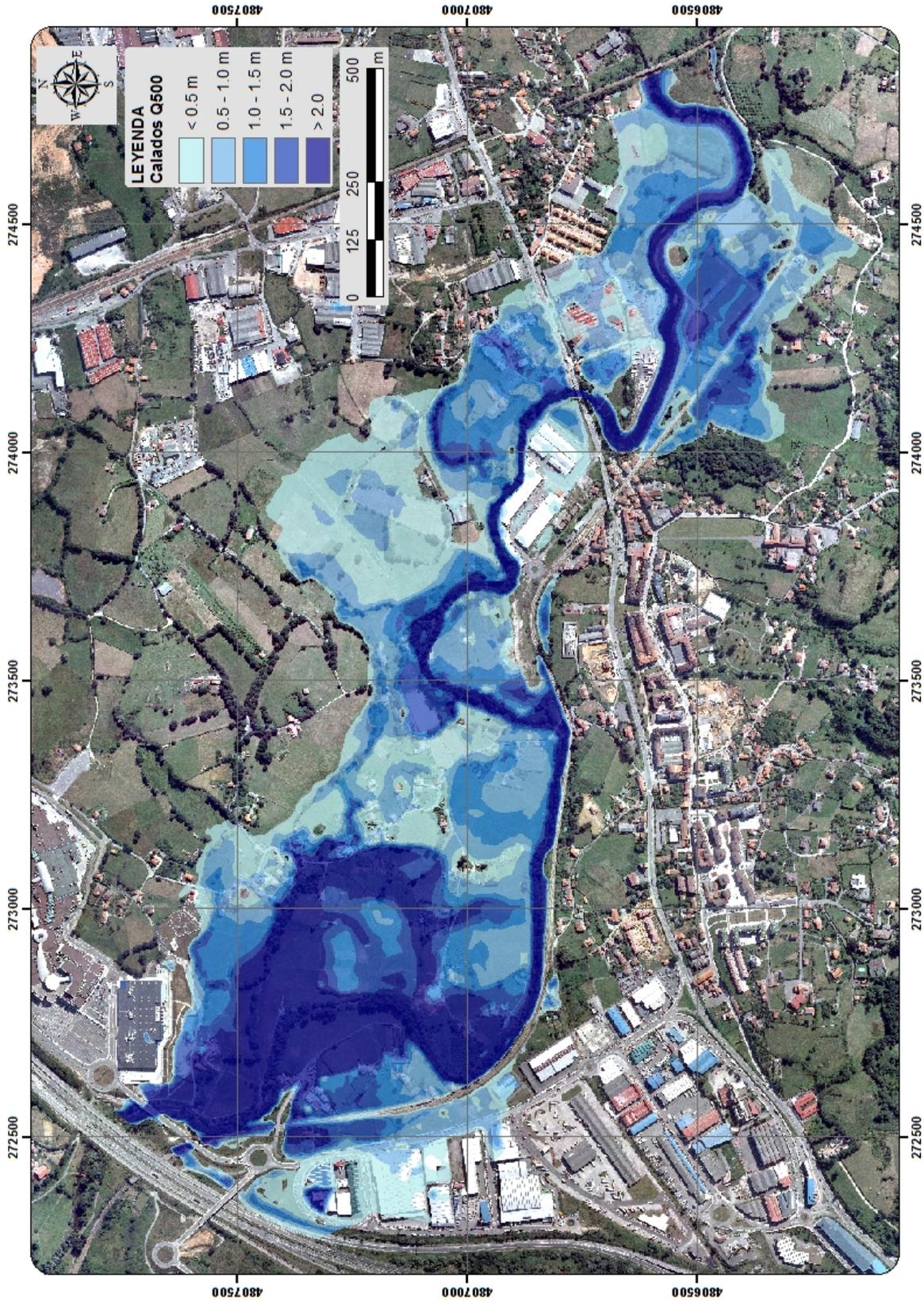


Figura 86: Calados de la lámina de agua en la inundación Q500.

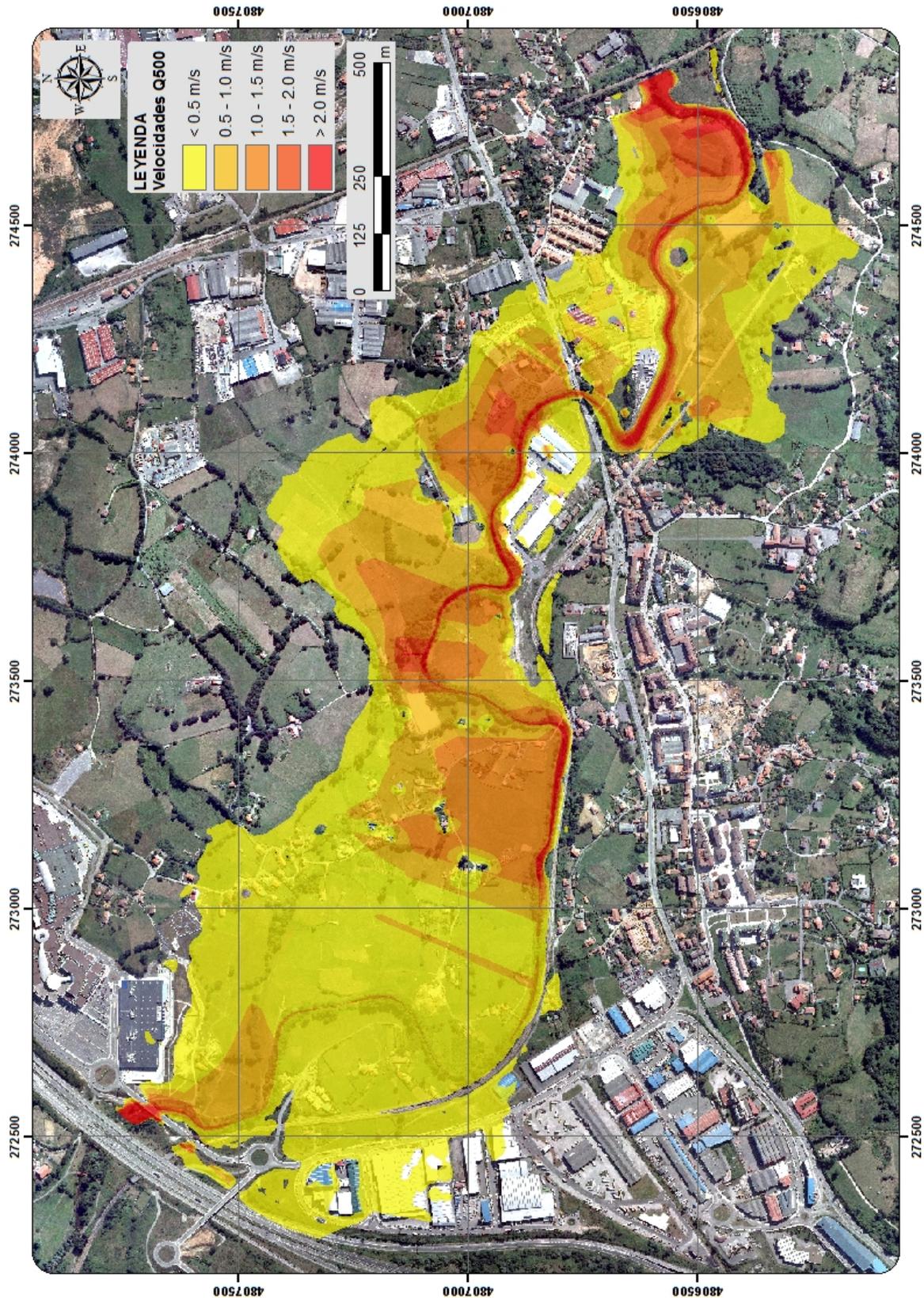


Figura 87: Velocidades de la lámina de agua en la inundación Q500.

7.1.3. Vía de Intenso desagüe (VID)

El cálculo de la VID, tal y como se indicó en el apartado de metodología se realiza mediante el software HEC-RAS y una herramienta específica para tal fin que se llama *Encroachment* (traspaso de límites).

De este modo, ejecutando el *Encroachments* con el Método 4 y una sobreelevación de 0,30 metros, se han obtenido algunas secciones con valores anómalos.

Estos errores se han corregido en la medida de lo posible en varias simulaciones hasta obtener unos resultados adecuados (Figura 88), no obstante, en algunas secciones no se alcanzan los condicionantes requeridos dado que al establecer la sobreelevación se producen cambios en el régimen del río, especialmente en aquellas zonas en las que existen estrechamientos o estructuras cercanas, obteniéndose valores de sobreelevación ligeramente superiores a 0.30 m (Figura 89).

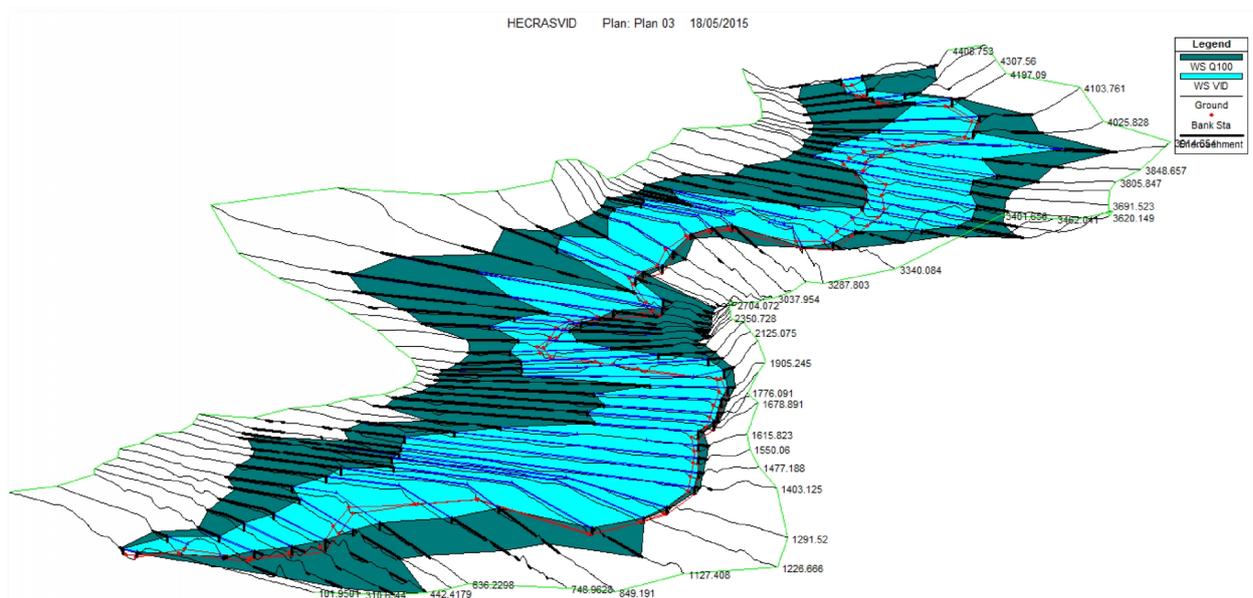


Figura 88: Extensión de la Vía de Intenso Desagüe (VID) y los encroachments en la superficie inundada correspondiente a T100 años.

