

# **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

## **PROPIEDAD, DEFENSAS Y SIMULACIÓN DE INUNDACIONES EN LA RESERVA NATURAL DIRIGIDA DE LOS SOTOS Y GALACHOS DEL EBRO**

**Autor: Álvar Ruiz Ruiz**

Director: Alfredo Ollero Ojeda

Máster Universitario en  
Ordenación Territorial y Medioambiental

Diciembre 2017



**Universidad**  
Zaragoza

Departamento de Geografía  
y Ordenación del Territorio



## **Resumen**

La Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro ha ido experimentando cambios a lo largo de las últimas dos décadas. En el presente trabajo se analizarán ciertos factores que pueden darnos una pista del estado actual en el que se encuentra. En primer lugar se analizará el parcelario de la Reserva Natural, el tipo de propiedad y su distribución junto a los usos del suelo. En segundo lugar se catalogarán las defensas que podemos encontrar a lo largo de ambas márgenes del río Ebro a su paso por la Reserva Natural y se analizará la utilidad de las mismas mediante la realización de una serie de simulaciones de inundación. De esta forma analizará si es posible llevar a cabo la eliminación de alguna de ellas y fomentar la naturalización del espacio protegido.

**Palabras Clave:** *Reserva Natural, defensas, tipo de propiedad, inundaciones, naturalidad.*

## **Abstract**

The Directed Natural Reserve of the Sotos and Galachos of the Ebro has been experiencing changes over the past two decades. In the present work, we will analyze certain factors that can give us a clue of the current state in which it is located. In the first place, the plot of the Natural Reserve will be analyzed, the type of property and its distribution along with land uses. Secondly, the defences that can be found along both banks of the Ebro River as it passes through the Nature Reserve will be catalogued and their usefulness will be analyzed through a series of flood simulations. In this way, it will analyze if it is possible to carry out the elimination of any of them and promote the naturalization of the protected space.

**Key Words:** *Natural Reserve, defences, type of property, floods, naturalization.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quería agradecer a la DGA y al Servicio Provincial de Medio Ambiente de Zaragoza por darme la oportunidad de realizar estas prácticas a M<sup>a</sup> Ángeles Pintor por su disposición y ayuda, a mi tutor del Servicio Provincial Jorge Net Ortega por el interés y la ayuda mostrada en el tiempo que han durado las prácticas.

En segundo lugar a los profesores de la Universidad de Zaragoza que han impartido el Máster, en especial a Fernando Germán López Martín por su ayuda al proporcionarme herramientas a la hora de realizar la parte del tipo de propiedad. En especial agradecerle al tutor de estas prácticas Alfredo Ollero Ojeda por su gran ayuda en toda la elaboración del análisis de las defensas y guiarme adecuadamente a lo largo de todo el proceso y animarme.

Por último, agradecerles su ayuda a mis compañeros Iván Noguera y Pedro Duarte por su gran ayuda prestada en la parte de las simulaciones de inundaciones, sin los cuales no hubiese sido capaz de sacar adelante la parte final del trabajo.

## Índice

1. Introducción.....	4
1.1. Justificación.....	5
1.2. Estado de la cuestión.....	6
1.2.1. Situación actual.....	6
1.2.2. Gestión de la Reserva.....	8
1.2.2.1. Objetivos de gestión.....	9
1.2.3. Marco legal, legislación y figuras de protección.....	14
1.2.3.1. Ámbito europeo.....	14
1.2.3.2. Ámbito estatal.....	15
1.2.3.3. Ámbito autonómico.....	16
1.2.3.4. Figuras de protección.....	17
1.2.4. Antecedentes de la zona de estudio.....	17
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo principal.....	19
1.3.2. Objetivos secundarios.....	20
1.4. Metodología aplicada.....	20
2. Contextualización del área de estudio.....	21
3. Tipo de propiedad.....	25
3.1. Metodología.....	25
3.2. Resultados.....	27
4. Defensas y simulación.....	33
4.1. Defensas.....	33
4.1.1. Metodología.....	33
4.1.2. Resultados.....	35
4.2. Simulación.....	37
4.2.1. Metodología: .....	37
4.2.1.1. HEC-RAS.....	37
4.1.1.2. Iber.....	41
4.2.2. Resultados.....	47
5. Conclusiones.....	52
6. Bibliografía.....	54
Anexo I, Anexo II, Anexo III y Anexo IV.	

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo fin de máster es el resultado de unas prácticas en la administración pública, las cuales se llevaron a cabo en el Servicio Provincial de Medio Ambiente de Zaragoza, más concretamente en el departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, durante el periodo comprendido entre el 13/03/2017 y el 31/05/2017 con una duración total de 250 horas. Estas prácticas se realizaron como parte del Máster Universitario de “Ordenación Territorial y Medioambiental” de la Universidad de Zaragoza. Dichas prácticas fueron tutorizadas por D. Jorge Net Ortega miembro del Servicio Provincial de Medio Ambiente y D. Alfredo Ollero Ojeda por parte de la Universidad de Zaragoza.

Los ríos junto a sus cauces, vegetaciones de ribera y sotos, son un tipo de ecosistema que desde tiempos inmemorables han estado sujetos a todo tipo de cambios, ya sea por la propia dinámica natural del agua, como por causas antrópicas. Dichos sistemas naturales han sufrido a lo largo de milenios directa o indirectamente el impacto de las actividades económicas de distintos tipos, que han repercutido a su evolución morfológica e incluso en algunos casos hidrológica. Desde principios de los años 60 del siglo XX, se empezaron a construir una serie de defensas en los márgenes del río Ebro las cuales contribuirían a paliar y controlar los efectos provocados por las crecidas y así de esta forma evitar inundaciones en zonas urbanas y de cultivo.

Este trabajo se centra en la zona de la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro, por un lado se intentó actualizar el catastro actual del tipo de propiedad pública o privada y la realización de una cartografía, para de esta forma conocer el tipo de propiedad que ocupa cada tipo de usos del suelo. Por otro lado se realizó el inventariado y catalogación de las defensas que podemos encontrar a ambos márgenes del río Ebro en la zona de estudio, para posteriormente poder realizar una cartografía de la misma y finalmente una simulación de retirada de algunas de esas defensas, las cuales han sido propuestas por el Servicio Provincial de Medio Ambiente.

