

ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD Y DEL RIESGO DE INUNDACIÓN DEL TRAMO MEDIO DEL RÍO EGA EN NAVARRA

Raúl Hoffrén Mansoa

Geoforest-IUCA, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio,
Universidad de Zaragoza

Resumen: Las crecidas e inundaciones fluviales constituyen uno de los riesgos naturales más importantes y extendidos del mundo. Por este motivo, su estudio y análisis representan una gran oportunidad de prevención y protección hacia el territorio. En este estudio se ha evaluado la peligrosidad y el riesgo de inundación del río Ega en su tramo medio en la Comunidad Foral de Navarra. Se ha analizado el comportamiento hidrológico del sistema y se ha utilizado información elaborada por el PGRI para conocer las afecciones en el territorio bajo distintos escenarios de inundabilidad que han permitido identificar las áreas más vulnerables y de mayor riesgo de inundación. Estos datos han sido contrastados mediante registros de caudal y satelitales relativos a la crecida del Ega de diciembre de 2021. Los resultados obtenidos pretenden servir de ayuda para reducir el riesgo de inundación en este sector.

Palabras clave: Sistema Fluvial, Riesgo Natural, Inundación, Río Ega, Navarra.

Analysis of the danger and risk of flooding in the middle section of the Ega river in Navarre

Abstract: River floods constitute one of the most important and widespread natural risks in the world. For this reason, its study and analysis represent a great opportunity for the prevention and protection of the territory. In this study, the danger and risk of flooding of Ega river has been evaluated for its middle section through Navarre (Spain). The hydrologi-

cal behavior of the river system has been analyzed and the information elaborated by PGRI has been used to determine the effects on territory under different flooding scenarios. These data have been checked from flow rates and satellite imageries related to the flood event of Ega river on December 2021. Results obtained are intended to help reduce the risk of flooding in this sector.

Keywords: River System, Natural Risk, Flood, Ega River, Navarre.

1. Introducción

Las crecidas fluviales son procesos naturales necesarios para el correcto funcionamiento de los ríos y de sus ecosistemas (Domenech *et al.*, 2008; Ollero *et al.*, 2021). Se producen cuando el nivel de la corriente fluvial asciende y ocupa la totalidad del cauce menor, para pasar a ocupar progresivamente el cauce mayor hasta alcanzar el caudal punta y descender a continuación (Ollero, 1997). Su intensidad y frecuencia suele estar relacionada con el régimen de precipitaciones, aunque también pueden intervenir otros agentes, como la litología, los usos del suelo, la vegetación y la temperatura, que determinan aspectos como la capacidad de infiltración, escorrentía, interceptación y evaporación en el sistema fluvial. Cuando una crecida adquiere un carácter de gran magnitud, el sistema fluvial puede desbordarse y producir inundaciones en la zona adyacente al cauce que normalmente no suele estar ocupada por las aguas (Sánchez-Fabre *et al.*, 2015), aunque, en realidad, éstas siguen su camino por su cauce habitual, ocupando sus propias llanuras de inundación (López-Rodríguez *et al.*, 2021).

Las inundaciones son procesos difícilmente evitables y representan uno de los riesgos naturales de mayor impacto en las sociedades (Pérez-Morales *et al.*, 2021). Se distinguen aquellas de carácter ordinario, con una periodicidad más o menos establecida y menos peligrosas, de las de carácter extraordinario, que son menos frecuentes pero de gran magnitud. Los efectos potenciales de las inundaciones en el territorio pueden ser analizados a partir de los periodos de retorno, que constituyen el tiempo teórico en el que puede producirse una inundación de la misma magnitud a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta que el medio físico no es alterado y, por tanto, que el evento se producirá de manera indefinida. Su cálculo se obtiene estadísticamente a partir del análisis hidrológico de una serie de años de referencia, a partir del cual se establecen distintos escenarios: por ejemplo, periodos de retorno de 10 años (o escenario T10, de alta probabilidad de inundación), de 100 años (o escenario T100, de probabilidad media) o de 500 años (o escenario T500, de baja probabilidad). La elaboración de esta y otra información relacionada con inundaciones es desarrollada y publicada por los Organismos de Cuenca competentes según decreta la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y el Consejo (Directiva de Inundaciones). Esta Directiva fue traspuesta en Es-

paña por el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, que es la legislación básica que regula la elaboración de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI). El propósito general de estas legislaciones es reducir los daños potenciales que pueden sufrir los bienes, los servicios y las personas debido a las inundaciones.

En este estudio se ha realizado una evaluación preliminar de la peligrosidad y el riesgo de inundación del río Ega en su tramo medio en el oeste de la Comunidad Foral de Navarra, utilizando en gran medida la información elaborada por el PGRI. El objetivo principal ha sido analizar las causas y consecuencias de las inundaciones en este sector bajo distintos escenarios de peligrosidad con apoyo de datos reales de eventos de crecida e inundación. Para ello, (1) se ha analizado cuantitativamente el comportamiento hidrológico del sistema, mediante análisis de caudaloidad y recopilación de registros de inundaciones históricas significativas; (2) se han cartografiado los escenarios T10, T100 y T500 de peligrosidad y riesgo de inundación, y se ha determinado su afeción en el territorio; y (3) se ha contrastado la información existente en el PGRI con datos del evento de crecida e inundación del río Ega en diciembre de 2021. Los análisis realizados pretenden ser útiles para que las autoridades competentes puedan establecer mecanismos y estrategias de prevención y protección en función de los distintos escenarios existentes, con el fin de reducir el riesgo de inundación.

2. Área de estudio

El área analizada en este estudio se enmarca dentro de la comarca de Tierra Estella, en el oeste de la Comunidad Foral de Navarra. Se trata, concretamente, del tramo medio del río Ega (en adelante, TM Ega) a su paso por los valles del Ega, Igúzquiza y Allín, y por los municipios de Estella, cabecera de la comarca, y Villatuerta. En este estudio, el área ha sido dividida en tres sectores diferenciados, localizados a lo largo del curso del TM Ega, que se han denominado de manera genérica como Valdega, Allín y Estella (Figura 1). El sector de Valdega incluye gran parte de los municipios de este valle, que suman un total de 955 habitantes (Instituto de Estadística de Navarra, 2021): son Abáigar, Ancín, Legaria, Murieta y Oco, uniéndose a ellos Mendilibarri como núcleo de población perteneciente a Ancín. El segundo sector, Allín, posee una población de 906 habitantes (Instituto de Estadística de Navarra, 2020) y está compuesto por el municipio de Igúzquiza y los núcleos de Arbeiza y Zubielqui, que pertenecen a la municipalidad de Allín, Zufía que pertenece a Metauten, y Labeaga que pertenece a Igúzquiza. Por último, el sector de Estella integra a la propia cabecera comarcal y a Villatuerta, sumando ambos un total de 15.169 habitantes (Instituto de Estadística de Navarra, 2021). Los tres sectores se hallan dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, por lo que el Organismo de Cuenca competente en la gestión y ordenación de los recursos hídricos es la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

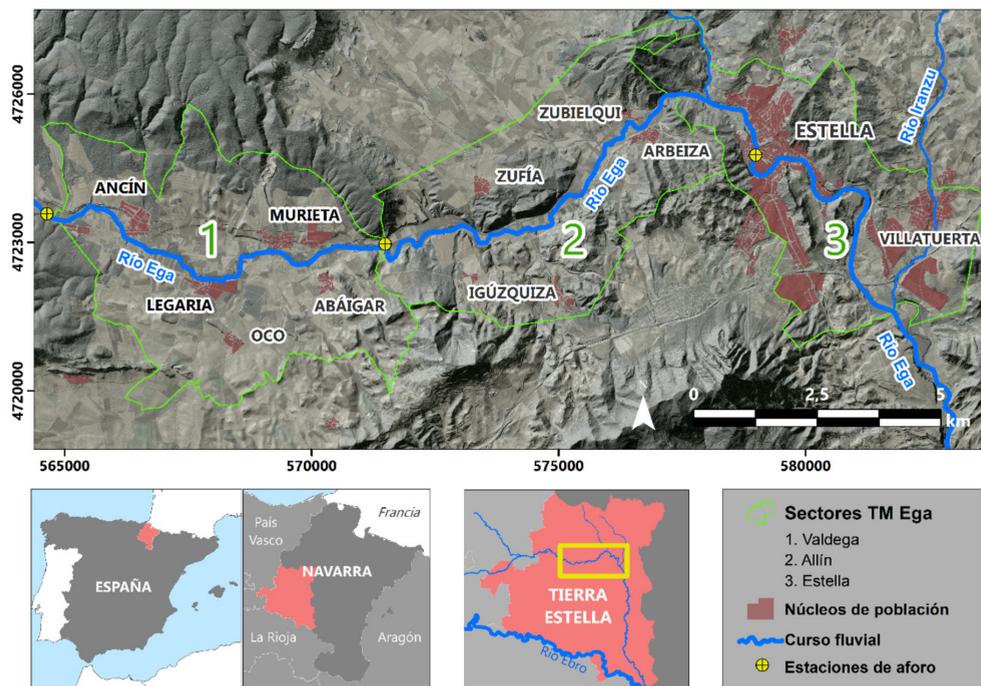


Figura 1. Área de estudio.

Fuentes: SITNA, IGN, CHE. Elaboración propia.

El río Ega es un afluente del Ebro por su margen izquierda y uno de los tres principales ríos mediterráneos navarros, junto con el Arga y el Aragón. Su nacimiento se produce en dos ramales en la provincia de Álava: un ramal norte, que comienza en los Montes de Iturrieta, y un ramal sur, que procede del sector septentrional de la Sierra de Cantabria. Mientras que el primer ramal discurre plenamente por Álava, un tramo del segundo atraviesa momentáneamente Marañón, Cabredo y Genevilla, en Navarra, juntándose ambos en la localidad alavesa de Santa Cruz de Campezo. Seguidamente, el Ega penetra en Navarra atravesando las comarcas de Tierra Estella, casi en su totalidad, y la Ribera Alta. Las principales entradas de caudal en el sistema se producen por flujo directo (precipitación y escorrentía superficial) e indirecto o basal (escorrentía subterránea), siendo el río que menos caudal aporta de los tres grandes afluentes navarros (Pejenaute, 2002). Son importantes los aportes por escorrentía subterránea que el Ega recibe del gran acuífero calcáreo de la Sierra de Lóquiz, con importante zona de descarga en los manantiales de Ancín. Aguas más abajo, en Estella, recibe significativos aportes del río Urederra y, en menor medida, del río Iranzu, con nacimiento en las sierras de Urbasa y Andía, respectivamente; ambas de mismas características kársticas

que Lóquiz. En los tramos siguientes, la ausencia de afluentes y la disminución paulatina de las precipitaciones determinan que el caudal del Ega no presente incrementos sustanciales hasta su desembocadura en el Ebro, cerca de la localidad de San Adrián.

2.1. Relieve

El TM Ega se localiza en una zona de transición entre las montañas septentrionales del sector cantábrico y las llanuras meridionales de la Depresión del Ebro, bien delimitado por distintas alineaciones montañosas de orientación W-E. Al norte se sitúan las sierras de Lóquiz y Urbasa, macizos calizos intensamente karstificados y de grandes escarpes con alturas que superan los 1.000 msnm. En ellos nacen los ríos y las corrientes de la margen izquierda del Ega en su tramo alto y medio, donde fluyen mayoritariamente encajonados y con una alta pendiente. Estas características, unidas a la existencia de numerosos acuíferos por las propiedades calcáreas del sector, propician que sus caudales medios sean relativamente importantes. Por su parte, al oeste y sur del TM Ega se localiza una alineación serrana de areniscas, limos y arcillas de escasa altitud que une la Sierra de Codés, al oeste, y el sistema Monjardín-Montejurra, al este. En este sector es poco importante el caudal que los afluentes aportan al Ega, ya que abundan barranqueras y arroyos con muy poca energía de relieve y una alta estacionalidad. En la zona central del valle predominan las llanuras y sistemas de terrazas y glacis de edad cuaternaria, cuyo origen es resultado de la excavación fluvial ejercida sobre margas mesozoicas siguiendo la disposición W-E de las alineaciones circundantes y de los procesos de transporte y sedimentación en el fondo de las antiguas terrazas y en las zonas de contacto del fondo del valle con las alineaciones montañosas.