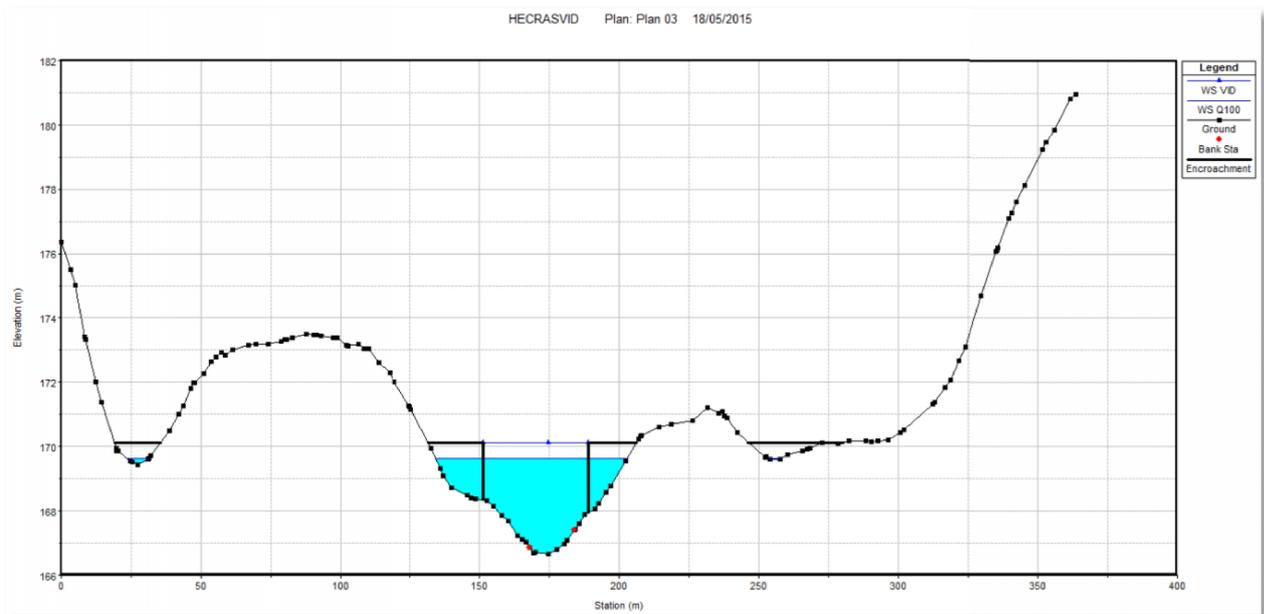


Figura 89: Sección transversal con la altura de la inundación Q100, la VID y los encroachments.

Una vez calculados los encroachments en HECRAS, se exportan los resultados a formato GIS y se calcula la superficie de la VID en el ArcGIS(Figura 90).

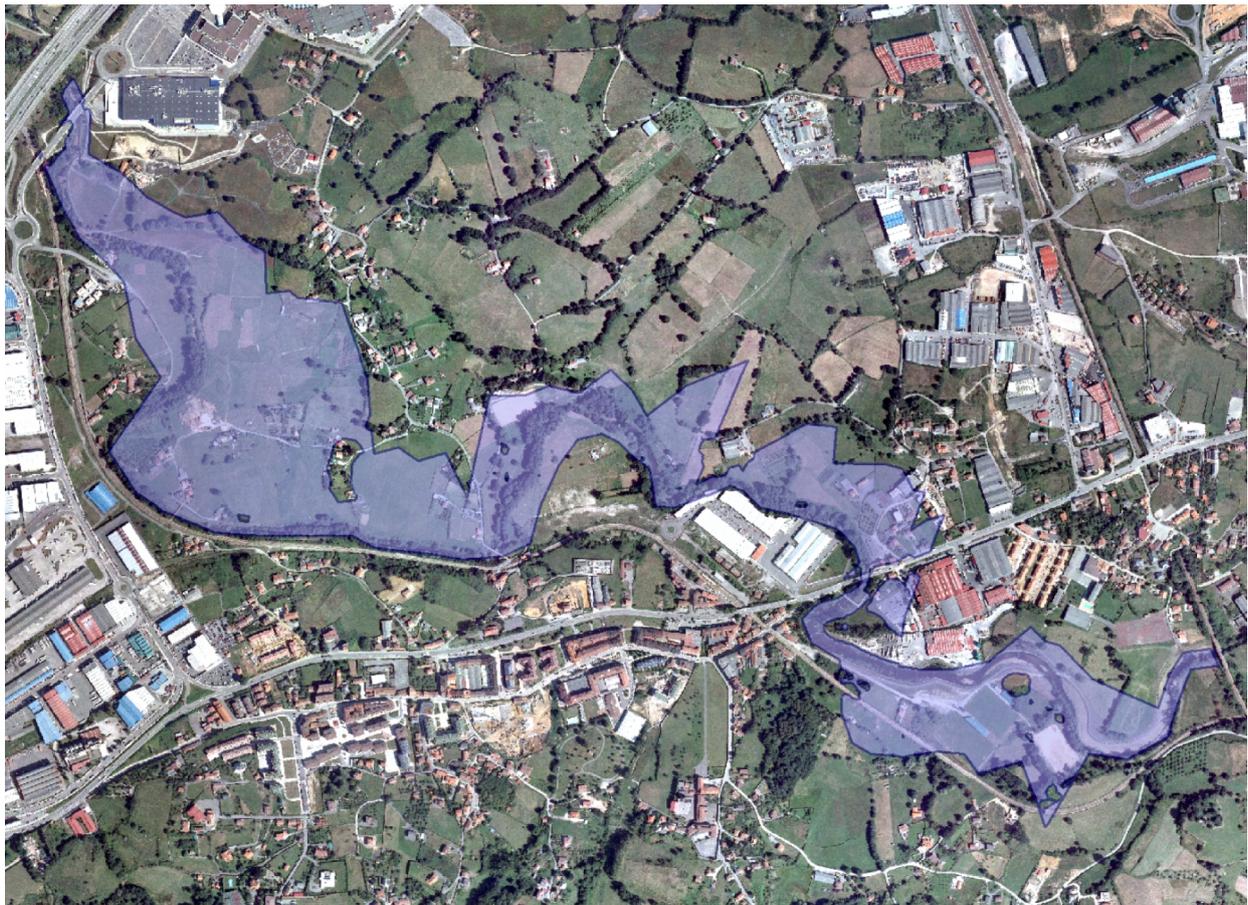


Figura 90: Extensión de la VID en la zona objeto de estudio.

La extensión de la VID calculada presenta una superficie irregular, debido en parte al espaciado entre los diferentes perfiles establecidos, y a los pequeños errores en altura de la base cartográfica del MDT empleado.

De este modo, se ha editado la superficie de la VID para adecuarla morfológicamente a la extensión que realmente ocuparía (Figura 91), de forma que sea más coherente tanto con la inundación de la MCO, como con la propuesta de delimitación del DPHP definido a partir del estudio geomorfológico histórico y los reconocimientos de campo realizados.



Figura 91: Extensión de la VID editada en la zona objeto de estudio.

Una vez obtenidas la VID y la extensión de la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puede definir la Zona de Flujo Preferente (ZFP).

7.1.4. Zona de flujo preferente (ZFP)

Tal y como define el SNCZI, la Zona de Flujo Preferente (ZFP) se delimita con el objeto de preservar la estructura y funcionamiento del sistema fluvial, dotando al cauce de espacio adicional suficiente para permitir tanto su movilidad natural como la laminación de caudales y carga sólida transportada, favoreciendo la amortiguación de las avenidas. Se trata de una zona en la que, con periodos de recurrencia frecuentes, la avenida genera formas erosivas y sedimentarias debido a su gran calado y velocidad.

En el Real Decreto 9/2008 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, se define la zona de flujo preferente de la siguiente forma:

"La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas. A los efectos de la aplicación de la definición anterior, se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

- a) Que el calado sea superior a 1 m.*
- b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s.*
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s*

En la delimitación de la zona de flujo preferente se empleará toda la información de índole histórica y geomorfológica existente, a fin de garantizar la adecuada coherencia de los resultados con las evidencias físicas disponibles sobre el comportamiento hidráulico del río".

A partir de los dos rásters de calados (Figura 85) y de velocidades (Figura 86) para el periodo de retorno T100 años, mediante la herramienta **3D Analyst Tools/RasterMath/Times**, se obtiene un ráster producto de ambos, que se reclasifica con la herramienta **3D Analyst Tools/RasterReclass/Reclassify**, para obtener la Zona de Inundación Peligrosa (ZIP), en el que los valores sean superiores a 0,5 m²/s (Figura 92).