## **1.1 Justificación**

La Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro es uno de los espacios naturales protegidos con una mayor singularidad de la Comunidad Autónoma de Aragón. Los procesos de protección tuvieron su comienzo entorno al año 1976 cuando se vedó la caza en la zona del galacho de la Alfranca y posteriormente en el año 1986 también se hizo con la pesca. Pero no fue hasta 1991 cuando fue declarada como reserva natural.

En un espacio protegido, como es el caso de la zona de estudio, es de una gran ayuda tener una cartografía que pueda proporcionarnos información tanto de los usos del suelo de cada parcela o zona, como del tipo de propiedad que tiene. El conocimiento de dicha información puede ser de una gran utilidad a la hora de gestionar el territorio de una forma eficaz y eficiente. Debemos tener en cuenta que nos encontramos en una zona la cual históricamente ha sido empleada para usos agropecuarios y las parcelas ocupadas por los mismos pertenecen a particulares. Los ecosistemas fluviales son dinámicos y complejos y en ellos convergen aspectos ambientales, económicos y culturales. Una mala práctica en usos agrarios, puede llevar al deterioro de la vegetación natural de la zona, afectando a las riberas y sotos. La influencia de la vegetación es tan o más poderosa que la influencia de la hidrología (Bastida 2000), la vegetación de ribera contribuye a estabilizar la geometría del cauce y protege tanto de la erosión como de las crecidas hasta cierto punto. Por estas mismas razones, el conocimiento del tipo de propiedad ya sea particular o de dominio público, nos ayudará a evitar malas prácticas por parte de los propietarios particulares, que puedan afectar negativamente a la Reserva y también nos permitirá tener un mejor conocimiento y posibilidad de actuación en la gestión de las zonas de dominio público y el ecosistema natural de la zona.

Las sociedades ribereñas llevan siglos conviviendo con los procesos naturales, pero en épocas más recientes la presión sobre el suelo ha superado la capacidad de acogida del medio. Esto ha generado una creciente presión, alteración y apropiamiento de espacios que son potencialmente propensos a ser ocupados por las aguas en épocas en las cuales los ríos tienen un mayor caudal. En el caso del río Ebro, la vegetación de las riberas y sotos y la creación de islas y playas tienden a limitar los caudales circulantes sobre el lecho principal favoreciendo que parte de la crecida se desborde e inunde. Es decir propiciando el trueque de avenida a desbordamientos y rebajando su peligrosidad.

Pero esta tendencia se ha roto con la presencia antrópica y su filosofía de no respetar al territorio fluvial y los procesos que en él se dan.

A raíz de lo anteriormente comentado y precisamente para protección de las infraestructuras y campos de cultivo frente a las crecidas, se crean las defensas del río Ebro, también conocidas como motas. A consecuencia de dichas defensas el cauce del río Ebro se ha visto limitado y oprimido tanto en la zona de la Reserva, como en el resto de su curso, sobretodo a su paso por Aragón. Según Ollero (1995), la profusión de defensas constriñe el paso de las aguas de crecida, provocando que aumente el grado de desbordamiento en los puntos que no hay defensas, debido a la alteración de la dinámica natural.

Dicho constreñimiento junto a la construcción de las defensas ha producido una disminución considerable de la dinámica fluvial del río, haciendo que pierda libertad y fomentando la desaparición de sus meandros que son fundamentales para desplazarse a lo largo de la llanura de inundación, factor que dificulta la formación de nuevos galachos (Ollero, 1995). La construcción de las motas está suponiendo la perdida de la dinámica fluvial, el aislamiento de los galachos y previsiblemente el fin de la formación de nuevos meandros y galachos (Guerrero y Muñoz 2003).

Por esta misma razón desde el Sistema Provincial de Medio Ambiente se ha pensado que puede ser interesante realizar una catalogación de las defensas, para a posteriori realizar una simulación y ver cuáles son las consecuencias de la retirada de alguna de ellas. De esta forma se estaría intentando recuperar la naturalidad de la Reserva poco a poco y ver si las motas realmente son útiles o quizás sea mejor volver a permitir al río retoma su dinámica natural. Pudiendo de este modo fomentar una nueva aparición de galachos, los cuales tienen una gran riqueza natural en la zona y son hábitat tanto de flora como de fauna.

## **1.2 Estado de la cuestión**

### **1.2.1. Situación actual**

Las Reservas Naturales Dirigidas, según establece el Decreto Legislativo 1/2015, de 29 de julio, de la Ley de Espacios Protegidos de Aragón, son espacios naturales de dimensión moderada, cuya declaración tiene como finalidad la conservación de hábitats singulares, especies concretas o procesos ecológicos naturales de interés especial. Su

gestión estará encaminada a la preservación y restauración, así como a la ordenación de los usos considerados compatibles, pudiendo autorizarse actividades científicas, educativas, de uso público y de aprovechamiento de los recursos naturales tradicionales siempre y cuando estén integrados en los objetivos de conservación.

En nuestro caso nos encontramos en la Reserva Natural Dirigida de los galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro, la cual está ubicada en el tramo medio del Ebro, a aproximadamente 12 km aguas abajo de la ciudad de Zaragoza. La Reserva en un principio estaba comprendida por 3 términos municipales de la provincia de Zaragoza, más concretamente son Pastriz, El Burgo de Ebro y el barrio zaragozano de La Cartuja, territorio que posteriormente se vería ampliado.