2.2. Clima

La Comunidad Foral de Navarra se caracteriza por su variedad climática, existiendo dos grandes dominios: el clima atlántico-oceánico en el norte y el clima mediterráneo en el centro y sur. Ambos dominios se encuentran separados por los Montes Vascos, en la parte occidental, y las estribaciones de los Pirineos, en la oriental. El cambio de un clima a otro se produce de una manera gradual y no brusca, como en otras comunidades peninsulares, debido a la disposición predominante W-E de los relieves, que dan forma a un conjunto de valles paralelos de relativa elevación media. El TM Ega se enmarca dentro del dominio mediterráneo de transición, ya que recibe influencias tanto oceánicas como continentales debido a su situación cercana a los Montes Vascos y a su altitud media, en torno a los 450 msnm. No obstante, aun con estos matices, el comportamiento climático en esta zona está determinado por su posición en el sector nororiental de la Depresión del Ebro, produciéndose eventos característicos como veranos calurosos y secos, heladas y nieblas invernales, tormentas convectivas y viento predominante del noroeste.

La precipitación media anual del área se sitúa entre los 700-800 mm/año, con máximos anuales en invierno y mínimos en verano. El régimen de temperaturas se caracteriza por un gradiente térmico anual relativamente elevado, ya que los inviernos son fríos, con frecuentes heladas y algunas nieves, y los veranos son cálidos y secos. Según la clasificación de Köppen-Geiger, nos encontraríamos ante un clima de tipo *Csb*, típico de zonas templadas con matiz mediterráneo continentalizado. El río Ega y sus afluentes por la margen izquierda nacen en zonas de montaña de transición atlántica-mediterránea, caracterizadas por una pluviosidad más elevada y presencia de nieve en invierno, lo que propicia que el comportamiento hidrológico del TM Ega tenga un importante matiz oceánico que desaparece a medida que el curso avanza hacia la Depresión. Bajo este contexto, se espera que las entradas de caudal sean máximas en invierno, con aportes importantes en primavera y otoño, y mínimos en verano, donde además existirá una mayor evapotranspiración por el incremento de las temperaturas.

2.3. Litología

El área se enmarca dentro del Dominio Vasco Cantábrico y muy cerca del Dominio de la Depresión del Ebro, cuyo límite se sitúa en la serranía areniscosa entre Codés y Monjardín-Montejurra. Los materiales predominantes son de origen mesozoico y pleistoceno, muy resistentes a la erosión y responsables de la presencia de las sierras de Lóquiz, Urbasa y Andía. Tanto en el propio valle como en los relieves meridionales abundan materiales de edad cretácica, compuestos por margas, areniscas, limos y arcillas, fácilmente erosionables por las corrientes fluviales. Los materiales más recientes corresponden a los de edad cuaternaria y se localizan en ambos márgenes del río Ega en forma de glaciares y terrazas aluviales.

Las características calcáreas de la Sierra de Lóquiz ha favorecido la existencia de un gran acuífero subterráneo, formado por procesos de carbonatación que ha infiltrado y acumulado el agua en el subsuelo, y que es de gran importancia en momentos de caudal bajo o estiaje. Muchas barranqueras y manantiales que desembocan en el TM Ega por su margen izquierda se nutren de este acuífero, de elevada permeabilidad por porosidad y fracturación, y cuya recarga se realiza fundamentalmente por infiltración directa de las precipitaciones. Los manantiales de Ancín constituyen el punto de descarga más relevante en el área de estudio.

3. Materiales

La elaboración del estudio ha requerido de diversas fuentes de datos. Estas han procedido de la CHE, como Organismo de Cuenca responsable de la elaboración del PGRI del río Ega; del Gobierno de Navarra, como figura administrativa de la Comunidad Fo-

ral y responsable del Sistema Territorial de Navarra (SITNA); del Instituto Geográfico Nacional (IGN); del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH); y del Servicio de Gestión de Emergencias del programa *Copernicus* (Copernicus EMS). Por su parte, los análisis y las cartografías de peligrosidad y de riesgo de inundación y del evento de crecida e inundación de diciembre de 2021 han sido realizadas con ArcGIS v.10.7.1.

Los datos procedentes de la CHE han sido obtenidos, principalmente, de su geportal *SITEbro*. Para la elaboración de la cartografía de zonas inundables se han adquirido mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación en los tres escenarios propuestos, así como datos de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), correspondientes al 2º Ciclo de la Directiva de Inundaciones, aprobado el 15 de diciembre de 2020, del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Además, se han recopilado datos históricos de inundaciones de distintos informes técnicos de la CHE entre 1975 y 2006. Por último, se ha trabajado con datos de calados del 2º Ciclo (altura de la lámina del agua en los distintos escenarios de inundación) de 1 m de resolución espacial, que han sido obtenidos a través del Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN-CNIG).

El análisis del comportamiento hidrológico del TM Ega se ha realizado a partir de datos de las tres estaciones de aforo existentes en el área de estudio: Ancín (AN313), Murieta (AN314) y Estella (A071). La información de las dos primeras ha sido suministrada por el Gobierno de Navarra, a través del Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local, siendo usadas también para el evento de crecida de diciembre de 2021. Por su parte, los datos de aforo de Estella han sido obtenidos a través de la CHE. Además, se ha obtenido del SITNA la información catastral del parcelario urbano y los edificios de las localidades más afectadas por las inundaciones.

El CNIH ha complementado los registros históricos de inundaciones de la CHE. Este organismo pertenece a la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE) del Ministerio del Interior del Gobierno de España, y recopila información sobre inundaciones históricas y sus consecuencias en el territorio, tanto para el entorno natural como para los grupos humanos.

Finalmente, se han utilizado datos satelitales del programa *Copernicus* de la Unión Europea, coordinada por la Comisión Europea. En concreto, se han obtenido imágenes del servicio *Copernicus* EMS, un sistema de monitorización sistemática que recopila información geoespacial relativa a la gestión de emergencias (Copernicus EMS, 2017). En este caso, se adquirieron imágenes de la máxima extensión superficial de la lámina de inundación del evento de crecida del río Ega de diciembre de 2021, que fue registrada por el satélite Sentinel-1, con sensor radar-SAR (*Synthetic Aperture Radar*) en banda C.

4. Comportamiento hidrológico

Se ha analizado el comportamiento hidrológico del TM Ega a partir de la variación estacional, la irregularidad interanual y los eventos históricos de inundación. La variación estacional determina el régimen anual del sistema fluvial a lo largo de una serie de años de referencia, es decir, el caudal medio que se espera que discorra por el río en un determinado punto del territorio en un año hidrológico. Por su parte, la irregularidad interanual refleja los cambios del caudal medio anual para una serie de años, permitiendo conocer las variaciones del mismo entre diferentes periodos de tiempo. Se ha usado la serie de referencia 1990-2020 (31 años) para las estaciones de aforo de Ancín y Murieta, y la serie 1986-2019 para la estación de Estella, también de 31 años al contar con ausencia de datos en los años hidrológicos 2002-03 y 2003-04.

4.1. Variación estacional

La caudaliosidad del río Ega a su paso por las estaciones de aforo de Ancín y Murieta es muy similar, mientras que en Estella los valores son sustancialmente más altos, excepto en verano. No obstante, las tres estaciones muestran un mismo patrón a lo largo del año (Figura 2). En todas ellas, los máximos caudales se producen en febrero y los

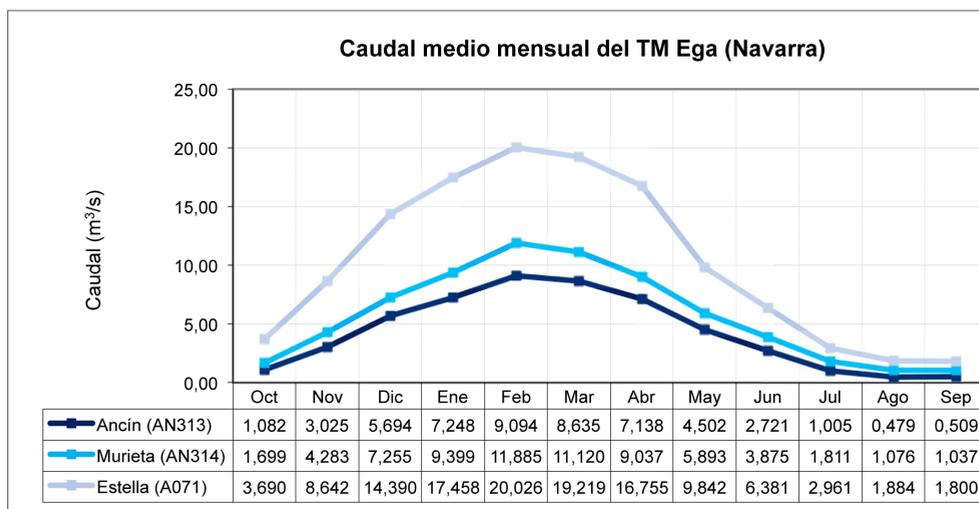


Figura 2. Caudal medio mensual del TM Ega a partir de datos de estaciones de aforo de Ancín (AN313), Murieta (AN314) y Estella (A071).

Fuentes: Gobierno de Navarra y CHE. Elaboración propia.

mínimos en agosto y septiembre. El año hidrológico comienza con un aumento progresivo del caudal, con pendiente más pronunciada en Estella, hasta alcanzar el máximo en febrero. Tras ello, el caudal disminuye de manera paulatina y continuada hasta agosto y septiembre, si bien en Estella, al alcanzar mayores niveles de caudal, el descenso es más acusado. En los tres casos se produce un máximo anual de caudal que determina un régimen fluvial simple de tipo pluvial, existiendo una evidente relación entre la variación del caudal y el régimen de precipitaciones. Por lo tanto, se espera una mayor probabilidad de crecidas durante los meses de invierno y a comienzos de la primavera.

4.2. Irregularidad interanual

El coeficiente de irregularidad (CI), expresado como el cociente entre el caudal medio anual más alto y más bajo de la serie de referencia, muestra pequeñas diferencias entre las tres estaciones de aforo (Tabla 1). Murieta presenta un CI algo más elevado que Estella, debido a que en esta última localidad el río Ega recibe aportes importantes del Urederra que incrementan el caudal medio mínimo. Por su parte, Ancín presenta un CI menor que aguas abajo, en Murieta, donde el caudal medio máximo es más elevado. Esta diferencia entre ambas estaciones tan cercanas entre sí se debe al aporte del acuífero de Lóquiz que descarga en el Ega en los manantiales de Ancín, situados aguas abajo de su estación de aforo. En términos generales, el CI de las tres estaciones definen al TM Ega como sistema de transición o de tipo semi-irregular, característico de un río mediterráneo con matices oceánicos.

Tabla 1. Coeficiente de irregularidad (CI) del TM Ega a partir de datos de estaciones de aforo de Ancín (AN313), Murieta (AN314) y Estella (A071)

<i>Estación de aforo</i>	<i>Caudal máximo (m³/s)</i>	<i>Caudal mínimo (m³/s)</i>	<i>CI</i>
Ancín (AN313)	7,756	1,559	4,975
Murieta (AN314)	12,201	2,152	5,670
Estella (A071)	22,500	4,300	5,233

Fuentes: Elaboración propia a partir de datos del Gobierno de Navarra y CHE.

Los valores de caudal medio anual (Figura 3) reflejan el carácter semi-irregular del TM Ega, alternándose años donde el caudal medio supera ampliamente el módulo de las tres estaciones (caudal promedio anual para la serie de referencia) con otros donde los valores se sitúan muy por debajo. Destacan los años 1987-88, 2012-13 y 2015-16 como los más caudalosos de la serie ($> 7 \text{ m}^3/\text{s}$ en Ancín y Murieta, y $> 15 \text{ m}^3/\text{s}$ en Estella), mientras que 2001-02, 2010-11 y 2011-12 presentan valores de caudal medio muy bajos ($< 5 \text{ m}^3/\text{s}$ en Ancín y Murieta, y $< 8 \text{ m}^3/\text{s}$ en Estella), siendo especialmente

secos los años 1988-89 y 1989-90 en Estella ($< 5 \text{ m}^3/\text{s}$). En este sentido, es difícil predecir en qué años se producirán crecidas excepcionales debido a las notables diferencias de caudal media existentes entre los distintos años hidrológicos.