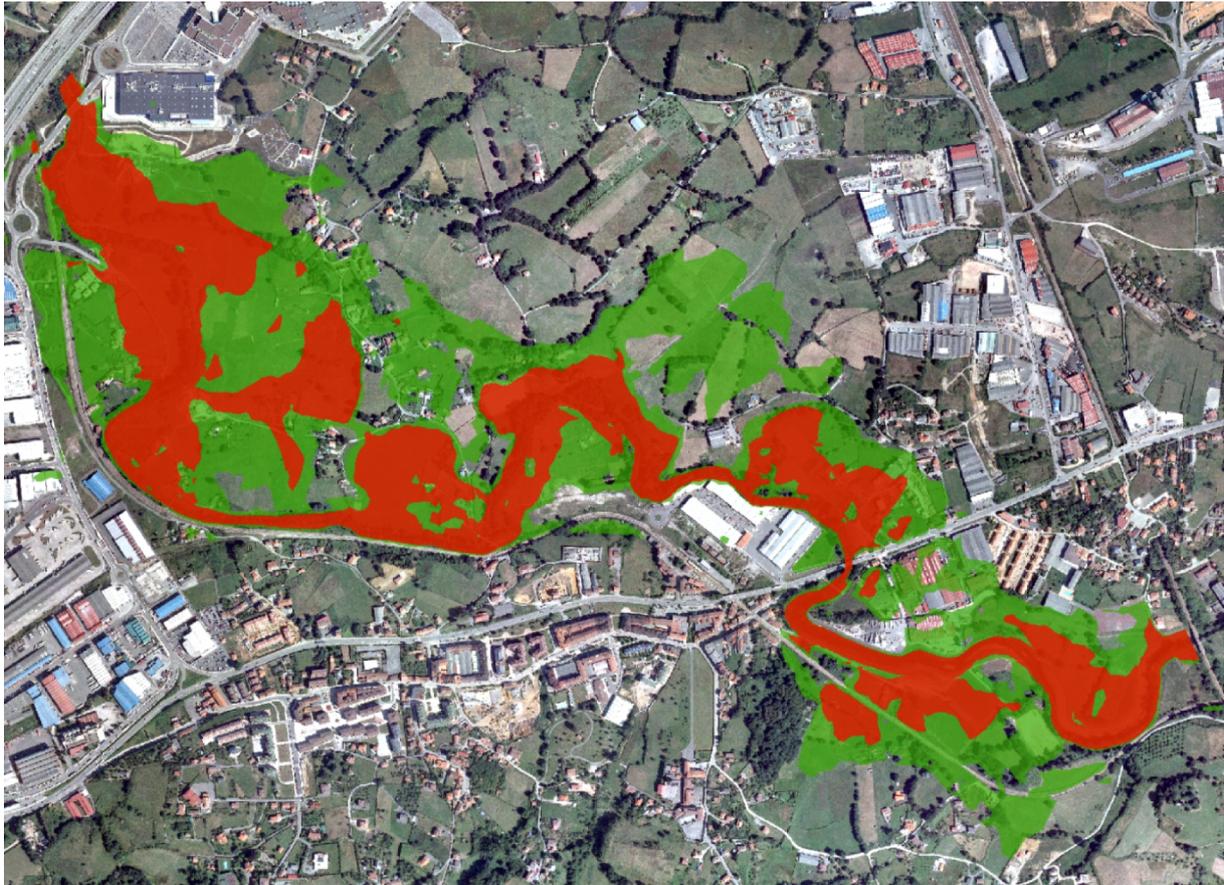


Figura 92: Zona de Inundación Peligosa ZIP (en rojo).

Con la herramienta *Conversion/FromRaster/RasterDomain* se obtiene el polígono correspondiente a la ZIP.

Por último, a partir de las superficies de VID y ZIP, con la herramienta *Analyst Tools/Overlay/Union* se obtiene la envolvente máxima del área de la Zona de Flujo Preferente (ZFP) (Figura 93).

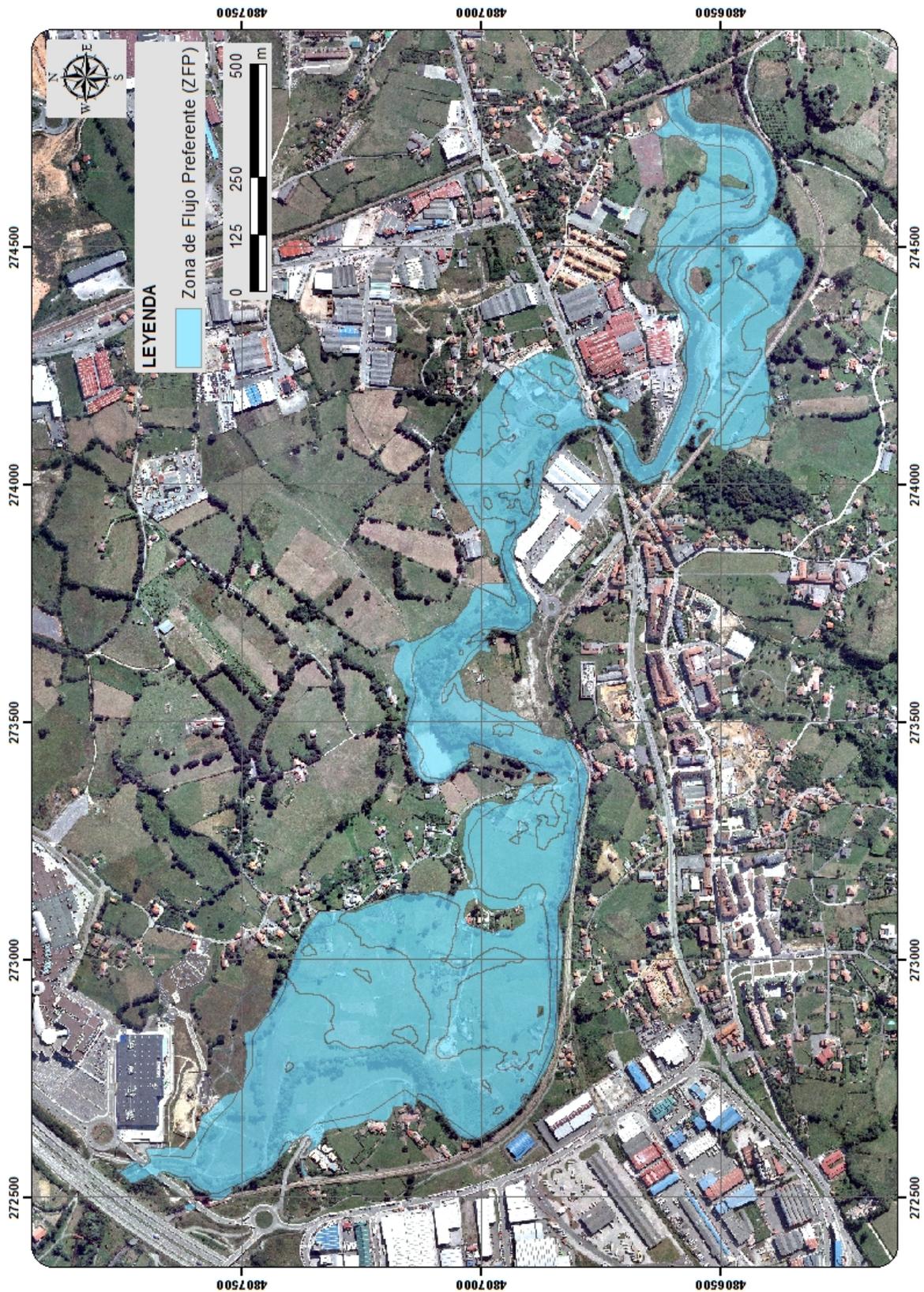


Figura 93: Zona de Flujo Preferente ZFP, unión VID + ZIP.

7.2. CALIBRACIÓN

Una vez obtenidos los modelos hidráulicos de la zona objeto de estudio, para la calibración de los mismos se emplearán los datos de la tabla 12 que se muestran gráficamente en la Figura 94.

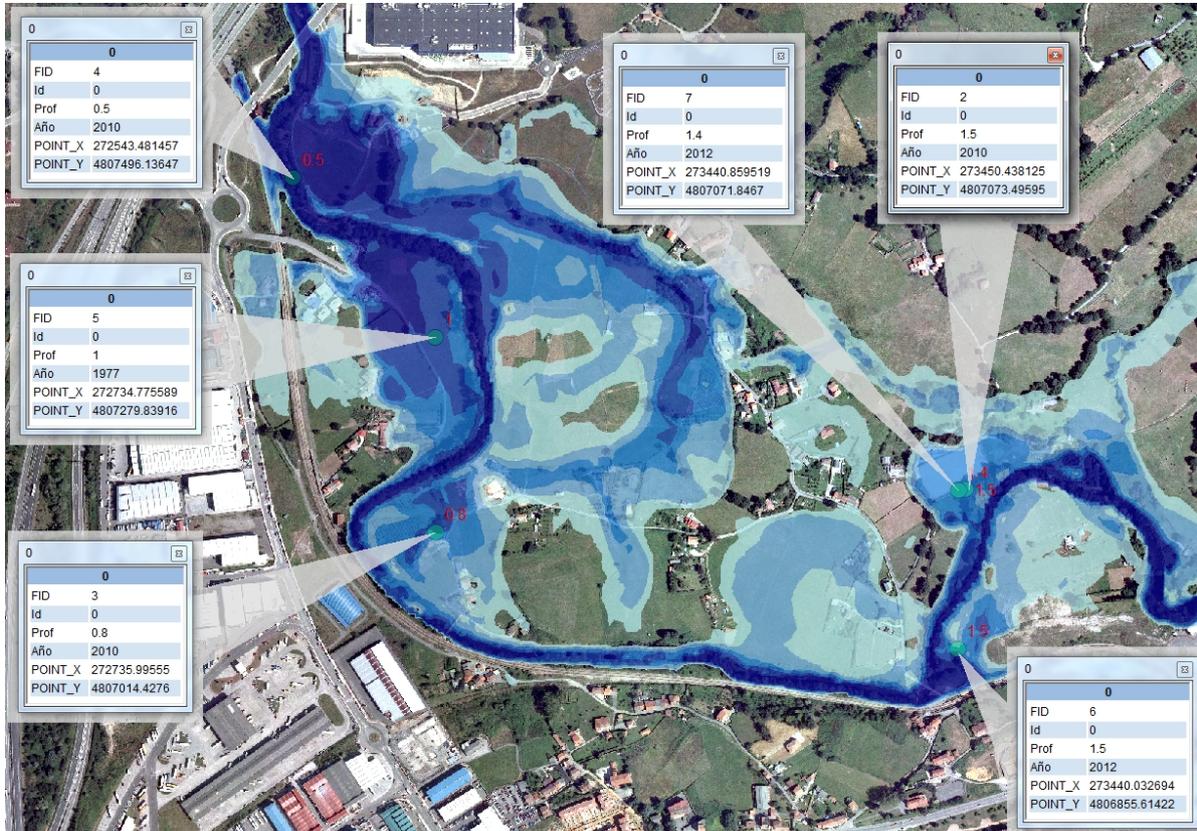


Figura 94: Calibración. Ráster de calados Q10 y datos de calado medidos

X	Y	Calado histórico		Calado calculado Q10 (m)
		Año	Prof. (m)	Prof. (m)
272734.77	4807279.84	1977	1.00	1.76
272543.48	4807496	2010	0.50	2.53
272735.99	4807014.42	2010	0.80	1.36
273450.43	4807073.49	2010	1.50	1.25
273440.03	4806855.61	2012	1.50	1.25
273440.85	4807071.84	2012	1.40	1.34

Tabla 12. Datos de calados históricos y calados calculados Q10

Tomando como referencia el último gran evento de inundación de junio de 2010, el cual se corresponde con una avenida de periodo de retorno mayor a T10 años, los valores de calado de Q10 deberían ser de menor orden que los datos para la inundación de junio de 2010.