La Reserva goza de dicha protección desde 1991, aunque como ya se ha comentado anteriormente, en 1976 ya había prohibido la caza y posteriormente diez años después en 1986 la pesca. Anteriormente en 1981 el ornitólogo Adolfo Aragüés ya reconocía el valor de este singular espacio tanto para la investigación, como para la educación. Por estas razones la población zaragozana empieza a tomar conciencia del lugar y tras una iniciativa popular (ANSAR) consiguen que en 1991, se declare Reserva Natural Dirigida de los galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro mediante la Ley 2/1991, de 8 de abril, al amparo de la ya derogada Ley 4/1989, de conservación de espacios naturales, de la flora y fauna silvestre. Mediante el Decreto 149/1995, de 29 de mayo, se inicia el procedimiento de aprobación del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de los sotos y galachos del río Ebro. En el año 2007 mediante el Decreto 89/2007, de 8 de mayo, se aprueba el plan, el cual propone la ampliación de la Reserva Natural, con el objetivo de incluir un mayor número de meandros que se encuentren en un buen o aceptable estado de conservación con sus formaciones vegetales ribereñas, con el fin de poder considerar opciones de gestión más eficaces en el ámbito de la dinámica fluvial y recuperar o preservar los sotos de ribera en condiciones estructurales óptimas para cumplir con su función ecológica.

Ya en 2011, mediante la Ley 6/2011, de 10 de marzo, se declara la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro, ampliando la anterior Reserva Natural hasta una extensión de 1.536,7 ha, con una superficie periférica de protección de 1.563,8 ha.

### **1.2.2. Gestión de la Reserva**

Actualmente la gestión de la Reserva Natural Corresponde al Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad del Gobierno de Aragón, a través del Servicio Provincial de Zaragoza.

La estructura organizativa se compone de:

- **El Director** de la Reserva Natural, con funciones de dirección de Espacio Natural Protegido.
- **El Director Técnico** de la Reserva Natural, al que compete la gestión del Espacio Natural Protegido.
- **El Patronato**, como órgano de participación y consulta.
- **El Comité Científico**, con labores de apoyo técnico y científico al Director de la Reserva Natural.
- Un equipo facultativo y administrativo, a través de la Sección de Espacios Naturales del Servicio Provincial de Zaragoza.
- **Agentes para la Protección de la Naturaleza (APN)**, con labores de ejecución de la gestión y vigilancia, adscritos al Servicio Provincial de Zaragoza.

**El centro de visitantes** de la Reserva Natural se incluye dentro de las instalaciones del **Centro Internacional del Agua y Medio Ambiente (CIAMA)**, cuya gestión corresponde al departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, actualmente a través de la Dirección General de Sostenibilidad. Se localiza en la finca de La Alfranca.

En materia de gestión preventiva, el **Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA)** es el órgano ambiental competente en materia de tramitación y resolución de los procedimientos administrativos, salvo lo establecido para la Dirección del espacio natural protegido en la Ley de declaración de la Reserva Natural.

#### **1.2.2.1. Objetivos de gestión**

El instrumento básico de planificación y gestión de la Reserva Natural Dirigida es el Plan de Conservación/Plan Rector de Uso y Gestión, el cual aún permanece pendiente

de aprobarse por norma legal. Si bien es cierto que ya se dispone de borrador aprobado el 6 de octubre de 2016.

El borrador del Plan de Conservación contempla una serie de medidas de gestión diseñadas para dar cumplimiento a los objetivos de declaración del espacio natural protegido, estando estructuradas en diferentes programas.

En materia de funcionamiento general:

1. Mantener los equipamientos de gestión de la Reserva Natura Dirigida en condiciones adecuadas y seguras para su uso.

En materia de conservación:

1. Mantener en un estado de conservación favorable los ecosistemas y la flora y fauna asociadas al mismo.

- Incrementar el conocimiento sobre los objetos de conservación y la gestión en cuanto al estado, dinámica y evolución.
- Mejorar el estado de conservación de los sistemas naturales presentes, con especial referencia a los hábitats de interés comunitario.
- Mantener en condiciones adecuadas las poblaciones de especies de flora y fauna de interés.
- Conservar los recursos genéticos del género *Populus*.

2. Recuperar el funcionamiento de los ecosistemas naturales presentes.

- Reducir las poblaciones de flora y fauna exóticas.
- Recuperar la funcionalidad de los hábitats asociados a los sotos de ribera.
- Restaurar zonas degradadas.

3. Reducir las afecciones de las actividades humanas a la conservación de la flora y fauna.

- Garantizar el uso racional de los ecosistemas existentes.

- Reducir las afecciones negativas de las infraestructuras eléctricas sobre la avifauna.
- Reducir las afecciones sobre los hábitats de especies de flora y fauna de interés del uso de productos químicos y sustancias biológicamente activas.

En materia de uso público:

1. Ofertar al visitante unos equipamientos y servicios seguros y en un estado adecuado.

- Reducir los problemas en materia de seguridad existentes en los equipamientos y servicios de uso público.
- Mejorar la accesibilidad de los equipamientos y servicios de uso público.
- Mantener en condiciones adecuadas según marca la norma UNE 187002:2008 la oferta de equipamientos y servicios de uso público.
- Adecuar la oferta de equipamientos y servicios a la demanda existente, de manera que los equipamientos puedan utilizarse adecuadamente y se cumplan los niveles de satisfacción esperada por los visitantes.
- 

2. Promover el desarrollo de canales de información, comunicación y participación que acerquen la RND a la población local y visitante.

- Actualizar la información sobre la Reserva Natural Dirigida.
- Incrementar los puntos de difusión de información y mejorar los ya existentes, creando un canal de información fluida entre la Reserva Natural Dirigida, la población local y la población visitante.

3. Mejorar la figura de la RND como herramienta para la educación y concienciación ambiental.

- Diversificar las actividades del programa educativo para alcanzar a todos los colectivos.
- Adaptar el contenido de las actividades de interpretación y educación ambiental a la realidad y gestión.

- Mejorar el conocimiento sobre los valores inmateriales presentes en la RND, ZPP y AIS.

En materia de desarrollo socioeconómico:

- Directrices en materia de actividades turísticas, de calidad de empleo y de participación.
- Normativa en materia de actividades turísticas.