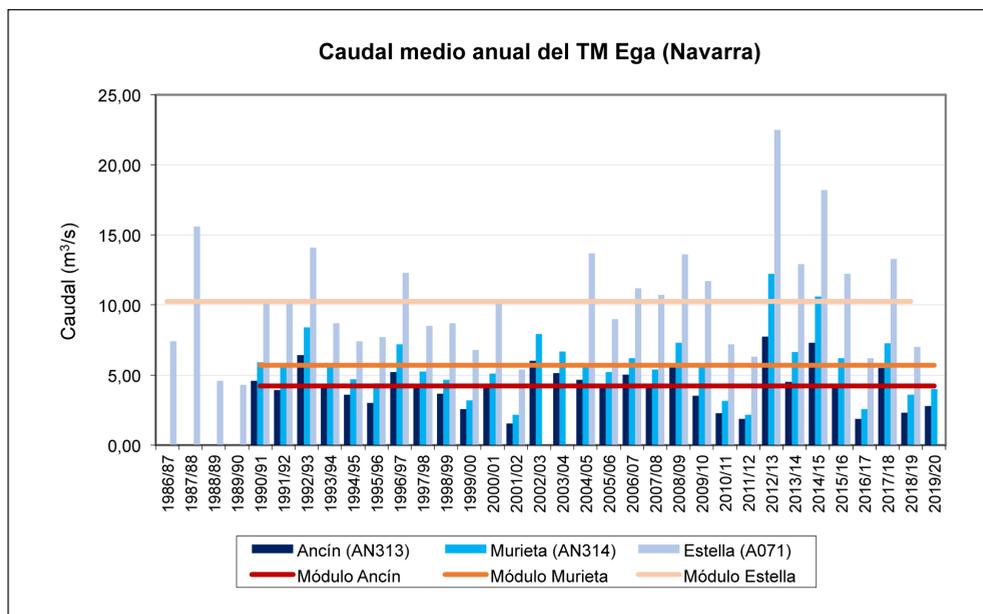


Figura 3. Caudal medio anual del TM Ega a partir de datos de estaciones de aforo de Ancín (AN313), Murieta (AN314) y Estella (A071).

Fuentes: Gobierno de Navarra y CHE. Elaboración propia.

4.3. Eventos históricos de inundación

Un total de 23 eventos históricos de inundación del río Ega en su tramo medio y alto han sido registrados en distintos informes. Los tomos elaborados por el CNIH referentes a la cuenca del Ebro recogen varias referencias históricas en las localidades de Estella, Marañón y Zúñiga, las dos últimas aguas arriba de nuestra área de estudio. Existen registros de inundaciones que afectaron a bienes y personas los siguientes años: 1523, noviembre de 1592, mayo de 1801, enero de 1831, 1889, marzo de 1928, octubre de 1940, 1943, agosto de 1952, octubre de 1953, diciembre de 1959, diciembre de 1960 y octubre de 1961. Además de los tomos, el visor interactivo del CNIH dispone del registro de un evento de crecida en diciembre de 1993 donde, según se recoge, no hubo daños personales pero sí materiales, concretamente en la red viaria principal (carretera NA-132) y en los núcleos de Zubielqui y Arbeiza. No se cuantificaron daños en

viviendas, en parcelas agrícolas e industriales ni en los servicios, si bien en Estella cuatro viviendas tuvieron que ser evacuadas como medida de precaución. Por su parte, la Biblioteca Virtual de Prensa Histórica de la DGPCE recoge información de la inundación del Ega en Estella en septiembre de 1893, donde hubo daños muy cuantiosos en la comarca, incluyendo ocho víctimas. Por último, los datos históricos procedentes de la CHE han permitido identificar otras crecidas hidrológicas del Ega en su tramo medio. Concretamente en junio de 1977, diciembre de 1980, abril de 1991, mayo de 1991, noviembre de 1992, diciembre de 1993, enero de 1995, marzo de 1995 y marzo de 2006. Estos registros indican que las inundaciones no tienen por qué ocurrir durante el periodo de máxima probabilidad de crecidas, es decir, cuando el caudal anual es mayor (invierno y comienzos de la primavera), ya que 12 de los 23 eventos registrados se produjeron entre los meses de mayo y noviembre.

5. Análisis de zonas inundables

5.1. Áreas ARPSI

La revisión y actualización de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, correspondiente al 2º ciclo de la Directiva de Inundaciones, ha identificado y seleccionado las ARPSIs conforme a las características de la cuenca y los criterios emanados por la Dirección General del Agua y la CHE. Dichas ARPSIs han sido elaboradas en función de la vulnerabilidad del territorio y de la peligrosidad a la que está expuesto. La vulnerabilidad tiene en cuenta las edificaciones, las zonas urbanizadas y su proximidad o no al cauce fluvial, así como la constatación de eventos importantes de crecidas en fuentes históricas. Por su parte, la peligrosidad se clasifica en función de la geomorfología, los usos del suelo y los resultados de inundabilidad existentes.

El TM Ega se sitúa en una de las 46 ARPSIs delimitadas por la CHE, concretamente en la ARPSI número 9 “Río Ega”. Se han identificado cuatro tramos ARPSI en nuestra área de estudio: en el núcleo urbano de Ancín, de 1,74 km; en el núcleo urbano de Murieta, de 0,61 km; en Estella, de 6,13 km; y en Villatuerta, de 2,22 km y que corresponde al río Iranzu en su tramo final antes de su desembocadura en el Ega. Los tramos de Ancín y Murieta se han calificado como de “riesgo mínimo (tipo 1)” ya que los fenómenos de inundación analizados entre 2005 y 2017 fueron “entre 2 y 10” y, por lo tanto, se produjo un “número bajo de siniestros” así como ausencia de eventos significativos de crecidas durante el Ciclo 2012-2018. En cambio, los tramos de Estella y Villatuerta han sido calificados como de “riesgo medio (tipo 2)”, al registrarse “más de 100” fenómenos de inundación, es decir, un “número muy alto de siniestros en el periodo 2005-2017”, constanding dos eventos significativos durante 2012-2018.

5.2. Peligrosidad de inundación

En el sector de Valdega (Figura 4) la mayor extensión de inundación se localizaría en la gran llanura central, delimitada por los núcleos de Ancín, Mendilibarri, Murieta y Legaria. Se trata de un sector ocupado mayoritariamente por cultivos aprovechando la cercanía al cauce fluvial y la planitud del terreno, aunque existen algunas edificaciones de carácter agrícola. Los municipios más afectados serían Ancín y Murieta (Figura 5), al estar más expuestos al cauce, mientras que la existencia de la terraza aluvial cuaternaria en la que se asienta Legaria evitaría que, en periodo de crecidas, el Ega inundase sectores meridionales a su cauce. Asimismo, los núcleos de Oco y Abáigar no resultarían afectados en ningún escenario. Se producirían afecciones en la red viaria principal (carretera NA-132), especialmente en los escenarios T100 y T500, así como en los accesos a Legaria y Abáigar, más problemático en esta última localidad al tratarse de la única vía de acceso. En la Tabla 2 se muestran las áreas urbanas y su porcentaje respecto al total que resultarían afectados por la lámina de inundación en los tres escenarios.

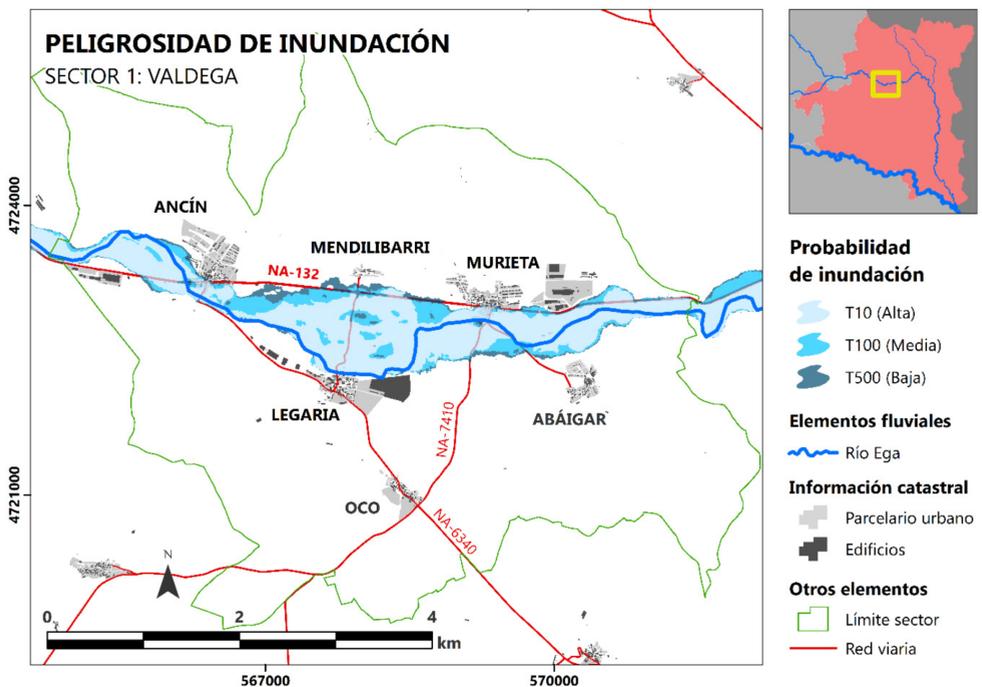


Figura 4. Peligrosidad en el sector de Valdega en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, SITNA. Elaboración propia.

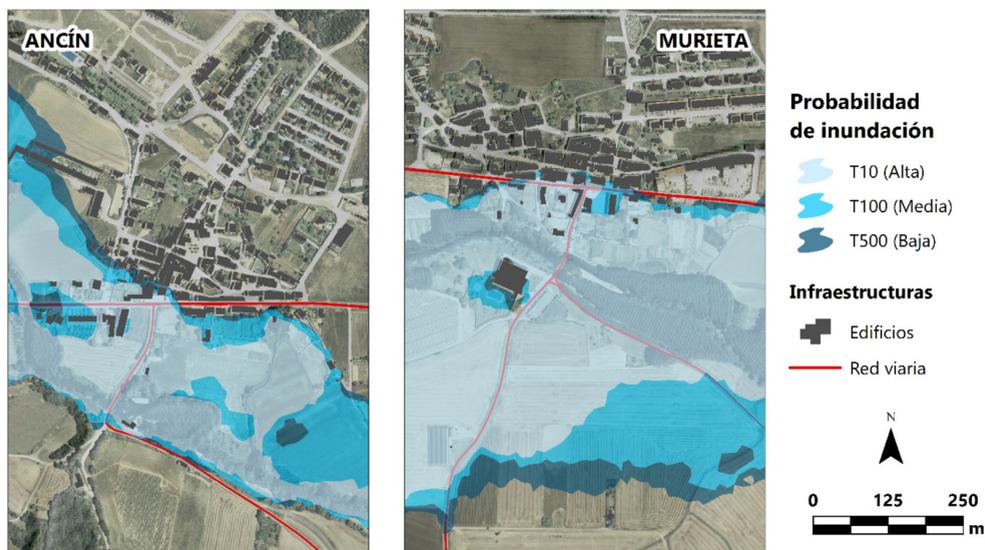


Figura 5. Peligrosidad en Ancín (izquierda) y Murieta (derecha) en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, SITNA, IGN-PNOA. Elaboración propia.

Tabla 2. Núcleos de población afectados por inundación en el sector de Valdega: total y porcentaje del área urbana inundada en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación

Municipio	Escenario T10		Escenario T100		Escenario T500	
	Área (bas.)	%	Área (bas.)	%	Área (bas.)	%
Ancín	2,14	5,23 %	3,56	8,69 %	4,12	10,07 %
Legaria	0,08	0,27 %	0,15	0,51 %	0,20	0,67 %
Murieta	3,35	8,67 %	4,18	10,81 %	4,45	11,51 %

Fuentes: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del Gobierno de Navarra.