A la vista de esto, el ajuste del modelo realizado es relativamente coherente, mostrando variaciones puntuales, lo cual a tenor de todo lo expresado en el presente trabajo, puede ser debido por un lado a la precisión del MDT empleado y por otro a la propia exactitud de las medidas de calado obtenidas, tal y como se ha comentado en el apartado 4.2.2. Datos de calados.

El ajuste de las profundidades de la lámina de agua es mejor en los datos más modernos, 2010 y 2012, y aunque se han observado valores anómalos, estos pueden ser debidos a un error de precisión en la situación del punto de medida.

Por otro lado, los valores del coeficiente de rugosidad también tienen influencia, pero ésta será de menor relevancia que los errores debidos a la base topográfica empleada o al emplazamiento de los puntos de medida del calado.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la delimitación del Dominio Público Hidráulico probable (DPHP) y la Zona de Flujo Preferente (ZFP) han de tenerse en cuenta la modelización de las inundaciones, así como las evidencias geomorfológicas e históricas.

Tal y como se refleja en la Guía del SNCZI, la delimitación del Dominio Público Hidráulico Probable mediante un criterio hidrológico-hidráulico sirve como herramienta de apoyo a la delimitación más precisa basada en el análisis histórico y geomorfológico.

De este modo, tal y como se ha podido comprobar a lo largo del presente trabajo, existen una serie de condicionantes, como puede ser la información cartográfica que podría dar lugar a una serie de errores de gran relevancia y para lo cual se requiere un tratamiento previo de la información cartográfica disponible, así como de la realización de una serie de reconocimientos de campo, a fin de corroborar que los datos obtenidos de la modelización se ajustan a la realidad en la medida de lo posible.

8.1. DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO PROBABLE (DHP)

Una vez realizado el tratamiento de datos y la modelización hidráulica, se analizan y comparan las áreas inundadas de la ZFP (Figura 93) y la estimación potencial de la envolvente del cauce histórico mediante criterios históricos y geomorfológicos (Figura 95).

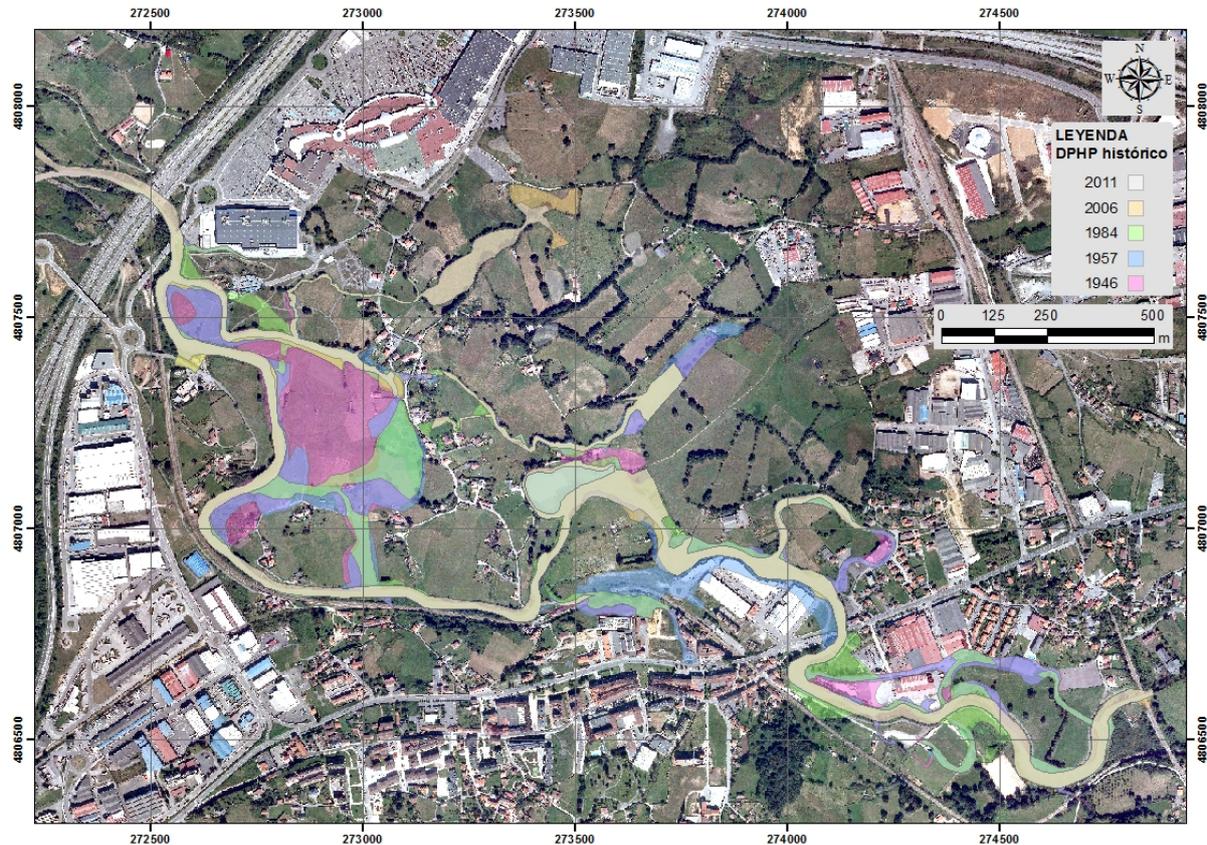


Figura 95: DPHP históricos definidos en el estudio geomorfológico histórico.

En el apartado 6.2. PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DEL DHP ya se estudiaron las variaciones en la estimación potencial de la envolvente del cauce histórico, analizándose a continuación la repercusión que dichas variaciones pudieran haber ocasionado a la ZFP.

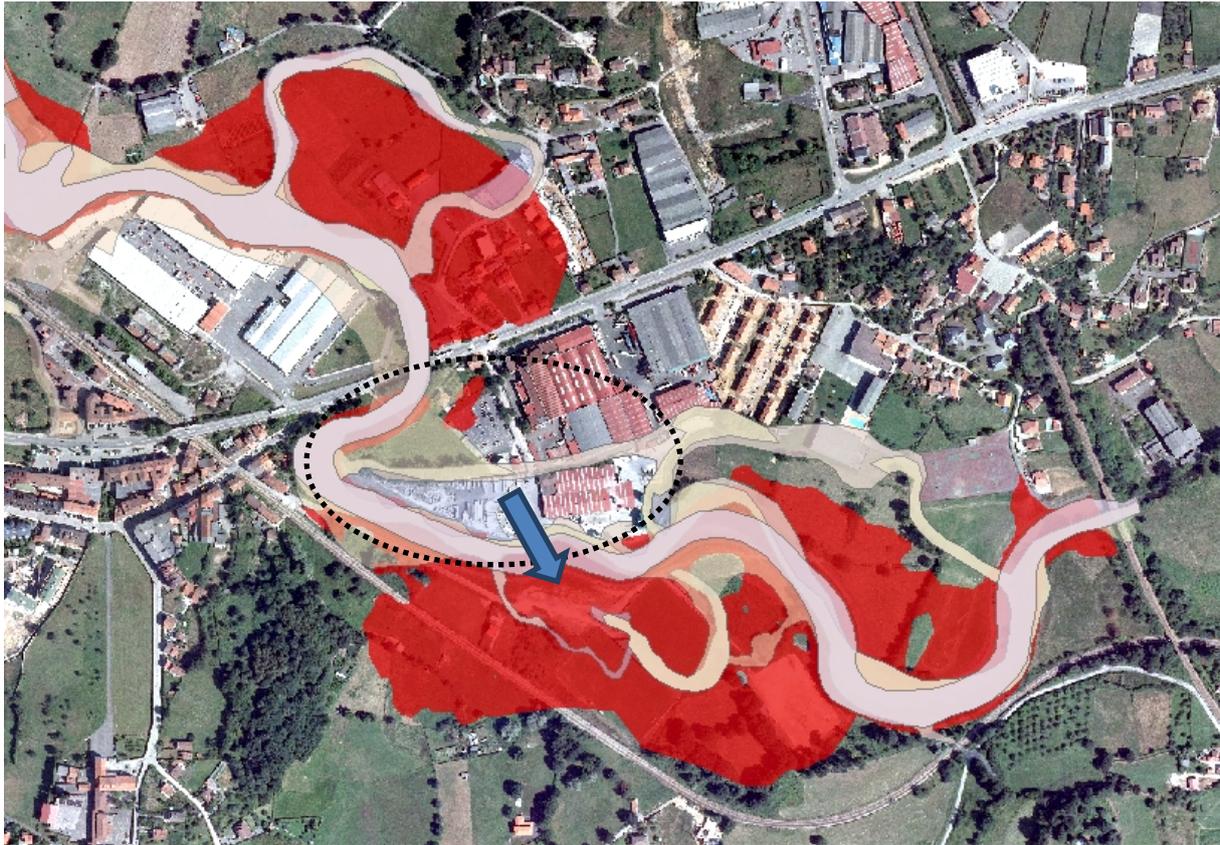


Figura 96: Comparativa DPHP histórico con ZFP (rojo) en Colloto.

En la Figura 96 se puede observar que las actuaciones llevadas a cabo en el entorno de Colloto tanto en la zona de la Coca-Cola como en el Polígono del Águila del Nora, da lugar a una importante modificación de la ZFP, cuya consecuencia es la inundación de áreas que anteriormente no pertenecían al DPHP propuesto.

Otra zona en la que se han observado variaciones en la envolvente del cauce histórico que generan cambios en la ZFP es la que se puede observar en la Figura 97, donde terrenos que anteriormente pertenecían al cauce histórico han sido rellenados (rellenos antrópicos), cambiando de esta forma las condiciones de inundabilidad del entorno.

El relleno de estas parcelas daría lugar a que todo el volumen de agua que alojaba en época de crecidas, se desplaza aguas abajo inundando otras áreas con mayor riesgo con mayor la presencia de infraestructuras y edificaciones.

La ocupación y relleno de los cauces abandonados da lugar a que aumente la superficie de inundación evitando que el agua discurra por su cauce natural.



Figura 97: Comparativa DHPH histórico con ZFP (rojo) en el entorno del Polígono del Nora.

La última zona analizada es el entorno de la localidad de Folgueras y el C.C. Parque Principado (Figura 98), donde la práctica totalidad del cauce histórico definido se encuentra englobado en la ZFP, por lo que apenas han existido cambios de importancia a lo largo de la serie histórica analizada.



Figura 98: Comparativa DHPH histórico con ZFP (rojo) en el entorno del Polígono del Nora.

8.2. ZONA DE FLUJO PREFERENTE (ZFP)

La Zona de Flujo Preferente (ZFP) se delimita con el objeto de preservar la estructura y funcionamiento del sistema fluvial, dotando al cauce de espacio adicional suficiente para permitir tanto su movilidad natural como la laminación de caudales y carga sólida transportada y favoreciendo la amortiguación de las avenidas.