El Plan de Conservación, también establece de manera expresa los objetivos de conservación sobre los que se ha de centrar la gestión del espacio natural protegido, bien por estar recogidos en la normativa de aplicación o por considerarse prioritarios según el diagnóstico de la situación de partida en el que se pasa la programación de las medidas de gestión.

Hay una clara necesidad de que la gestión de los espacios naturales protegidos esté suficientemente dotada de medios económicos y humanos para su correcto funcionamiento y así poder desarrollar los diferentes objetivos y medidas de actuación de los documentos de gestión. Es importante realizar un análisis del tipo de financiación existente, lo que determina en muchas ocasiones la elección de las medidas de gestión a realizar, los fondos provienen de fondos europeos, FEDER o FEADER, muchas de las actuaciones básicas establecidas en el Plan de Conservación, no pueden abordarse al no ser actuaciones finalistas.

Como los recursos son limitados se echan en falta actuaciones como las siguientes:

- Estudios sobre el estado de colmatación de los galachos.
- Implantación del Plan de Seguimiento Ecológico, aumentando la toma de datos de algunos indicadores y un mejor seguimiento de los sotos.
- Trabajar en el estudio de las causas de reducción de las poblaciones de ardeidas.
- Una mejor definición de los indicadores de gestión.
- Ampliar el programa educativo.
- Incrementar las relaciones con la CHE.
- Realizar proyectos de voluntariado ambiental.
- Permeabilización de las infraestructuras de defensa.

- Naturalizar los márgenes del río.

La ley de declaración no establece objetivos de gestión de manera concreta, considerando que la declaración tiene como finalidad salvaguardar sus valores naturales, su fauna, su flora, sus paisajes, sus formaciones geomorfológicas, conservar y potenciar sus ecosistemas y garantizar, bajo las permislas del desarrollo sostenible el uso racional de sus recursos naturales, promoviendo como objetivo prioritario planes de actuación en conservación dotándolos de recursos suficientes, para el entorno y su área de influencia, y promoviendo así mismo el desarrollo socioeconómico basado en criterios de sostenibilidad de su área de influencia y el esparcimiento y disfrute público, cumpliendo además los compromisos internacionales en materia de conservación.

Por otro lado cabe destacar los objetivos que el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) cuyos principales objetivos son, señalar el estado de conservación de los recursos y ecosistemas del lugar y promover la aplicación de medidas de conservación, restauración y mejora de los recursos naturales, en el caso de nuestro Espacio Natural Protegido se establece:

Conservación y recuperación de funciones ecológicas generales:

- Se garantiza el mantenimiento de la estructura y la funcionalidad del ecosistema fluvial original y de sus elementos asociados, junto a los diferentes biotopos que los caracterizan como son: los galachos, canales madres, meandros, sotos, islas, barras, canales trenzados, etc., y que han logrado ser conservados hasta la actualidad.
- Recobrar o recuperar las áreas de dominio público hidráulico las cuales han perdido su funcionalidad ecológica, fomentando la revegetación de las riberas, mediante la sustitución de los cultivos por vegetación natural.
- Favorecer la contribución del área al proceso de migración de la fauna, como punto de apoyo trófico y de refugio, mediante el intento de recuperar especies migratorias que sean propias de ambientes fluviales asociados al río Ebro.
- Se intentará fomentar las medidas para proteger y mejorar el estado ecológico de las aguas y de los ecosistemas acuáticos y humedales, basándose en lo establecido en la Directiva Marco del Agua y la Ley de Aguas.

#### Conservación de especies y hábitats:

- Asegurarse de que las poblaciones de las especies de flora y fauna de mayor valor existentes en el territorio de forma residente o temporal sean conservadas.
- Proporcionar una protección adecuada a los elementos florísticos y de fauna en función de su grado de amenaza, riqueza, diversidad, abundancia, fragilidad y valor científico.
- Contribuir a la conservación de las especies catalogadas y de sus hábitats, asegurándose de que tienen las dimensiones adecuadas para cada especie.
- Asegurar la conservación de especies en peligro de extinción como son la margaritona, el pez fraile o el avetoro y del mismo modo servir como base para la eventual reintroducción de especies extintas como el esturión.

#### Compatibilidad de usos:

- Velar y fomentar un uso ordenado de los recursos naturales, garantizando el uso sostenible del medio y que resulte compatible con los objetivos de conservación.

#### Objetivos de carácter socioeconómico:

- Hacer una evaluación de las características socioeconómicas de la población asentada y sus perspectivas para el futuro.
- Fomentar el desarrollo sostenible cultural, social y económico de las poblaciones del área de influencia socioeconómica.
- Promover las actividades económicas que sean compatibles con la conservación de los recursos que puedan suponer una mejora de la calidad de vida de las poblaciones.
- Establecer planes y programas que concreten la actuación pública en la ejecución de las políticas sectoriales que incidan en el territorio.
- Proponer una serie de ayudas técnicas y económicas que fomenten el lograr los fines del Plan.

Otros objetivos:

- Fomentar el uso educativo, científico y recreativo, para favorecer el conocimiento y disfrute del río Ebro y sus riberas.
- Cumplir los compromisos con la Unión Europea, especialmente en todo lo relacionado a Los Lugares de Interés Comunitario (LIC) en cuanto a la aplicación de las directivas comunitarias vigentes se refiere.

### **1.2.3. Marco legal, legislación y figuras de protección**

#### **1.2.3.1. Ámbito europeo**

- Directiva 1992/43/CEE, del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de flora y fauna silvestre.
- Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Decisión de la Comisión del 28 de marzo de 2008, por la que se adopta, de conformidad con la Directiva 92/43, la primera lista actualizada de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea y modificaciones posteriores.
- Directiva 2009/147/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres.

#### **1.2.3.2. Ámbito estatal**

- Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca y modificaciones posteriores.
- Ley 10/2001, de 5 de julio, de aprobación del Plan Hidrológico Nacional.
- Real Decreto 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas, y reglamentos de desarrollo.