En el sector de Allín (Figura 6) la lámina de inundación se extendería siguiendo el curso del río Ega y sin alejarse mucho de él, debido a la presencia de pequeñas terrazas en ambos márgenes dispuestas de manera paralela. Además, en la parte más oriental del sector apenas se producirían desbordamientos por la presencia de relieves más abruptos y, por consiguiente, un mayor encajonamiento del Ega. De esta forma, sólo algunos sectores expuestos de Arbeiza y Zubielqui resultarían afectados por la inundación (Figura 7 y Tabla 3), aunque en T500 sería bastante importante la lámina de agua

inundada en Zubielqui. Por otro lado, Labeaga, Zufía e Igúzquiza quedarían a salvo de la inundación. La carretera NA-132 presentaría una gran exposición en los tres escenarios, especialmente en T100 y T500, así como en la zona de confluencia con la NA-132-B y la NA-7310 y en los únicos accesos a Arbeiza y Labeaga.

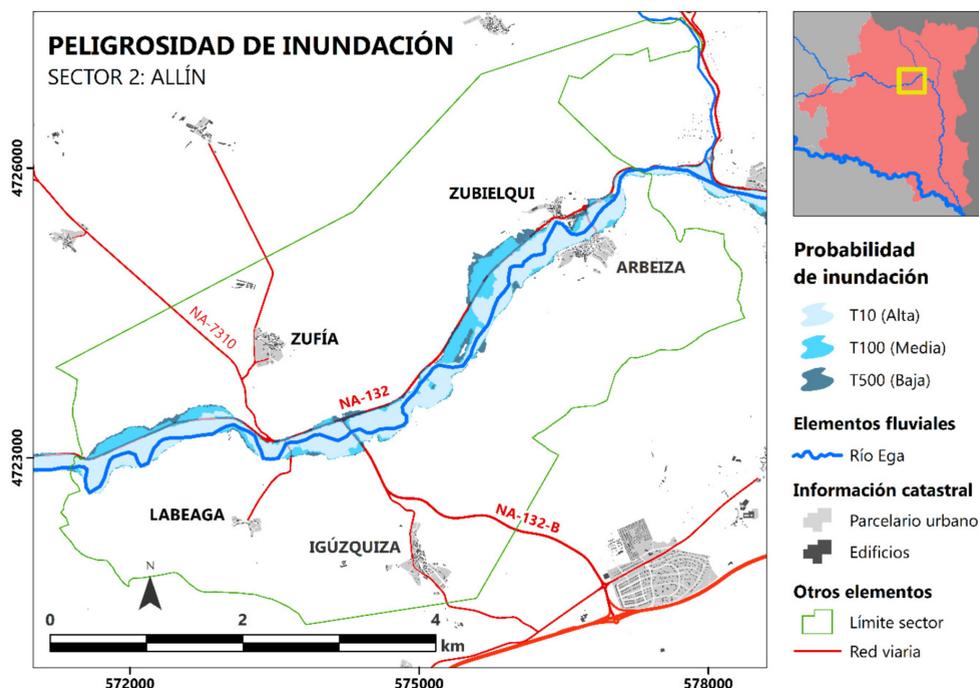


Figura 6. Peligrosidad en el sector de Allín en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, SITNA. Elaboración propia.

Tabla 3. Núcleos de población afectados por inundación en el sector de Allín: total y porcentaje del área urbana inundada en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación

Municipio	Escenario T10		Escenario T100		Escenario T500	
	Área (bas.)	%	Área (bas.)	%	Área (bas.)	%
Arbeiza	0,08	0,61 %	0,19	1,46 %	0,30	2,30 %
Zubielqui	0,15	1,81 %	0,29	3,50 %	0,81	9,78 %

Fuentes: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del Gobierno de Navarra.



Figura 7. Peligrosidad en Zubielqui y Arbeiza en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, SITNA, IGN-PNOA. Elaboración propia.

En el sector de Estella (Figura 8) la mayor peligrosidad se concentraría en los núcleos de Estella y Villatuerta. La lámina de inundación en Estella (Figura 9) afectaría al centro urbano del municipio, donde se localizan las principales actividades funcionales. Todo el sector comprendido entre el cauce menor del Ega, el Parque de los Llanos y la Plaza de los Fueros quedaría inundada en los escenarios T100 y T500; en este último, la lámina podría llegar al casco antiguo. En T10 la inundación sería significativa en el sector nor-oriental, anegando numerosas parcelas agrícolas-urbanas. En los escenarios T100 y T500 las principales vías de acceso al centro permanecerían cortadas: Avenida de Yerri en dirección Vitoria-San Sebastián, y Calle Fray Diego de Estella en dirección Pamplona-Logroño. Asimismo, se produciría un corte significativo en el acceso al Hospital Comarcal García Orcoyen, en el noroeste de Estella desde el centro, este y sur de la localidad. También existiría un gran peligro en el barrio del Merced, en el sur del municipio, y en la carretera NA-1110 que comunica Estella con Villatuerta. En esta última localidad la inundación sería producida por el río Iranzu, antes de su desembocadura en el Ega (Figura 9), y afectaría a gran parte del núcleo urbano en los tres escenarios, con importantes afecciones en el sector de la margen izquierda del río. La Tabla 4 cuantifica las afecciones en ambas áreas urbanas en los tres escenarios de peligrosidad.

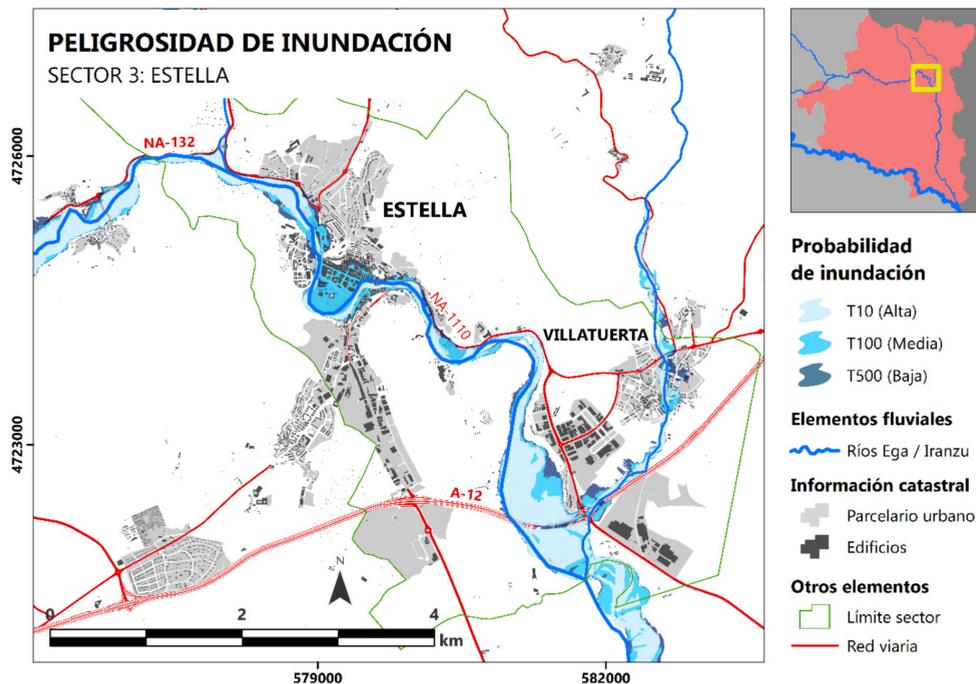


Figura 8. Peligrosidad en el sector de Estella en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, SITNA. Elaboración propia.

Tabla 4. Núcleos de población afectados por inundación en el sector de Estella: total y porcentaje del área urbana inundada en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación

Municipio	Escenario T10		Escenario T100		Escenario T500	
	Área (bas.)	%	Área (bas.)	%	Área (bas.)	%
Estella	15,31	4,16 %	44,32	12,05 %	51,99	14,14 %
Villatuerta	4,17	2,37 %	7,13	4,04 %	10,32	5,85 %

Fuentes: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del Gobierno de Navarra.

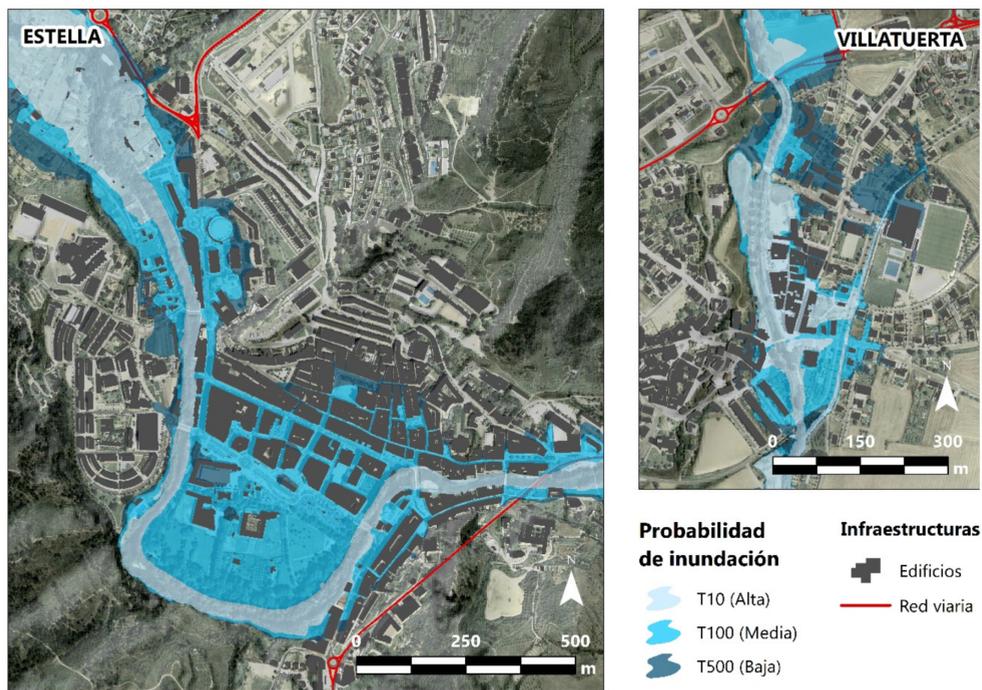


Figura 9. Peligrosidad en Estella y Villatuerta en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, SITNA, IGN-PNOA. Elaboración propia.

5.3. Riesgo de inundación

A través de las cartografías de peligrosidad se han detectado las áreas de mayor riesgo potencial de inundación en los tres sectores. Estas han correspondido a los cascos urbanos de Ancín y Murieta, en el sector de Valdega; de Arbeiza y Zubielqui, en el sector de Allín; y de Estella y Villatuerta, en el sector de Estella. En estas seis localidades el riesgo ha sido evaluado a partir de la cuantificación del área y de las parcelas urbanas (según catastro) que se verían afectadas por una lámina de inundación por encima del metro altura, límite a partir del cual el riesgo de inundación se califica como importante para bienes y personas. El área total de los núcleos urbanos en situación de riesgo importante de inundación sería de 13,62 has. en escenario T10 (0,89% del total), 31,22 has. en T100 (2,43% del total), y 46,60 has. en T500 (4,02% del total). Los cascos urbanos que presentarían un mayor riesgo serían los de Estella y Murieta en los tres escenarios (Tabla 5), superando Estella el 10% de su casco urbano en T500. Ancín presentaría porcentajes elevados en escenario T500, mientras que Arbeiza y Zubielqui serían las localidades menos afectadas, con porcentajes por debajo del 1% en

escenarios T10 y T100, y por debajo del 2% en T500. El número de parcelas urbanas en situación de riesgo importante sería de 249 en T10, 586 en T100 y 926 en T500. Las localidades con mayor número y porcentaje de parcelas urbanas afectadas serían Estella y Villatuerta en los tres escenarios (Tabla 6), mientras que en Zubielqui las afectaciones serían muy bajas, igual caso que Ancín en T10 y Murieta en T100 y T500. La distribución espacial de las parcelas en situación de riesgo se presenta en las Figuras 10 a 15 y a mayor resolución en los Anexos (Figuras A1 a A6).