En el presente apartado se coteja la ZFP delimitada en el estudio de las Áreas de Potencial Riesgo Significativo de Inundación (ARPSI), con la ZFP obtenida a partir de los cálculos hidráulicos, el estudio geomorfológico histórico y las observaciones de campo realizadas.

En el plano de la ARPSI de la zona de Colloto (Figura 99arriba), la totalidad de las instalaciones de la Coca-Colase engloban dentro de la ZFP, mientras que en los resultados obtenidos en el presente estudio (Figura 99 abajo), dicha área no formaría parte de la misma.

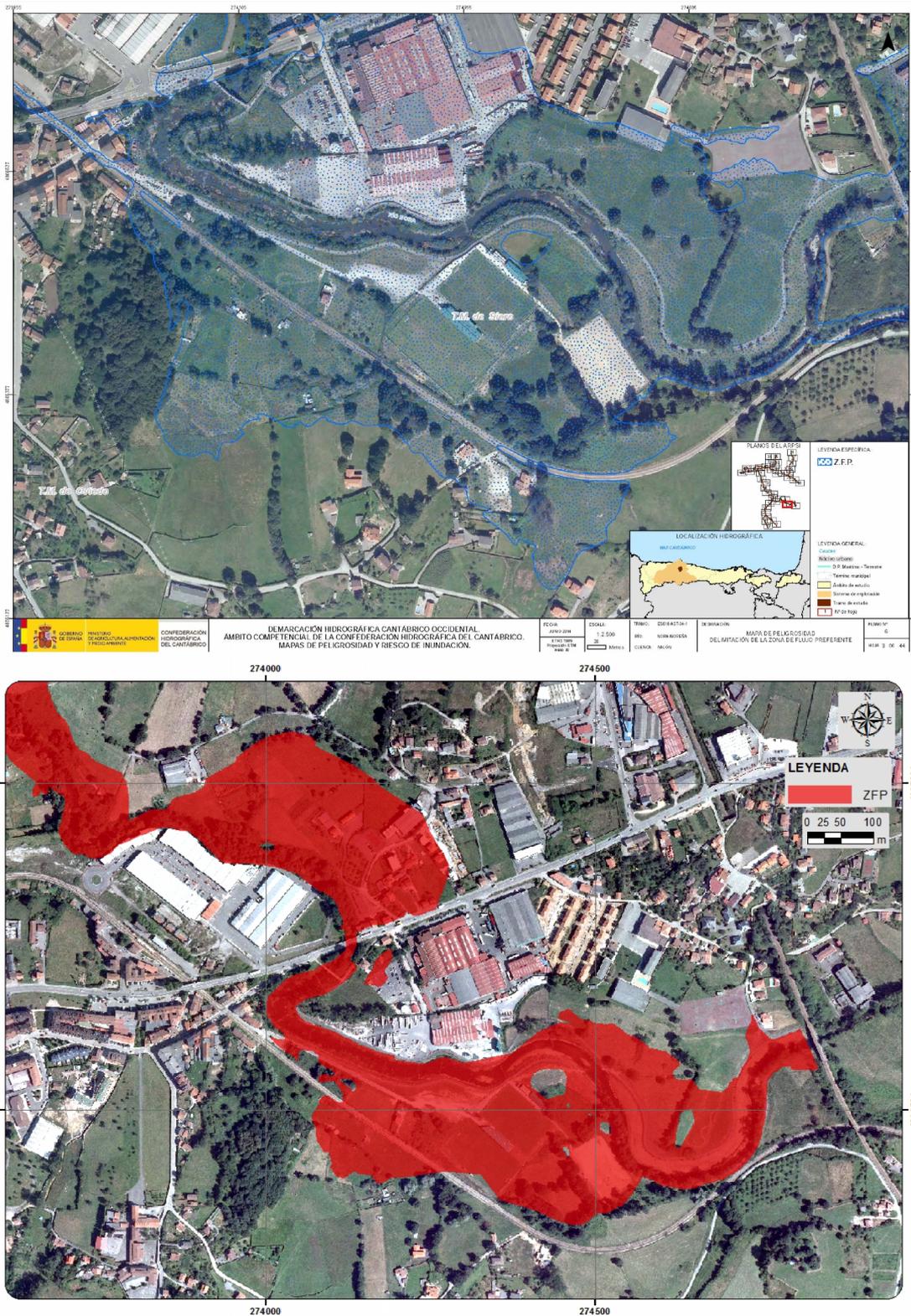


Figura 99: Colloto. Arriba ZFP de la ARPSI. Abajo ZFP obtenida en este estudio.

Existen otra serie de pequeñas variaciones en los límites entre ambas ZFP (Figura 99), especialmente al sur del río Nora, donde la ZFP de la ARPSI abarca una extensión similar a la obtenida para la avenida Q100 (Figura 83).

La siguiente zona se corresponde con el entorno del Polígono Empresarial del Águila del Nora, donde la ZFP delimitada en el plano de la ARPSI (Figura 100arriba) presenta una extensión muy superior a la obtenida en este estudio (Figura 100abajo).

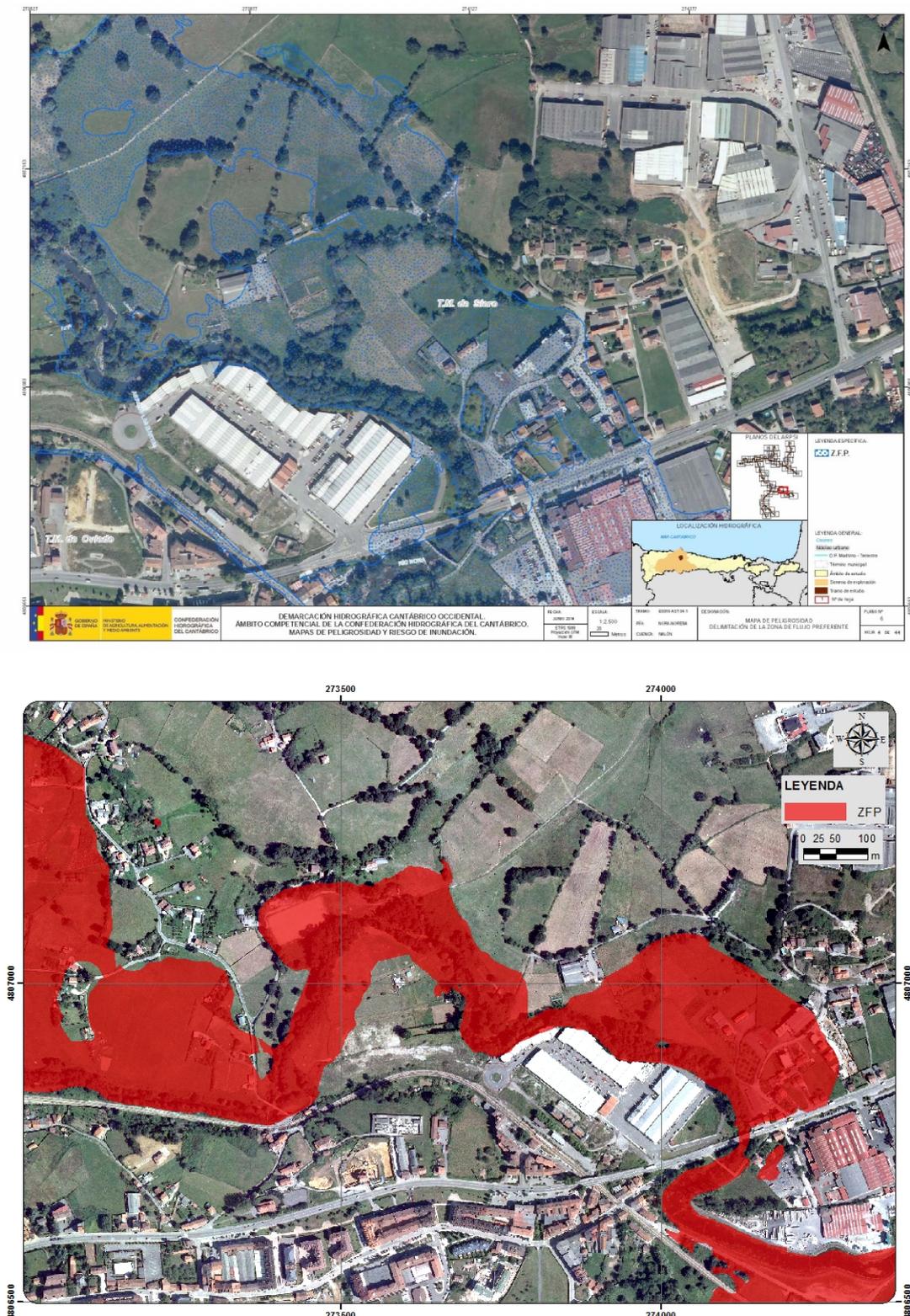


Figura 100: Polígono del Nora. Arriba. ZFP de la ARPSI. Abajo. ZFP obtenida en este estudio.

Al igual que se ha comentado para la zona de Colloto, la ZFP delimitada en la ARPSI presenta una extensión similar a la obtenida para la inundación Q100 en el estudio hidráulico (Figura 84), por lo que teniendo en cuenta la propia definición de ZFP, y dada la topografía relativamente llana de la zona de estudio, ambas áreas no podrían ser cuasi-coincidentes.

El entorno de la localidad de Folgueras presenta una gran relevancia, por tratarse del núcleo rural más afectado por las diferentes avenidas.

De igual forma que se ha venido observando en las zonas anteriores, la extensión de la ZFP (ARPSI) (Figura 101) abarca una superficie superior a la que se ha obtenido en este estudio (Figura 102) correspondiéndose aproximadamente con la de la avenida Q100.