- Real Decreto 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción (modificado por el Real Decreto 112/2011 de 5 de septiembre).
- Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes (modificada por la Ley 10/2006, de 28 de abril).
- Ley 30/2006, de 26 de julio, de semillas y plantas de vivero y de recursos filogenéticos.
- Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural y Decreto 752/2010, de 4 de junio, por el que se aprueba el Programa de Desarrollo Rural Sostenible.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad: establece la normativa básica en materia de protección de espacios naturales protegidos, conservación de especies de flora y fauna silvestres, gestión y conservación de lugares Red Natura 2000.
- Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de los Recursos Genéticos Forestales.
- Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
- Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.
- Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo de Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y Catálogo Español de Especies Amenazadas.
- Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
- Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios.
- Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.
- Real Decreto 129/2014, de 28 de febrero, por le que se aprueba el Plan Hidrológico de la española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

#### 1.2.3.3. Ámbito autonómico

- Ley 5/1991, de 8 de abril, declaración de la Reserva Natural de los Galachos de la Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro.
- Decreto 49/1995, de 28 de marzo, del la Diputación General de Aragón, por el que se regula el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón.
- Ley 6/1998, de 19 de mayo, de espacios naturales protegidos de Aragón.
- Ley 2/1999, de 24 de febrero, de pesca de Aragón.
- Ley 5/2002, de 4 de abril, de caza de Aragón.
- Ley 23/2003, de 23 de diciembre, de creación del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental.
- Ley 12/2004, de 20 de diciembre, de medidas tributarias y administrativas, por la que se establece una nueva estructura organizativa en los espacios naturales protegidos.
- Ley 8/2004, de 20 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente, por el que se crea la Red Natural de Aragón.
- Decreto 34/2005, de 8 de febrero, del Gobierno de Aragón, por el que se establecen las normas de carácter técnico para las instalaciones eléctricas aéreas con objeto de proteger la avifauna.
- Decreto 185/2005, de 26 de septiembre, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Plan de Recuperación de *Margaritifera auricularia*.
- Ley 15/2006, de 28 de diciembre, de Montes de Aragón.
- Decreto 89/2007, de 8 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba definitivamente el Plan de Ordenación de Recursos Naturales de los Sotos y Galachos del río Ebro.
- Ley 6/2011, de 10 de marzo, de la declaración de la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro.
- Decreto 232/2012, de 23 de octubre, del Gobierno de Aragón, por el que se modifican los órganos de participación de los Espacios Naturales Protegidos declarados en Aragón.
- Orden de 16 de enero de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por el que se establece el modelo para el registro de la información sobre el uso de los productos fitosanitarios por parte de los titulares de explotaciones agrarias.

- Orden del 10 de septiembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por el que se designan y modifican las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunidad Autónoma de Aragón.

#### 1.2.3.4. Figuras de protección

- **Reserva Natural Dirigida** de los sotos y galachos del Ebro.
- **Lugar de Importancia Comunitaria** LIC ES2430152 Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro.
- **Zona de Especial Protección para las Aves** ZEPA 0000138 Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro.
- **Área de Interés Geológico nº 65** “Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro”.
- **Humedal Singular de Aragón**, lagunas de agua dulce permanente “Galacho de El Burgo de Ebro”, “Galacho de La Alfranca” y “Galacho de La Cartuja”.

#### 1.2.4. Antecedentes de la zona de estudio

El área de estudio de la Reserva Natural Dirigida de los Galachos de la Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro ya ha sido objeto de estudio o análisis en épocas anteriores y se han realizado numerosos trabajos sobre la zona. Sobretodo a partir de 1991, tras ser declarada como Reserva Natural Dirigida, dichos trabajos que analizan tanto la biodiversidad como dinámicas fluviales pueden ayudarnos a contextualizar y conocer mejor la zona de estudio de este trabajo.

Uno de los primeros antecedentes que podemos encontrar es el libro de Pedro Regato Pajares “*Contribución al estudio de la flora y la vegetación del galacho de la Alfranca en relación con la evolución del sistema fluvial*” del año 1988. En el se busca facilitar una información detallada sobre la que poder basar un proyecto de protección de la zona, teniendo en cuenta sus valores ecológicos, geológicos, climáticos recreativos, paisajísticos. Si bien es cierto que principalmente se basa en la vegetación, claramente se puede observar por su completo catálogo florístico, también comprende un análisis del régimen fluvial del río Ebro, en el que se estudia la evolución histórica del cauce en la zona.

Resulta interesante mencionar otro estudio que se realizó a principios de la década de los 90, el cual es vital para comprender la zona y está bastante relacionado con este trabajo. Es la tesis doctoral de Alfredo Ollero Ojeda “*Los meandros libres del río Ebro (Logroño-La Zaida): Geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgo*” del año 1992. En dicha tesis se recoge gran información acerca de las alteraciones geomorfológicas del tramo del Valle Medio del Ebro y su dinámica fluvial. También recoge un catálogo y cartografía bastante detallado de las motas y defensas que se pueden encontrar a lo largo del tramo de la zona de estudio. Un año después en 1993 publicaría “*Los elementos geomorfológicos del cauce en el Ebro de meandros libres y su colonización vegetal*” en dónde se describen los elementos geomorfológicos más significativos del cauce y la llanura de inundación y se analiza la instalación de bosques ribereños y sotos de la zona.

En el año 2002, Atauri Mezquida, J. A. y De Lucio Fernández, J. V. publicaron “*Modelo de seguimiento ecológico en Espacios Naturales Protegidos. Aplicación a la Reserva Natural de los Galachos del La Alfranca de Pastriz, La Cartuga y El Burgo de Ebro*” donde se hace un acercamiento a elementos tales como la dinámica fluvial y las defensas, la calidad del agua, la colmatación de los galachos, las poblaciones de flora y fauna, los tipos de cultivo, la demografía, la actividad económica, etc., y a partir de ello se proponen medidas de gestión.

En el año 2003 Joaquín Guerrero Campo y Miguel Ángel Muñoz Yanguas realizaron el artículo “*La gestión en la Reserva Natural de los Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro*” en el se habla sobre la creación de los galachos y la flora y fauna que podemos encontrar en ellos, junto a la dificultad que alberga la gestión de un espacio como este que está tan cerca de una gran ciudad como es Zaragoza y los retos futuros y filosofía que debería seguir la Reserva.