Tabla 5. Área total y porcentaje de cascos urbanos del TM Ega en situación de riesgo importante de inundación (altura de la lámina de agua > 1 m) en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación

Sector	Municipio	Escenario T10		Escenario T100		Escenario T500	
		Área (bas.)	%	Área (bas.)	%	Área (bas.)	%
Valdega	Ancín	0,0133	0,03 %	0,5939	1,45 %	1,6554	4,05 %
	Murieta	0,4233	1,09 %	1,3419	3,47 %	1,7029	4,40 %
Allín	Arbeiza	0,0245	0,19 %	0,1100	0,87 %	0,1849	1,46 %
	Zubielqui	0	0,00 %	0,0001	0,01 %	0,0899	1,35 %
Estella	Estella	11,1807	3,04 %	25,1773	6,85 %	37,5462	10,21 %
	Villatuerta	1,9769	0,97 %	3,9954	1,95 %	5,4236	2,65 %

Fuentes: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del Gobierno de Navarra.

Tabla 6. Total y porcentaje de parcelas urbanas según catastro del TM Ega en situación de riesgo importante de inundación (altura de la lámina de agua > 1 m) en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación

Sector	Municipio	Escenario T10		Escenario T100		Escenario T500	
		Área (bas.)	%	Área (bas.)	%	Área (bas.)	%
Valdega	Ancín	1	0,29 %	18	5,22 %	32	9,28 %
	Murieta	8	2,37 %	16	4,75 %	20	5,93 %
Allín	Arbeiza	4	2,14 %	12	6,42 %	15	8,02 %
	Zubielqui	0	0,00 %	2	2,22 %	5	5,56 %
Estella	Estella	159	7,49 %	399	18,79 %	677	31,87 %
	Villatuerta	77	9,11 %	139	16,45 %	177	20,95 %

Fuentes: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del Gobierno de Navarra.

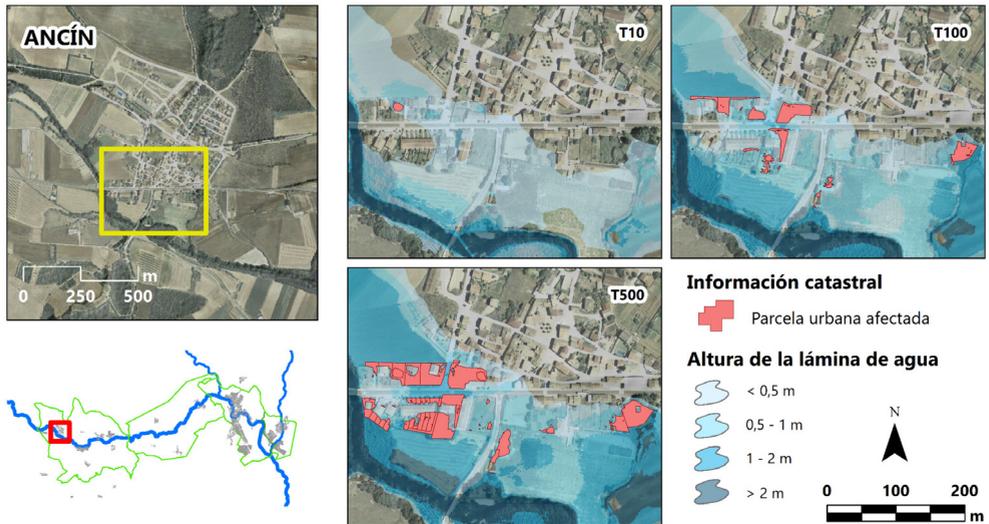


Figura 10. Parcelas urbanas de Ancín en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

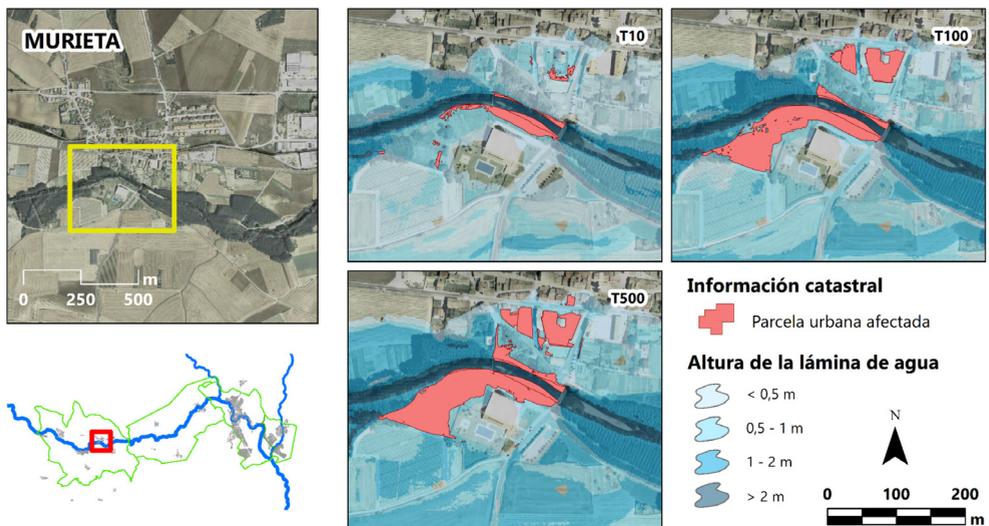


Figura 11. Parcelas urbanas de Murieta en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

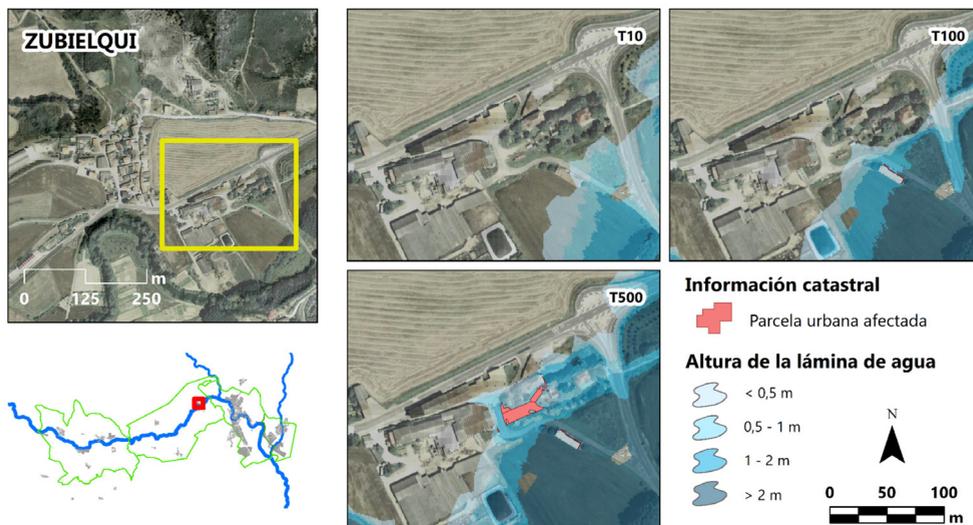


Figura 12. Parcelas urbanas de Zubielqui en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

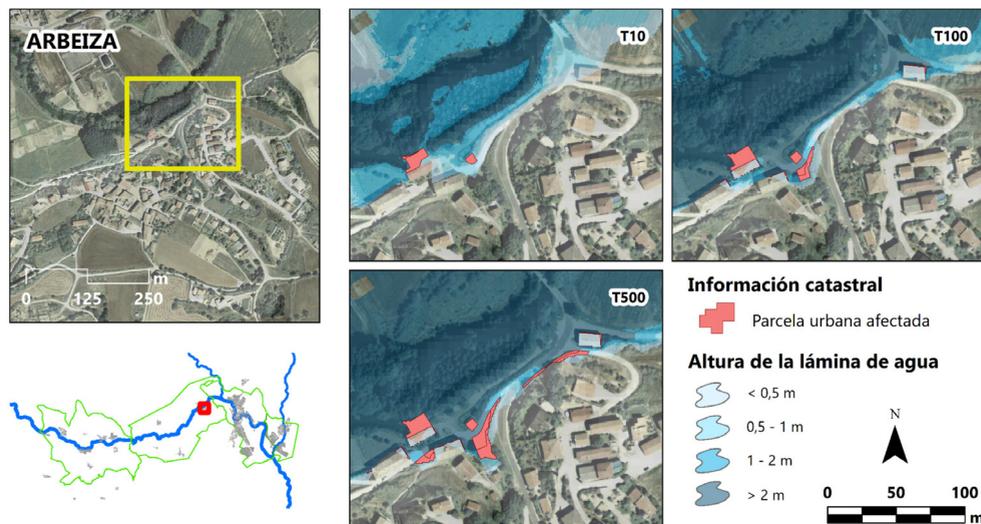


Figura 13. Parcelas urbanas de Arbeiza en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

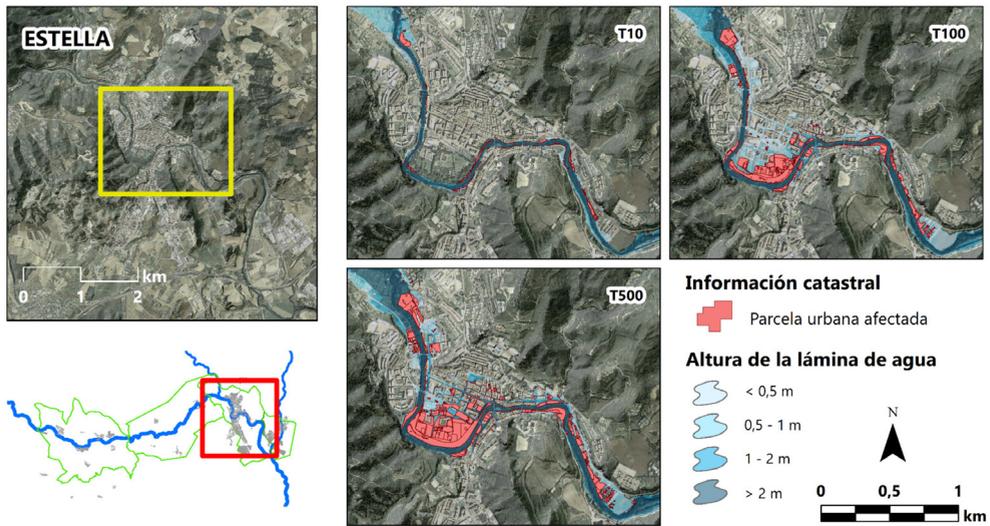


Figura 14. Parcelas urbanas de Estella en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

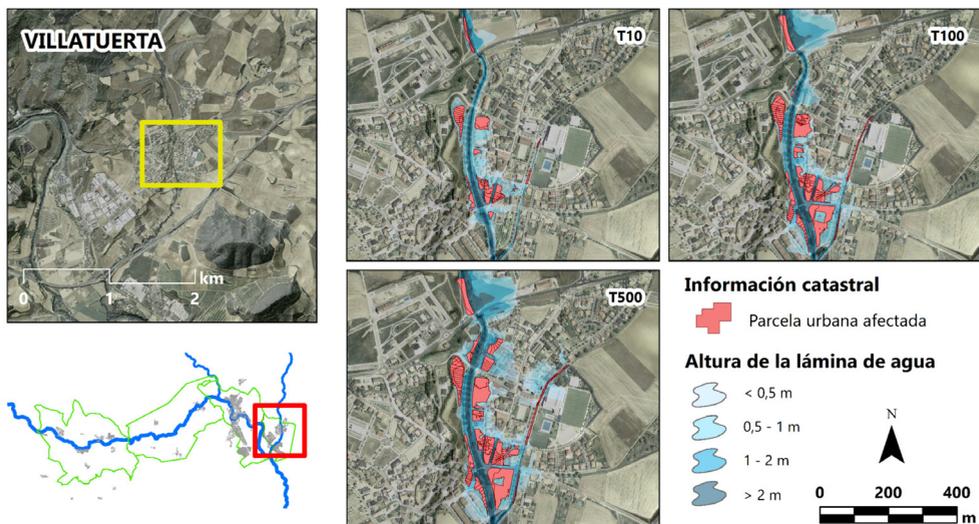


Figura 15. Parcelas urbanas de Villatuerta en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

6. Evento de crecida e inundación de diciembre 2021

La lámina de inundación del TM Ega para el escenario de alta probabilidad de inundación (T10) ha sido contrastada con datos del evento de crecida e inundación ocurrido en diciembre de 2021. Se ha trabajado con imágenes satelitales de Sentinel-1, que registraron el evento para el servicio Copernicus EMS, y con datos de caudal máximo diario obtenidos en las estaciones de aforo de Ancín y Murieta. El origen del evento se debió a una importante entrada de caudal en el sistema debido a persistentes lluvias que se prolongaron durante varios días consecutivos.