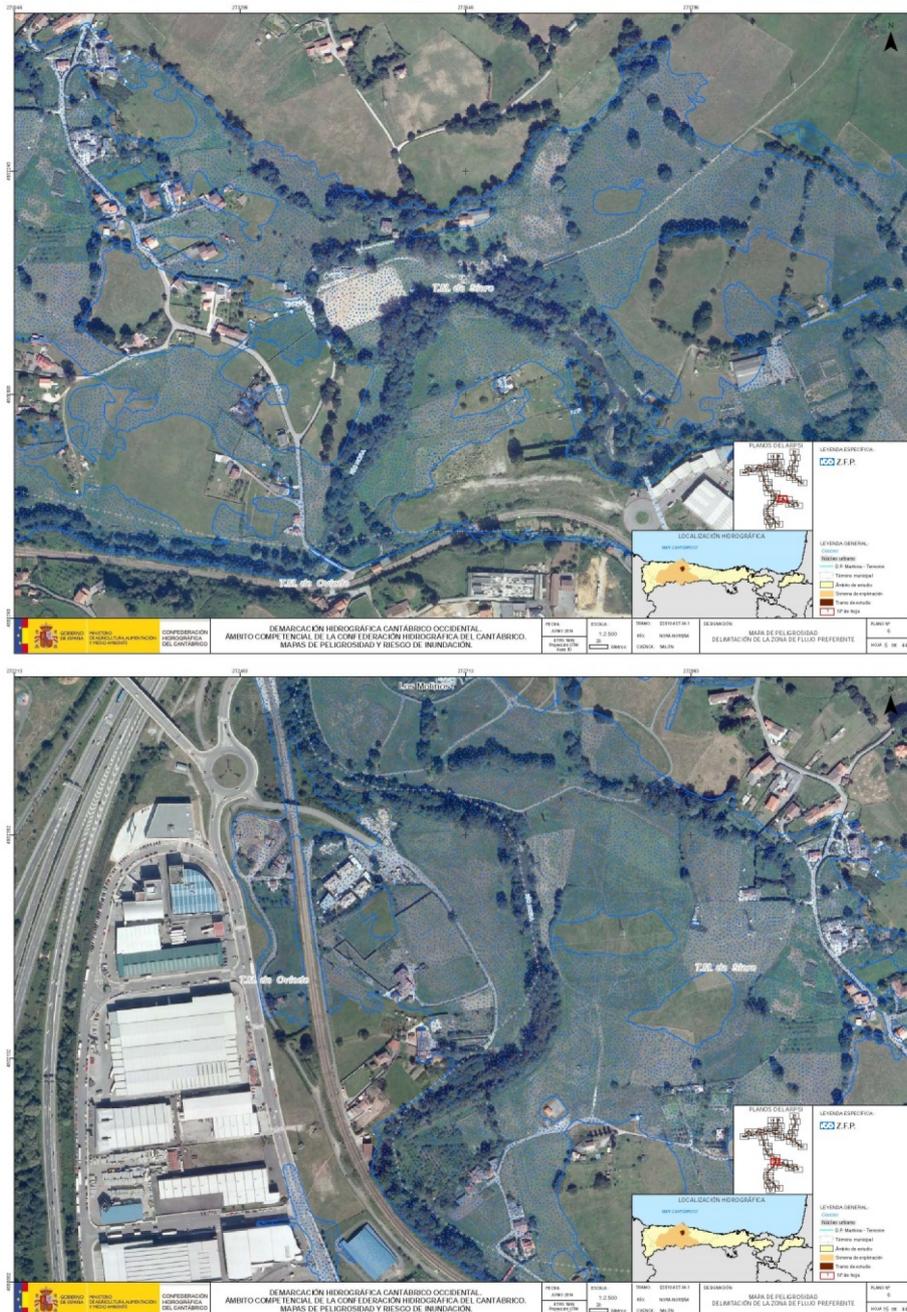


Figura 101: Folgueras. ZFP de la ARPSI.

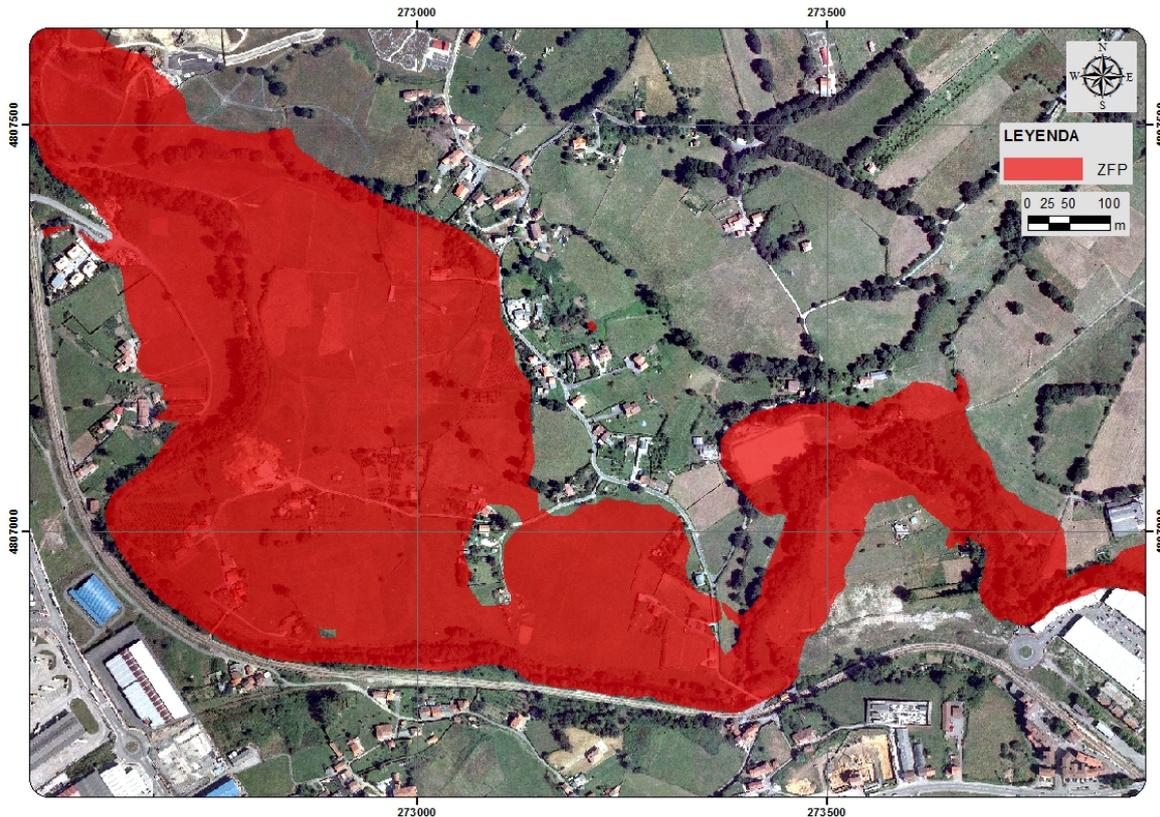


Figura 102: Folgueras. ZFP obtenida en este estudio.

La extensión de la ZFP obtenida en el presente trabajo para el entorno de la localidad de Folgueras (Figura 102) afectaría a gran parte de las edificaciones, pero no a la totalidad como se planteaba en el plano ZFP (ARPSI) (Figura 101).

Además, tal y como se muestra en la Figura 97, los rellenos realizados en el entorno del Polígono del Nora, dan lugar a que el volumen de agua que anteriormente se extendía por este área se desplace aguas abajo del puente de Folgueras, entrando a formar parte de la ZFP y afectando a infraestructuras y edificaciones.

Por último en el entorno del C.C. Parque Principado, al igual que en las zonas anteriores, la ZFP (ARPSI) abarca una extensión similar a la avenida Q100, no coincidiendo con la ZFP obtenida en el presente estudio (Figura 103abajo).

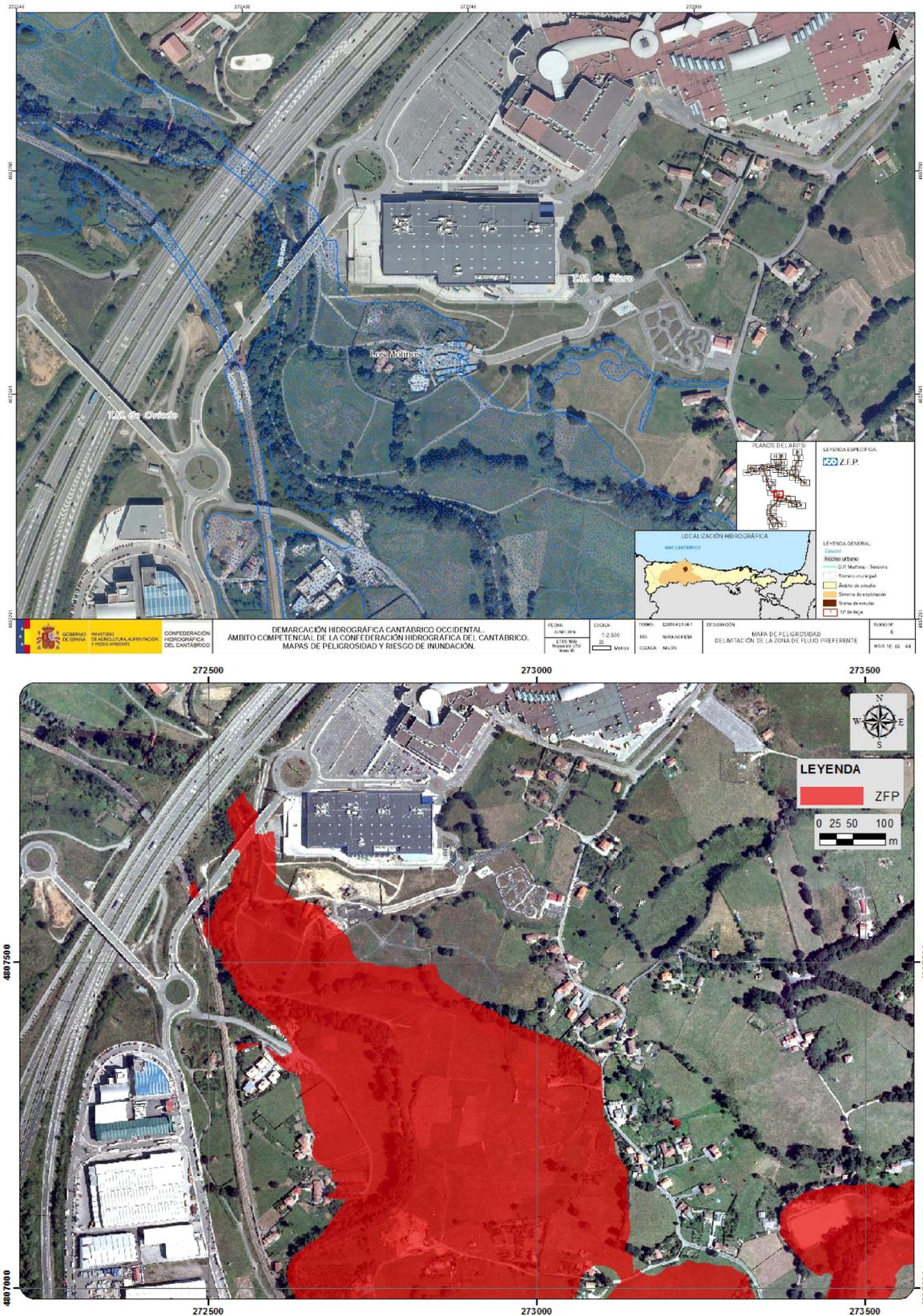


Figura 103: C.C. Parque Principado. Arriba ZFP de la ARPSI. Abajo ZFP obtenida en este estudio.