Otra publicación de interés para nuestra zona de estudio fue la realizada en el año 2006 por Alfredo Ollero Ojeda, Daniel Ballarín Ferrer y Daniel Mora Mur “Cambios en el cauce y el llano de inundación del río Ebro (Aragón) en los últimos 80 años”. En esta publicación se analizan los cambios que ha sufrido el trazado del cauce y el llano de inundación en el curso medio del río Ebro en Zaragoza desde 1927 hasta 2006 aproximadamente. Es un documento muy interesante para conocer la dinámica fluvial que ha seguido el río Ebro en la zona.

José Garrido Palacios publicó “*Los Galachos del Ebro. Análisis y propuestas de restauración en la Ribera Alta*” en el 2007. En el se propone recuperar los galachos existentes y establecer distintos itinerarios para darlos a conocer y potenciar la actividad

cultural de la comarca. El libro aporta una justificación del fenómeno de formación de los galachos y sirve de documento de trabajo para el área de Gestión Medioambiental de la CHE.

Finalmente tenemos la “*Memoria de gestión de la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro*” del año 2015, que ha sido elaborada por la Unidad de Conservación del Medio Natural del Servicio Provincial de Zaragoza. Documento muy completo con todo tipos de datos acerca de la Reserva Natural.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo principal**

El objetivo principal de este trabajo de prácticas, será el de analizar si actualmente las defensas de ciertas zonas de la Reserva Natural Dirigida están cumpliendo su cometido o no, y si sería viable eliminarlas para así recuperar la dinámica natural de la Reserva, en el caso de que no estén cumpliendo su función.

#### **1.3.2. Objetivos secundarios**

Para poder alcanzar dicho objetivo principal, en primer lugar deberemos realizar unos objetivos secundarios:

- Diferenciar las zonas públicas y privadas de la reserva, mediante la digitalización del territorio, que nos ayudará también a saber que zonas serían más fáciles de modificar a la hora de una posible naturalización.
- Digitalizar las defensas que podemos encontrar en los márgenes del río Ebro a lo largo de toda la Reserva.
- Realizar una catalogación de dichas motas.
- Levar a cabo una simulación de inundación para el estado actual de la zona con diferentes caudales, que serán los correspondientes a los diferentes periodos de retorno.
- Realizar otra simulación con los mismos caudales que en el caso anterior, pero esta vez tras haber eliminado una serie de defensas.

- Analizar el cambio en el comportamiento de las inundaciones comparando ambos casos con y sin defensas.
- Obtención de unas conclusiones finales.

#### **1.4. Metodología aplicada**

En primer lugar se reunió la información que sería útil para la elaboración del trabajo, dicha recopilación de información se ha llevado a cabo mediante la recopilación bibliográfica y algunas salidas de campo a la Reserva.

En segundo lugar se ha pasado a tratar la información anteriormente recopilada, se ha realizado principalmente mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y algún que otro programa, en los cuales me he apoyado para la realización del análisis mediante la digitalización y la obtención de los resultados tras tener todo el análisis realizado. Para después poder elaborar la memoria final que da como resultado este trabajo.

Tabla 1. Tiempo dedicado a cada tarea de las prácticas

Parte del trabajo	Tarea realizada	Porcentaje de la tarea	Porcentaje del total de las prácticas
Parcelario	Recopilación bibliográfica	10	40
	Distribución parcelaria	20	
	Digitalización	40	
	Elaboración cartográfica	20	
	Campo	10	
Defensas y Simulación	Recopilación bibliográfica	10	60
	Digitalización	20	
	Simulación	40	
	Elaboración cartográfica	20	
	Campo	10	

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo tiene como área de estudio La Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro que ocupa una superficie total protegida de 1.536,70 ha y la Zona Periférica de Protección cuenta con otras 1.563,80 ha. Mientras que el Área de Influencia Socioeconómica cuenta con 149.711,80 ha incluyendo el término municipal de Zaragoza completo. La Reserva está situada en la zona Nororiental de la Península Ibérica, dentro de la Depresión del Ebro, en tramo medio del valle del Ebro, a una altitud que oscila entre los 180 y 260 msnm y a aproximadamente 11 km aguas abajo de la ciudad de Zaragoza. La Reserva Natural se encuentra entre los términos municipales de Alfajarín, El Burgo de Ebro, Fuentes de Ebro, Nuez de Ebro, Osera, Pastriz, La Puebla de Alfindén, Villafranca de Ebro y el barrio de la Cartuja de Zaragoza.



Figura 1: Mapa de localización. Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón.

Elaboración propia

Dentro del área de estudio podemos encontrar La Reserva Natural Dirigida de los Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro. Este espacio se creó con el fin de ayudar en la conservación de la dinámica del río y sus ecosistemas junto a las especies que albergan. Cuenta con una extensión de aproximadamente 801 ha y está

comprendida por los términos municipales de Zaragoza, Pastriz, El Burgo de Ebro, Osera, Fuentes de Ebro, Nuez de Ebro y Aljafarín.

Nos encontramos en una zona de terrazas aluviales, compuestas por cantos poligénicos y una predominancia de materiales calcáreos y silíceos. Debido a las bajas pendientes y a la uniformidad y falta de consolidación del sustrato, junto a las crecidas, el Ebro discurre por la zona con un carácter divagante y sinuoso que propicia la formación de meandros espectaculares, los cuales una vez abandonados, pasan a ser lo que en Aragón se conoce como galachos.