La información satelital de Copernicus EMS permite observar la máxima extensión espacial de la inundación que registró Sentinel-1 el día 11 de diciembre de 2021 (Figura 16). En general, la mancha de inundación registrada sigue patrones muy similares a los de la lámina T10 del PGRI, no llegando a sobrepasar sus límites excepto en sectores puntuales del sector de Allín, en su parte occidental y central. En Valdega la mancha se distribuye principalmente por la llanura central, afectando a puntos de la carretera NA-132 y al acceso a Legaria desde ésta, y al sur de Murieta, en la carretera NA-7410 y en la única vía de acceso a Abáigar. No se ha registrado ocupación de aguas en los cascos urbanos de Ancín y Murieta pero sí en el Polideportivo de Murieta, al sur de la localidad. En el sector de Allín la mancha ocupa varios puntos de la NA-132 y la NA-132-B, si bien tampoco penetra en los núcleos de Arbeiza y Zubielqui. En cuanto al sector de Estella, el satélite no ha registrado lámina de inundación en la cabecera comarcal, quedando ésta delimitada a la desembocadura del río Iranzu en el Ega, en la llanura existente en el barrio de Merkatondoa y el Polígono Industrial de Villatuerta.

Los datos de caudal máximo diario de las estaciones de Ancín y Murieta muestran dos momentos diferenciados de aumento de caudal durante la crecida (Figura 17). El primero comenzó el 4 de diciembre, con curva de ascenso hasta el día 5, donde se produjo el caudal máximo en Ancín ($68,78 \text{ m}^3/\text{s}$). Este aforo presentó un ligero descenso el día siguiente, mientras que en Murieta aumentó levemente, alcanzando el caudal máximo el día 6 ($102,88 \text{ m}^3/\text{s}$). Tras ello, en ambas estaciones comenzó un descenso del caudal que terminó el día 7. El segundo momento de crecida, que fue el de mayor magnitud, comenzó el día 8 de diciembre, produciéndose un ascenso del caudal hasta alcanzar la punta el día 10 en Ancín ($141,70 \text{ m}^3/\text{s}$) y en Murieta ($162,00 \text{ m}^3/\text{s}$). El descenso del caudal se prolongó hasta el día 13, tras lo cual siguió la curva de agotamiento y el retorno a los niveles de caudal habituales. Estos datos han sido analizados para estimar el periodo de retorno del evento mediante el ajuste de Gumbel, para lo cual se ha utilizado la serie de referencia de 1990-2020 en ambas estaciones de aforo. El caudal máximo diario previsto para cada escenario de inundabilidad, según los resultados del ajuste, se especifican en la Tabla 7. Tales resultados estiman un periodo de retorno del evento de 23,10 años en Ancín y de 19,70 años en Murieta. En la Tabla 8 se detalla la probabilidad de ocurrencia de un evento de estas características en distintos periodos de tiempo mediante la aplicación de las Ecuaciones 1 y 2.

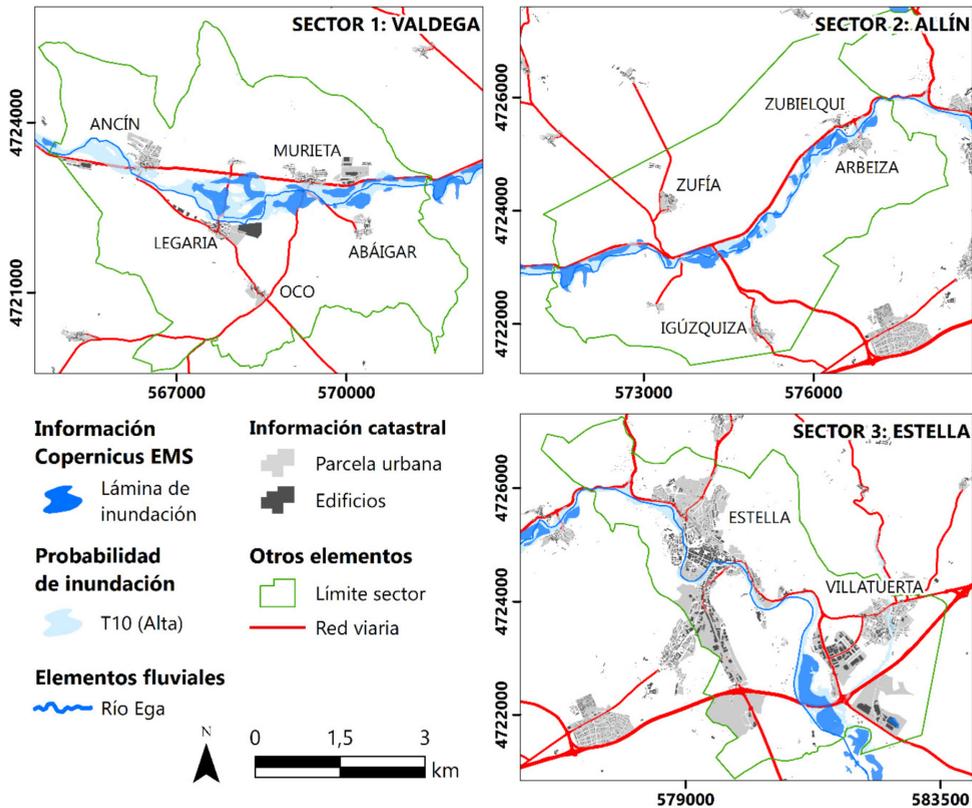


Figura 16. Extensión espacial del pico de la crecida e inundación del TM Ega registrado por el satélite Sentinel-1 el 11 de diciembre de 2021.

Fuentes: Copernicus EMS, CHE, SITNA. Elaboración propia.

Tabla 7. Caudales máximos diarios (m^3/s) previstos para el TM Ega en Ancín y Murieta en distintos escenarios de inundabilidad mediante la aplicación del ajuste de Gumbel

Estación de aforo	T2	T5	T10	T25	T50	T75	T100	T500
Ancín (AN313)	57,14	92,69	116,23	145,96	168,02	180,84	189,92	240,51
Murieta (AN314)	69,42	110,91	138,39	173,11	198,86	213,83	224,42	283,49

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Gobierno de Navarra.

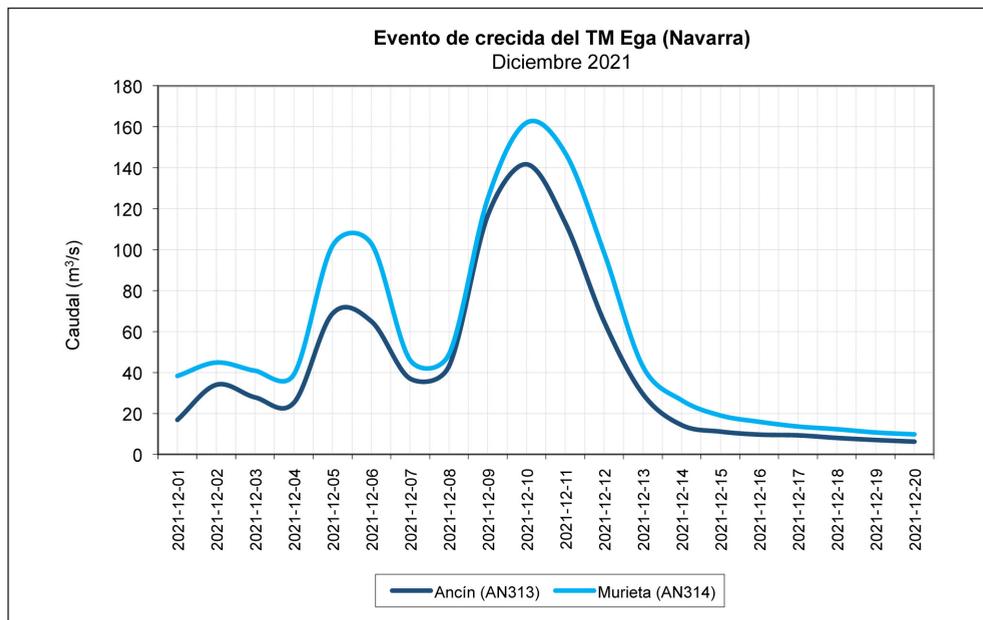


Figura 17. Caudal máximo diario del TM Ega durante el evento de crecida entre los días 1 y el 20 de diciembre de 2021.

Fuente: Gobierno de Navarra. Elaboración propia.

Tabla 8. Periodo de retorno estimado y probabilidad de ocurrencia del evento de diciembre 2021 en el TM Ega en distintos periodos de tiempo según el ajuste de Gumbel

Periodo de retorno del evento para el TM Ega	Probabilidad de ocurrencia del evento				
	1 año	5 años	10 años	25 años	50 años
19,70 años (probabilidad media-alta)	5,08 %	22,95 %	40,63 %	72,84 %	92,62 %

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Gobierno de Navarra.

$$P_1 = \frac{1}{T}$$

Ecuación 1 – P_1 : probabilidad de ocurrencia anual; T: periodo de retorno del evento

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n$$

Ecuación 2 – P_n : probabilidad de ocurrencia en un periodo de tiempo n

Los resultados de ambas informaciones muestran discrepancias entre la extensión de la lámina de inundación del evento, similar a un escenario T10 según el PGRI, y el periodo de retorno estimado, que abarcaría un hipotético escenario T20. Las causas de estas diferencias pueden deberse a dos razones. Por un lado, debido al error medio de los escenarios de inundabilidad del PGRI, que no son sino el resultado de un amplio y complejo proceso de modelización territorial que está en constante revisión y calibración. Por otro, debido a las limitaciones intrínsecas del satélite Sentinel-1, como su resolución espacio-temporal y la precisión geométrica. Según la información facilitada por Copernicus EMS para el propio evento (ver https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR555_AOI01_DEL_PROD-UCT_r1_RTP01/1), el satélite registró los datos a una resolución espacial de 10 m y en un único momento del día. Asimismo, la precisión de las imágenes está reportada como de 20 m o mejor. Por lo tanto, los escenarios del PGRI y Copernicus EMS tienen asociada una incertidumbre que es difícilmente evitable. En cualquier caso, es relevante comprobar que la distribución espacial de la lámina de inundación registrada por el satélite es coincidente en muchos sectores con la mancha T10 estimada por el PGRI. En este sentido, cabe destacar que, a pesar de las discrepancias, los escenarios T10 y T20 no se encuentran muy distantes en cuanto a la peligrosidad y el riesgo para la población, ya que existe una probabilidad de casi un 40% de que un evento de estas características vuelva a producirse durante los próximos 10 años (Tabla 8), si no ocurre uno de mayores dimensiones. El registro sistemático de distintos eventos de inundación por parte del servicio Copernicus EMS puede servir como método de calibración para los subsiguientes planes de inundación que elabore el PGRI.

7. Conclusiones

Las crecidas e inundaciones son eventos naturales que causan un gran impacto en el medio geográfico. En este estudio se ha analizado el comportamiento hidrológico del TM Ega y la peligrosidad y el riesgo a bienes y personas que pueden producir sus inundaciones bajo distintos escenarios de inundabilidad. El análisis de la variación estacional ha mostrado que existe una mayor probabilidad de crecidas entre los meses de diciembre y abril, momento en el que se alcanzan los mayores caudales anuales por las características climáticas del sector. No obstante, fenómenos típicos como tormentas de carácter convectivo pueden originar importantes entradas de caudal en épocas estivales. En este sentido, los registros históricos muestran la existencia de inundaciones ocurridas en verano, mientras que algo menos de la mitad de las mismas se concentraron en los cinco meses de mayor caudal, lo que permite confirmar el carácter excepcional de muchas de las inundaciones del TM Ega. Por otro lado, se ha demostrado que es difícil predecir cuándo o cada cuántos años será más probable que se produzcan inundaciones, dado el carácter semi-irregular del TM Ega.