8.3. ZONIFICACIÓN DEL ÁREA INUNDABLE (HIDRAULICO – GEOMORFOLÓGICO)

Por último, se analizarán las superficies inundadas para las avenidas Q10, Q100 y Q500 obtenidas en los cálculos hidráulicos y las delimitadas geomorfológicamente para las inundaciones de probabilidad muy alta (Q10), media (Q100) y baja (Q500) disponibles en los servicios web de C.H. Cantábrico y la Dirección General del Agua.

En la Figura 104 se muestran la superficie de inundación de la avenida Q10 obtenida en el presente estudio y la disponible en la base de datos de C.H. Cantábrico.

A lo largo de toda la zona de estudio, cabe destacar cuatro zonas en las que las extensiones de una y otra no resultan similares.

En primer lugar, en el entorno del campo de fútbol del Colloto C.D., el área inundable calculada sobrepasa la vía de FEVE, hacia una zona deprimida situada al SW y en la cual, se tiene constancia de presencia de agua en avenidas inferiores a Q50, como fue el caso de la de junio de 2010.

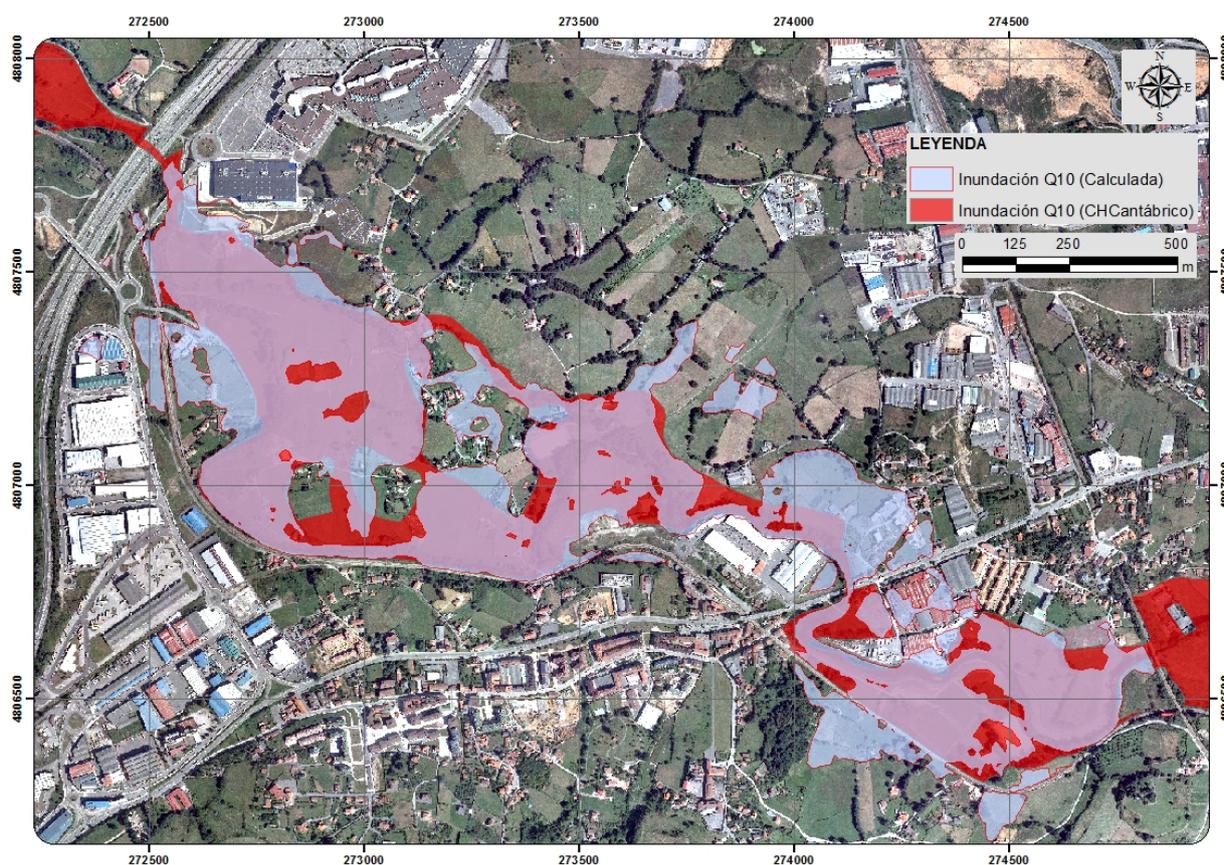


Figura 104: Superficies de inundación de la avenida Q10.

La segunda zona a considerar es la que se encuentra en el entorno del Polígono del Nora y donde la superficie inundada calculada presenta mayor extensión hacia el E, y que formaría parte de la ZFP (Figura 100).

La tercera zona se sitúa en el centro del núcleo rural de Folgueras, donde la avenida calculada se extiende hacia las edificaciones a través de un antiguo canal que forma parte del DPHP definido en el análisis histórico y geomorfológico.

La cuarta y última, se encontraría en el entorno del C.C. Parque Principado, donde en este caso, la avenida Q10 calculada nuevamente sobrepasaría la vía de FEVE hacia el W, hacia una zona en la que existen edificaciones.

El resto de las zonas presentan unas variaciones menores, que pueden ser asumibles por los errores presentes en base a la información cartográfica de partida, como puede ser el caso de las manchas de agua observadas sobre las naves de las instalaciones de Coca-Cola en Colloto.

Para la avenida Q100 las diferencias entre las superficies obtenidas en los cálculos hidráulicos del presente estudio y las delimitadas mediante criterios geomorfológicos de C.H. Cantábrico, muestran una mayor extensión en la superficie delimitada geomorfológicamente (Figura 105).

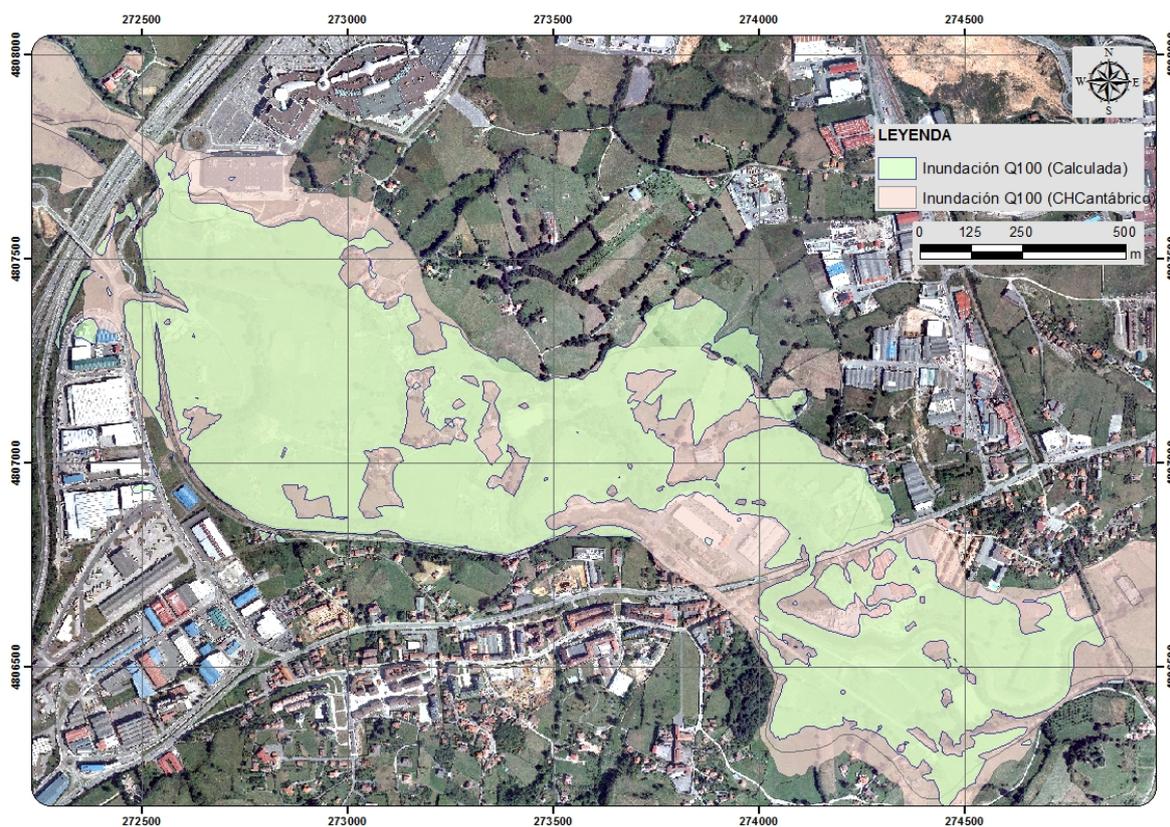


Figura 105: Superficies de inundación de la avenida Q100.

En el entorno del Polígono del Águila del Nora, la diferencia entre la superficie de la lámina de agua entre ambos criterios sería en torno 1,0 m mayor en la delimitación geomorfológica, y se correspondería con la diferencia de altura entre la lámina Q100 calculada por métodos hidráulicos (Figura 106) y la cota a la que se encuentra la explanada del polígono.

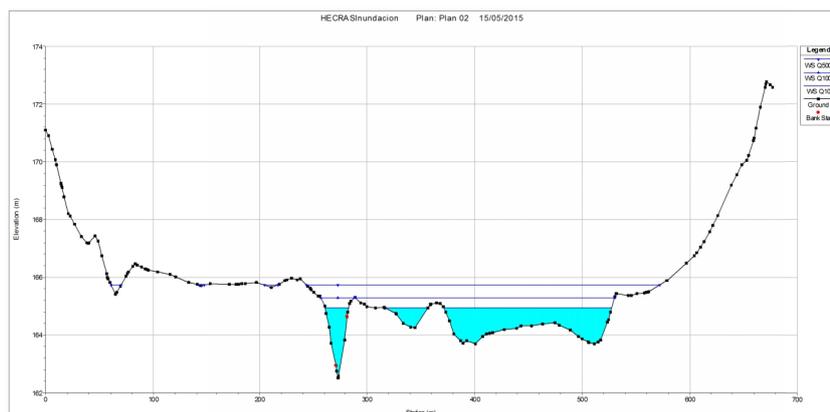


Figura 106: Perfil PK 2819.14 en el Polígono del Nora. Altura lámina de agua para Q10, Q100 y Q500.