El área de estudio se caracteriza por un clima mediterráneo templado con temperaturas medias anuales de entorno a los 15°C. Hay grandes contrastes térmicos entre el verano y el invierno, las temperaturas medias en invierno apenas superan los 11°C, mientras que en verano superan los 30°C. Las precipitaciones son irregulares y escasas con una media anual que está comprendida entre los 250 y 350 mm anuales, registrándose los máximos en los meses de primavera, principalmente mayo, mientras que en los meses de otoño las precipitaciones tienen un carácter torrencial, factor a tener en cuenta por sus posibles afecciones negativas sobre el medio. Los vientos son fuertes y frecuentes de componente dominante NW-SE

El territorio se caracteriza por ser una amplia llanura, el origen de esta depresión data del terciario, tras el alzamiento de las cordilleras Pirenaica por el norte de la cuenca y la Ibérica al sur. Al este encontramos la Costero-Catalana, la escasez de precipitaciones y los contrastes tan altos de temperatura están influenciados por el efecto foehn.

El régimen hidrológico del Ebro medio es pluvio-nival con un claro máximo de aportación hídrica en febrero y estiaje estival (un mínimo en agosto). La influencia pluvial oceánica produce los notables caudales invernales. Hay una disimetría en las curvas de ascenso y descenso, de manera que las aguas altas se prolongan en primavera y las bajas en otoño (Ollero, 1992). Las crecidas son predominantemente invernales y con una elevada frecuencia de casi dos por año. De diciembre a mayo los caudales son superiores a la media anual y de junio a noviembre inferiores, siendo noviembre y mayo los meses que más se aproximan al módulo anual (Ollero, Ballarín y Mora, 2006). El caudal medio del río Ebro según SAIH para el año 2016 a su paso por Zaragoza fue de aproximadamente 220 m<sup>3</sup>/s, mientras que el caudal de venida ordinaria se ve establecido en los 1984, 63 m<sup>3</sup>/s asociado a un periodo de retorno de 2,5 años.

A la hora de realizar el análisis de este trabajo se pueden diferenciar dos zonas muy claramente dentro de la Reserva Natural. El primer tramo sería el occidental, que

comenzaría a la altura del Soto de Torre Urzaiz y terminaría aproximadamente en el límite final del Soto de Nuez de Ebro. En este tramo se encuentra la Reserva Natural Dirigida de los Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro, el cual fue el primer tramo en protegerse que posteriormente se ampliaría tanto aguas arriba como aguas abajo. En esta zona se encuentran los galachos a cuyo nombre hace referencia la Reserva, debiéndose una mención especial al de La Alfranca por la gran biodiversidad que le caracteriza.

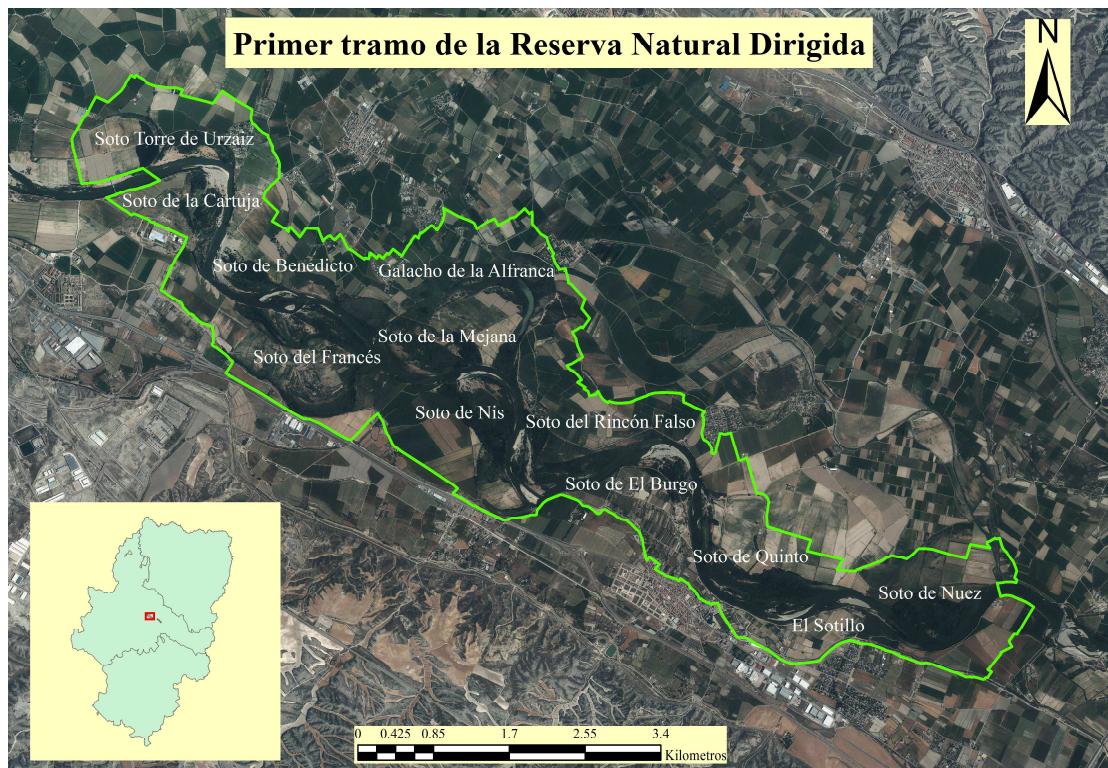


Figura 2: Primer tramo de la RND. Fuente: IDEAragón.

Elaboración propia

Sotos que podemos encontrar en la zona:

- Soto Torre Urzaiz
- Soto de La Cartuja
- Soto de Benedicto
- Soto de El Francés
- Soto de La Mejana
- Soto de Nis

- Soto del Rincón Falso
- Soto El Burgo
- Soto de Quinto
- El Sotillo
- Soto de Nuez de Ebro

El segundo tramo sería el oriental, tramo que empieza aproximadamente a la altura del Soto de la Mejana del Marqués, en esta zona cabe destacar el galacho de Osera. Esta zona fue una ampliación que se realizó a posteriori y que se encuentra aguas abajo de lo que un día fue la Reserva original y que está separada de la misma, en los términos municipales de Fuentes de Ebro, Osera y Villafranca de Ebro.



Figura 3: Segundo tramo de la RND. Fuente: IDEAragón.