Según los escenarios de inundabilidad elaborados por el PGRI, las zonas de mayor peligrosidad por inundación del TM Ega corresponderían a la gran llanura central de Valdega, numerosos sectores de la carretera NA-132 desde Ancín a Arbeiza, así como las vías que confluyen con ésta en dirección sur/sureste. En Estella los accesos viarios por el norte quedarían inundados, siendo relevante el corte que sufriría el acceso al Hospital Comarcal García Orcoyen bajo escenarios de media (T100) y baja (T500) probabilidad. En general, los sectores más vulnerables y de mayor riesgo se concentrarían en los núcleos urbanos de Ancín y Murieta, en Valdega, y de Zubielqui y Arbeiza, en Allín; en el centro urbano, el Parque de los Llanos y el barrio de la Merced en Estella; y en la margen izquierda del río Iranzu en el casco urbano de Villatuerta. La cuantificación del área de los núcleos urbanos y el total de parcelas urbanas, según catastro, en situación de riesgo importante de inundación ha mostrado la elevada vulnerabilidad existente en cuatro de las seis localidades afectadas (Ancín, Murieta, Estella y Villatuerta). Esta información ha sido contrastada con datos relativos a la crecida del TM Ega de diciembre de 2021 mediante datos de caudal, que ha permitido determinar un periodo de retorno de 19,70 años (~T20) según el ajuste de Gumbel, y con imágenes satelitales del servicio Copernicus EMS, que registró láminas de inundación similares a un escenario T10. Estas diferencias pueden ser resultado de limitaciones intrínsecas del sensor satelital, relativas a su resolución espacial y temporal, así como al error medio de los modelos de inundación del PGRI. No obstante, las láminas de inundación de Copernicus EMS siguieron patrones espaciales muy similares a las del escenario T10, lo que puede permitir poner en valor este servicio de cara a futuras revisiones de las cartografías de zonas inundables del PGRI.

Los resultados obtenidos en este estudio pretenden servir de guía a las autoridades competentes para facilitar el desempeño de labores de protección frente a las inundaciones fluviales del TM Ega e incrementar la percepción de riesgo entre la población. Asimismo, el estudio pone en valor la importancia de la elaboración de cartografías de peligrosidad y riesgo de inundación, ya que permiten conocer las potenciales afecciones que estos eventos tienen en el territorio y en las sociedades y constituyen un primer paso para mitigar sus efectos lo máximo posible.

Agradecimientos

A José Ángel Losada García, de la Confederación Hidrográfica del Ebro, por su supervisión en la elaboración de este estudio, su asesoramiento, orientación y disponibilidad, y por su ayuda en la revisión final del manuscrito.

Bibliografía

- Copernicus Emergency Management Service. *EMSR555: Flood in the Ebro river basin. Spain*. Consultado por última vez el 26 de febrero de 2022 (https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR555_AOI01_DEL_PRODUCT_r1_RTP01/1).
- Domenech, S., Ollero, A., Sánchez-Fabre, M. (2008). Núcleos de población en riesgo de inundación fluvial en Aragón: diagnóstico y evaluación para la ordenación del territorio. *Geographica*, 54, pp. 17-44.
- Instituto de Estadística de Navarra. *Información estadística: Población y demografía*. Consultado por última vez el 17 de febrero de 2022 (http://www.navarra.es/home_es/Gobierno+de+Navarra/Organigrama/Los+departamentos/Economia+y+Hacienda/Organigrama/Estructura+Organica/Instituto+Estadistica/).
- López-Morales, A., Gil-Guirado, S., Quesada-García, A. (2021). ¿Somos todos iguales ante una inundación? Análisis de la vulnerabilidad social en el litoral mediterráneo español. *Boletín de la Asociación Española de Geografía*, 88, eISSN: 2605-3322. DOI: <https://doi.org/10.21138/bage.2970>.
- López-Rodríguez, E., Leco-Berrocal, F., Mateos-Rodríguez, A.B. (2021). Peligrosidad de inundaciones en Extremadura y daños asociados. *Investigaciones Geográficas*, 75, pp. 121-137. DOI: <https://doi.org/10.14198/INGEO.16990>.
- Ollero, A. (1997). Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico: un planteamiento didáctico. *Lurralde*, 20, pp. 261-283. ISBN: 1697-3070.
- Ollero, A., Horacio, J., Ibisate, A., Sánchez-Fabre, M. (2021). Updated knowledge on floods and risk management in the middle Ebro river: The “Anthropocene” context and river resilience. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47, pp. 73-94. DOI: <http://doi.org/10.18172/cig.4730>.
- Pejenaute, J.M. (2002). *Navarra. Geografía*. Gobierno de Navarra.
- Sánchez-Fabre, M., Ballarín, D., Mora, D., Ollero, A., Serrano-Notivoli, R., Saz, M.A. (2015). Las crecidas del Ebro medio en el comienzo del siglo XXI. En De la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.) (2015). *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*, pp. 1853-1862. Universidad de Zaragoza-AGE. ISBN: 978-84-92522-95-8.

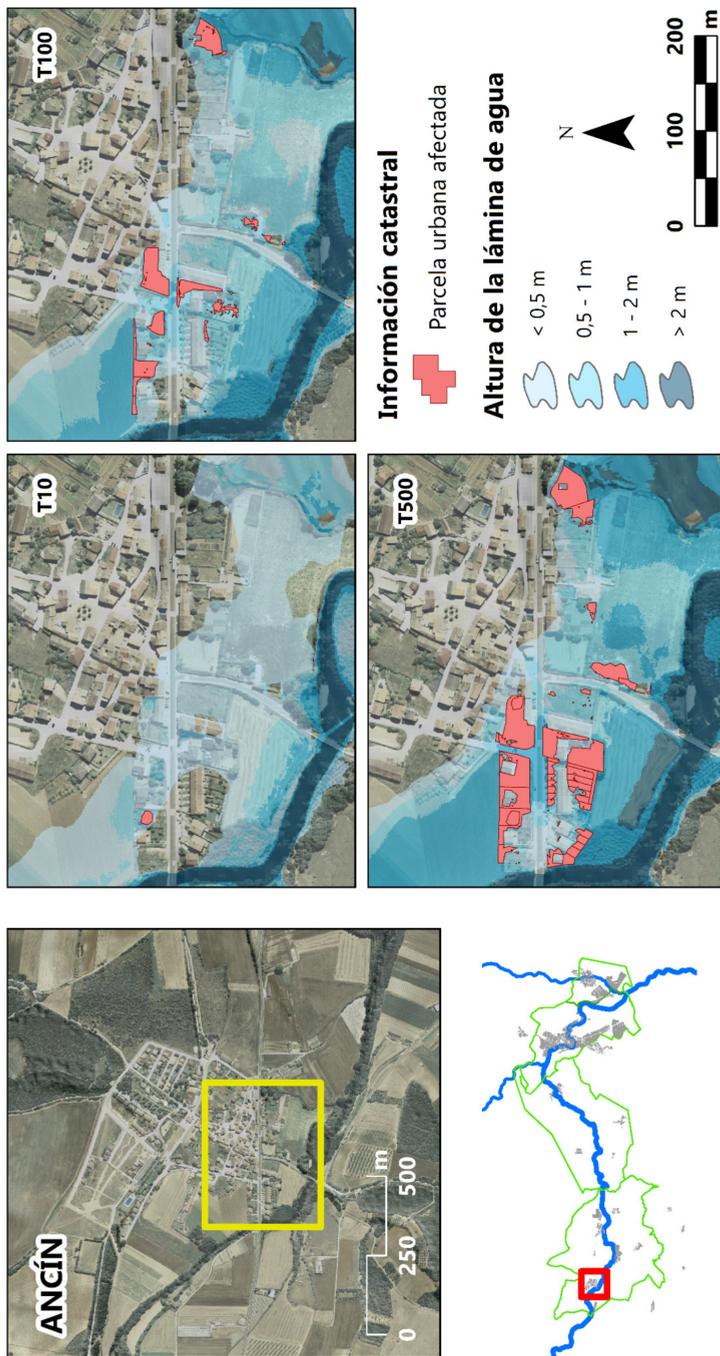


Figura A1. Parcelas urbanas de Ancín en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

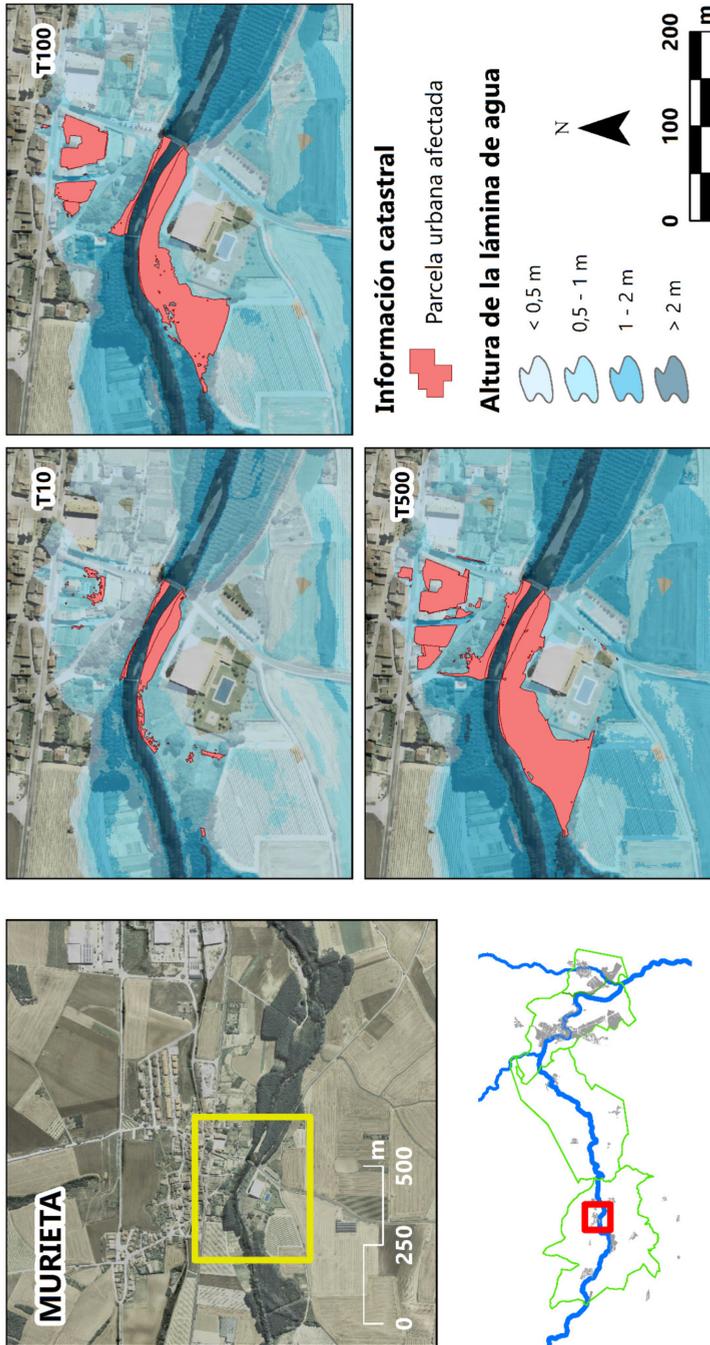


Figura A2. Parcelas urbanas de Murieta en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