Una situación similar es la que se da en el entorno del C.C. Parque Principado, donde la lámina Q100 obtenida por criterios geomorfológicos se extiende por el edificio del IKEA en su totalidad, en este caso, dicha instalación cuenta con un dique perimetral de 3-4 m de altura, mostrando los criterios geomorfológicos la entrada de agua a la planta de sótano de la edificación, que se intuye en menor medida en la superficie generada en el modelo hidráulico.

Por último, la avenida Q500 (Figura 107) presenta una extensión similar en ambos casos, y al igual que para la Q100, destacar la extensión sobre el edificio del IKEA que se correspondería con la entrada de agua a la planta de sótano y en menor medida en el Polígono del Nora.

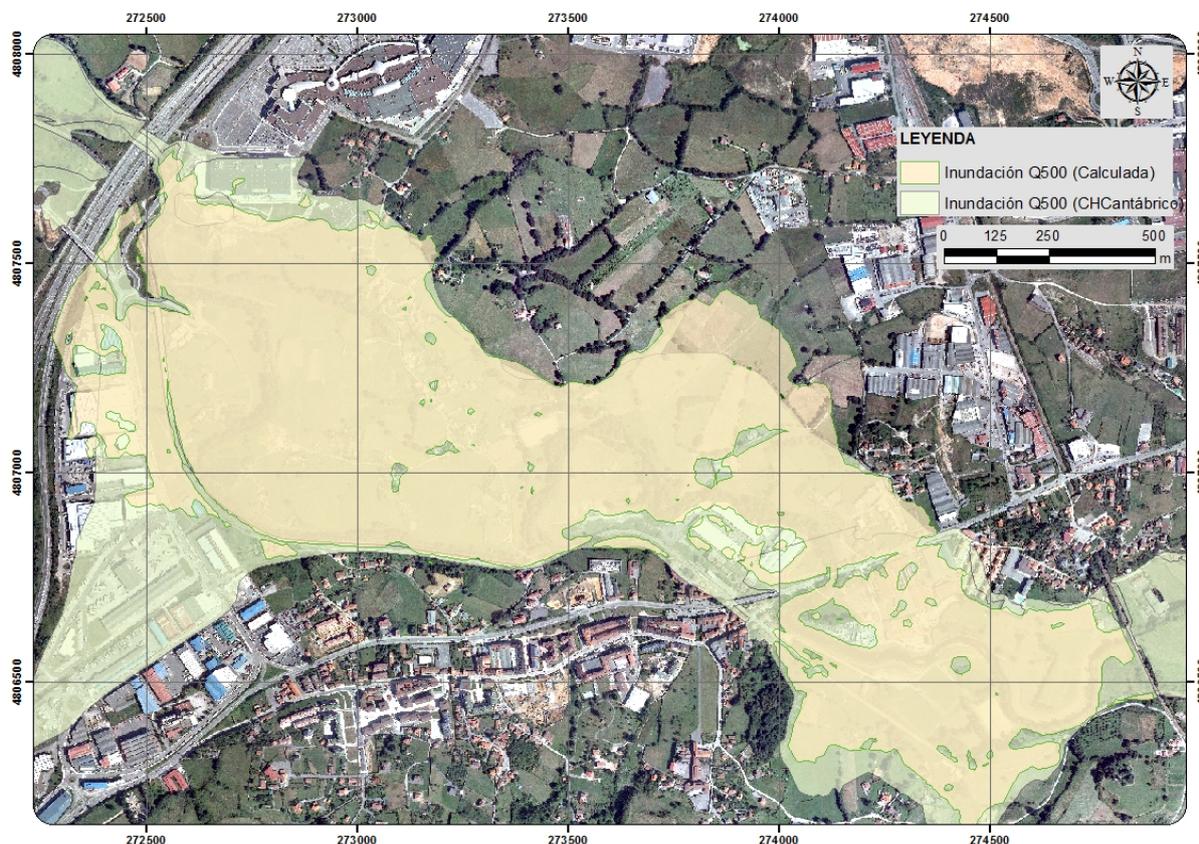


Figura 107: Superficies de inundación de la avenida Q500.

9. CONCLUSIONES

El presente trabajo se centra en el estudio de la peligrosidad por inundaciones en el ARPSI ES018-AST-34-1 de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental en el río Nora (Colloto), empleando datos geomorfológicos y modelos hidráulicos.

Se ha realizado un tratamiento y mejora del modelo digital del terreno (MDT) de la zona objeto de estudio, durante el cual se han aplicado filtros para suavizar los datos de cota anómalos, editando y eliminando los puentes que suponen un obstáculo al flujo del agua y corrigiendo la cota de la lámina de agua en el cauce del río, que se encontraba enmascarada por la vegetación de ribera.

Aunque este tipo de tratamiento supone una mejora sustancial en la fiabilidad de la cartografía de base para la creación de modelos hidráulicos, la ausencia de batimetrías del cauce, alturas de la lámina de agua, etc., puede dar lugar a variaciones en la extensión de los eventos de inundación, especialmente para caudales de referencia bajos obtenidos mediante CAUMAX, como ocurre en el caso de la máxima crecida ordinaria (MCO).

En base a los resultados obtenidos para la MCO en los que se observa un claro sobredimensionamiento teniendo en cuenta la diferencia entre los valores de caudal obtenidos mediante CAUMAX y los obtenidos del Plan Hidrológico Norte III, éstos datos de caudal podrían ser objeto de una discusión más amplia, para lo que habría que realizar un estudio más exhaustivo a fin de identificar la causa de tales diferencias.

Tomando como base las imágenes históricas georreferenciadas y las observaciones geomorfológicas realizadas en campo, se realiza un análisis geomorfológico histórico estimando una potencial envolvente del cauce histórico que servirá para observar las variaciones en la dinámica fluvial del río Nora a lo largo de los años.

Mediante HEC-RAS y ArcGIS se realiza una modelización hidráulica para diferentes periodos de retorno (Q10, Q100 y Q500), obteniéndose los mapas de calados y velocidades.

A partir de la superficie de inundación para un período de retorno de T100 años se obtiene la Vía de Intenso Desagüe (VID) y posteriormente la Zona de Flujo Preferente (ZFP), que es aquella en la que se producen graves daños sobre las personas y los bienes.

Con estos mapas se realiza una comparativa entre las ZFP obtenidas y las delimitadas en el estudio de las Áreas de Potencial Riesgo Significativo de Inundación (ARPSI).

Por último, se compararon las superficies de las avenidas de inundación Q10, Q100 y Q500 obtenidas en los cálculos hidráulicos y las delimitadas geomorfológicamente para las inundaciones de probabilidad muy alta (Q10), media (Q100) y baja (Q500) disponibles en los servicios web de C.H. Cantábrico y la Dirección General del Agua.

10. BIBLIOGRAFÍA

Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIS) (2014). Confederación Hidrográfica del Cantábrico.

Barnolas, M. y Llasat, M.C. (2007). Metodología para el estudio de inundaciones históricas en España e implementación de in SIG en las cuencas del Ter, Segre y Llobregat. Monografías CEDEX, M-90, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid, 264 pp.

Centro Nacional de Información Geográfica (<http://fototeca.cnig.es>)

Creación de un sistema de información de las zonas inundables y de avenida torrencial del Principado de Asturias(2004). Consejería de Justicia, Seguridad Pública y Relaciones Exteriores (112 Asturias), Principado de Asturias,INDUROT. Informe inédito.

Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) (2011). Confederación Hidrográfica del Cantábrico.

Felicísimo, A. M. (1994): El clima de Asturias. Geografía de Asturias, 2. Ed. Prensa Ibérica, S.A.

Felicísimo,A.M. (1994) Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales

Gervilla,M., Beroiz,C., Pignateli, R., Baron,A., Coma,J.E., Felgueroso,C., Ramírez del Pozo J., y Giannini,G., (1973). Mapa geológico. Hoja 29 10-04. Oviedo. Instituto Geológico y Minero (IGME). Mapa Geológico de España, MAGNA. Escala 1:50.000.

Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España (2008).Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. V.2.

Guía Metodológica para la elaboración del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas. (1997). Dirección General de Protección Civil y Emergencias.

HEC-RAS RiverAnalysisSystem. Hydraulic Reference Manual. v. 4.1 (2010). US Army Corps of Engineer.

Hellweger, F.AGREE - DEM Surface Reconditioning System. (1997). Universidad de Texas. <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/GISHYDRO/ferdi/research/agree/agree.html>

Hernández López, D., (2006) Introducción a la fotogrametría digital. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad de Castilla La Mancha.

Inundaciones Históricas y Mapa de Riesgos Potenciales(1986).CTEI. Cuenca del Norte de España.

Instituto Geográfico Nacional. (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas>)

Lines Escardó, A.,(1970).The climate of the Iberian Peninsula. Climates of the Northern and Western Europe (C. C. Wallen Ed.)Elsevier Publishing Company. Amsterdam.

Las inundaciones de junio de 2010 en la Confederación Hidrográfica del Cantábrico(2011).Confederación Hidrográfica del Cantábrico, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Informe y cartografía inédita. TRAGSA e INDUROT.

Manual de usuario HEC-GeoHMSGeospatialHydrologicModelingExtensionversion 5.0(2010). US Army Corps of Engineers.

Mapa de caudales máximos en régimen natural asociados a distintos periodos de retorno (CAUMAX) (2009). Centro de estudios hidrográficos CEDEX.

Marquinez, J., Menéndez, R., Lastra, J., Fernández, E., Jiménez-Alfaro, B., Wozniak, E., Fernández, S. García, J. García, P., Álvarez, M.A., Lobo, T., Adrados, L. Riesgos naturales en Asturias(2003). Principado de Asturias – INDUROT – KRK ediciones.

Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones del Principado de Asturias. PLANINPLA(2010).

Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias. Principado de Asturias(Diciembre 1995). Consejería de Medio Ambiente y Urbanismo. 2. Ed. pp 23.

Proyecto de Plan de Gestión del Riesgo de Inundación. ConfederaciónHidrográficadelCantábrico (2015-2021).

R Development Core Team R: A language an environment for statistical computing(2008). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.ISBN 3-900051-07-0.

Sánchez Martínez, F.J.; Lastra Fernández, J. (Coords.) (2011). Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE2005), del Instituto Geográfico Nacional (IGN). www.siose.es.

<http://servicios2.magrama.es/sia/visualizacion/descargas/mapas.jsp#tema-afloramientos>

http://www.proteccioncivil.org/catalogo/naturales/cnih/cnih2014/B1_Anteced.html