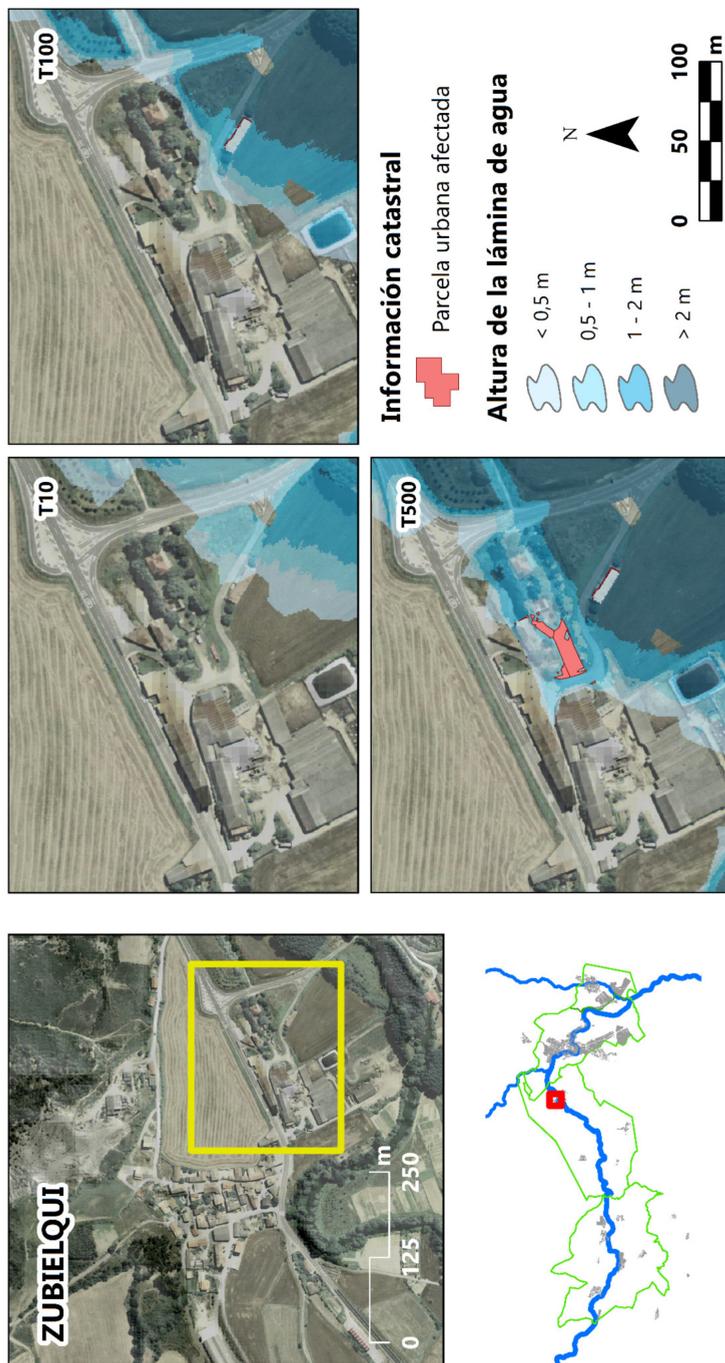


Figura A3. Parcelas urbanas de Zubielqui en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

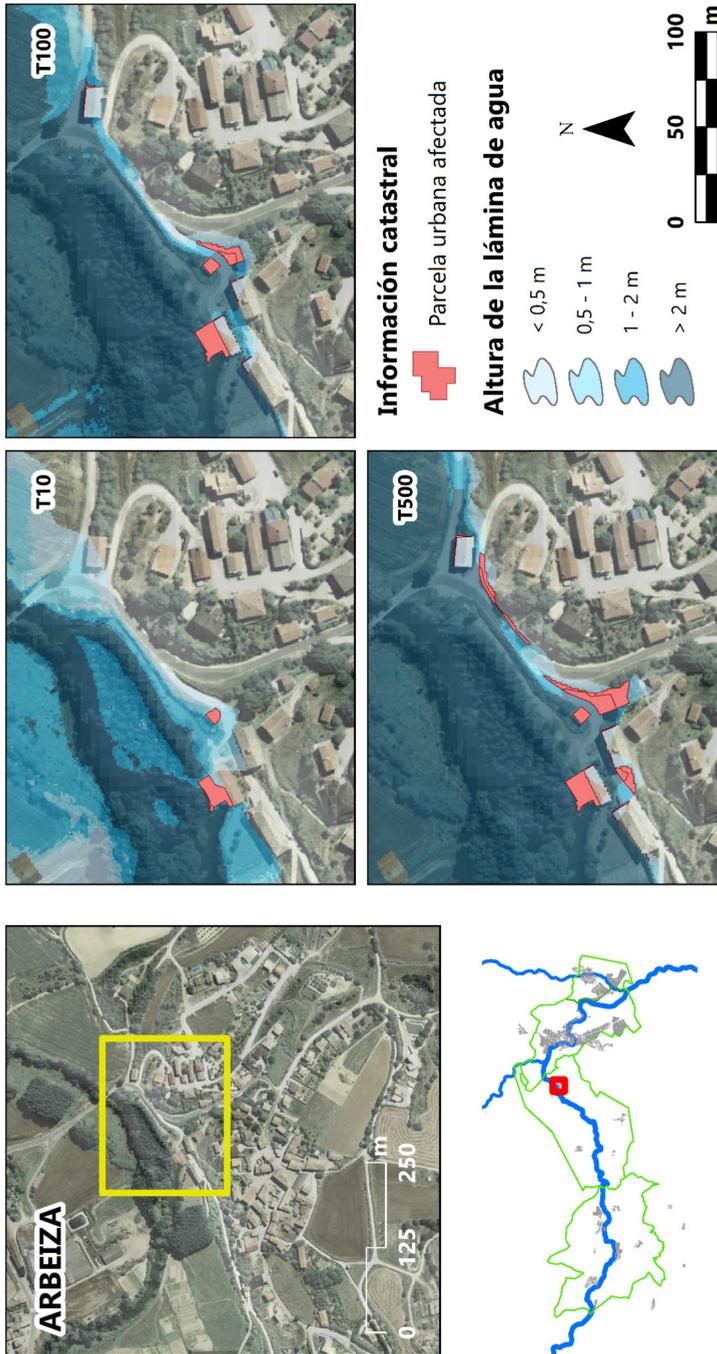


Figura A4. Parcelas urbanas de Arbeiza en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

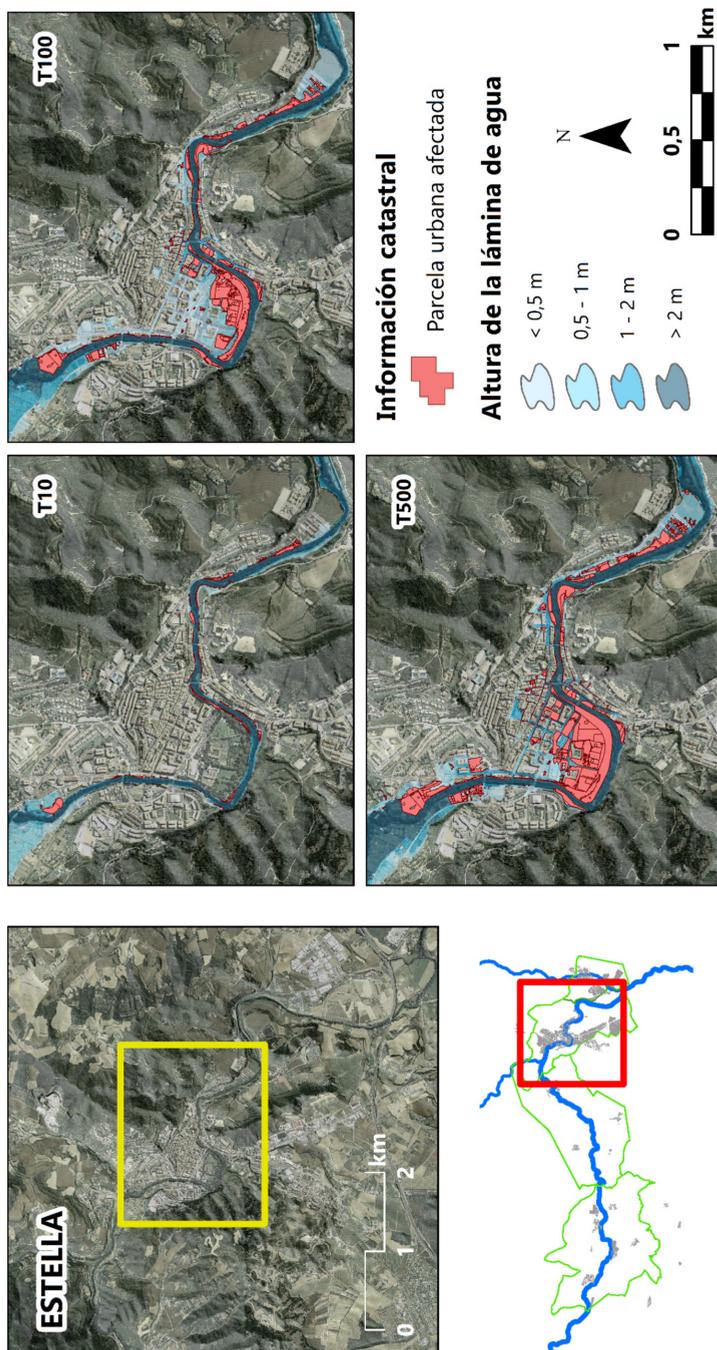


Figura A5. Parcelas urbanas de Estella en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

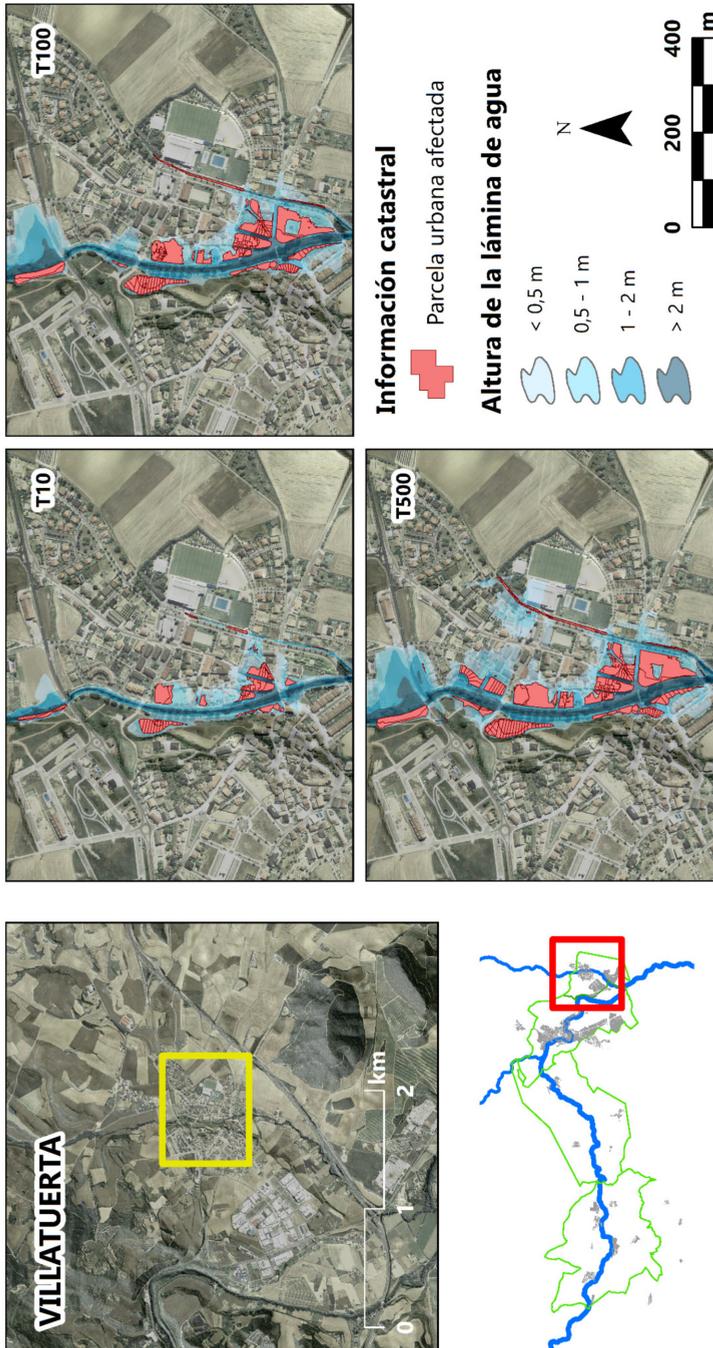


Figura A6. Parcelas urbanas de Villatuerta en situación de riesgo importante de inundación en escenarios de alta (T10), media (T100) y baja (T500) probabilidad de inundación.

Fuentes: CHE, Gobierno de Navarra, IGN-PNOA. Elaboración propia.