Elaboración propia

Sotos que podemos encontrar en la zona:

- Soto de la Mejana del Marqués (Francés)
- Soto Mejana de la Sorolla

- Soto de Villafranca
- Mejana de las Viudas y Soto de Osera
- Soto de Aguilar

### **3. TIPO DE PROPIEDAD**

#### **3.1. Metodología**

La recopilación de la información necesaria para esta parte se realizó mediante el apoyo en proyectos de tipo de propiedad que fueron realizados con anterioridad sobre la zona de la Reserva Natural dirigida, del mismo modo mediante la consulta de datos catastrales en la sede electrónica del catastro y el visor de información urbanística de Aragón (<http://idearagon.aragon.es/visorSIUa/>).

Para la realización de la cartografía se ha empleado el Sistema de información Geográfica ArcGIS con su extensión ArcMap, la cual nos permitirá crear y manipular la información geográfica de la que disponemos. Como fondo o mapa base se ha empleado la ortofoto PNOA del año 2015 correspondiente a la Hoja de El Burgo de Ebro. (PNOA\_MA\_OF\_ETRS89\_HU30\_h50\_0384.ecw) que ha sido adquirida del centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica.

En primer lugar se descargó de IDEAragón la capa que contiene la información geográfica sobre los Espacios Naturales Protegidos de Aragón y se cargó en un nuevo proyecto de ArcMap (ENPZonificación). Posteriormente se abrió la tabla de atributos de dicha capa y se seleccionaron las áreas correspondientes a la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro y del mismo modo la Zona Periférica de Protección de la misma. Una vez seleccionadas dichas áreas se procedió a exportarlas como una nueva capa, para ello pulsamos botón derecho sobre la capa, “Data”, “Export Data” y se exportan únicamente los elementos seleccionados y mediante esta herramienta se crea una nueva capa que contiene únicamente los Espacio Protegidos que necesitamos. Una vez se dispone de esta capa, interesa quedarse únicamente con la zona periférica, que será la capa que se utilizará, para posteriormente realizar la digitalización de los distintos tipos de propiedad. Para ello mediante la herramienta de geoprocесamiento (Geoprocessing) “Dissolve”, para poder disolver todos los polígonos de la capa y así lograr tener un único polígono, una vez se dispone del polígono en “Arc Toolbox” y mediante la opción “Data Management Tools”, “Features” y se emplea la herramienta

“Feature to Line”, para convertir el polígono en una línea, obteniendo únicamente una capa con la Zona Periférica. Ya con la zona perfectamente delimitada, se procede a digitalizar, para ello se emplea la información recopilada y siempre comenzando de aguas arriba a aguas abajo, comenzando por el primer tramo o zona de la Reserva. Se procede a crear una nueva capa de polígono, que será en la cual se implementará el tipo de propiedad, desde el catalogo (catalog) y en la carpeta de trabajo le se pulsará botón derecho “New”, “Shapefile” y le se le dirá que sea tipo polígono (Polygon) y establecemos nuestro sistema de coordenadas ETRS89 UTM Zona 30N. Después se procede a editar esta nueva capa, botón derecho sobre la misma “Edit Features”, “Start Editing” y ya se puede empezar a digitalizar la zona por tipo de propiedad privada o pública. Se activa la extensión de “Snapping”, para que sea mucho más sencillo a la hora de realizar los polígonos y ajustarse a los límites de la capa de la Zona Periférica. Una vez terminada la digitalización de toda la reserva, hay que identificar de alguna forma el tipo de propiedad en la capa. Se debe crear dos nuevos campos en la tabla de atributos, botón derecho en la capa “Open Attribute Table”, “Table Opcions”, “Add Field”, se le dice que sea texto (text) al primero y flotante (float) al segundo, una vez creados los campos simplemente se introduce el tipo correspondiente ya sea privado o público en cada uno de los polígonos en el primer caso, de esta forma estarán bien identificados para seguir trabajando con ellos. En el segundo campo se calcula el área, para ello se pulsa botón derecho sobre el campo, “Calculate Geometry” y se especifica que sea Área y que la unidad métrica sea en Hectáreas. Ahora hay que pasar a unir los polígonos, de forma que únicamente queden dos zonas diferenciadas, para ello se volverá a utilizar el geoprocесamiento “Dissolve”, y la capa resultante será la del tipo de propiedad para toda la Reserva y su Zona Periférica.

Por otra parte también se consideró interesante realizar un mapa con el tipo de cultivo de cada zona dentro de la Reserva Natural y la Zona Periférica. Para ello en primer lugar desde IDEAragón se descargaron las capas de catastro para cada uno de los municipios que comprenden el espacio de la Reserva (El Burgo de Ebro, La Puebla de Alfidén, Pastriz, Zaragoza, Alfajarín, Fuentes de Ebro, Nuez de Ebro, Osera y Villafranca de Ebro). Se cargaron todas las capas en ArcMap y se procedió a fusionar las diferentes capas en una única capa, mediante la herramienta de geoprocесamiento (Geoprocessing) “Meger”, tras lo cual se obtuvo la capa que contenía todos los términos municipales en una única capa, para después recortarla mediante la herramienta de geoprocесamiento “Clip” y recortar la capa según el área de trabajo. Con dicho proceso

se consigue una capa para el área de estudio con los diferentes datos respecto a los tipos de cultivo que hay en cada zona. Posteriormente se categorizó la capa según el tipo de cultivo, para ello se pulsa botón derecho sobre la capa y dentro de propiedades (properties), simbología (symbolology), y dentro de categorías se selecciona valor único y se elige el campo “USO\_SIGPAC” de la tabla de atributos, posteriormente “Add All Values” para que se añadan todos los valores y en la columna de etiquetas (label), se especifica el tipo de uso correspondiente según la Tabla de Usos y Descripción de Agrupación de Usos (SIGPAC) y se pulsa el botón aceptar para cargar los cambios realizados en la capa. Para finalizar únicamente se debe cambiar el color de cada tipo de usos del suelo según el criterio de conveniencia, para que sean más fáciles de distinguir visualmente en el mapa.

### 3.2. Resultados

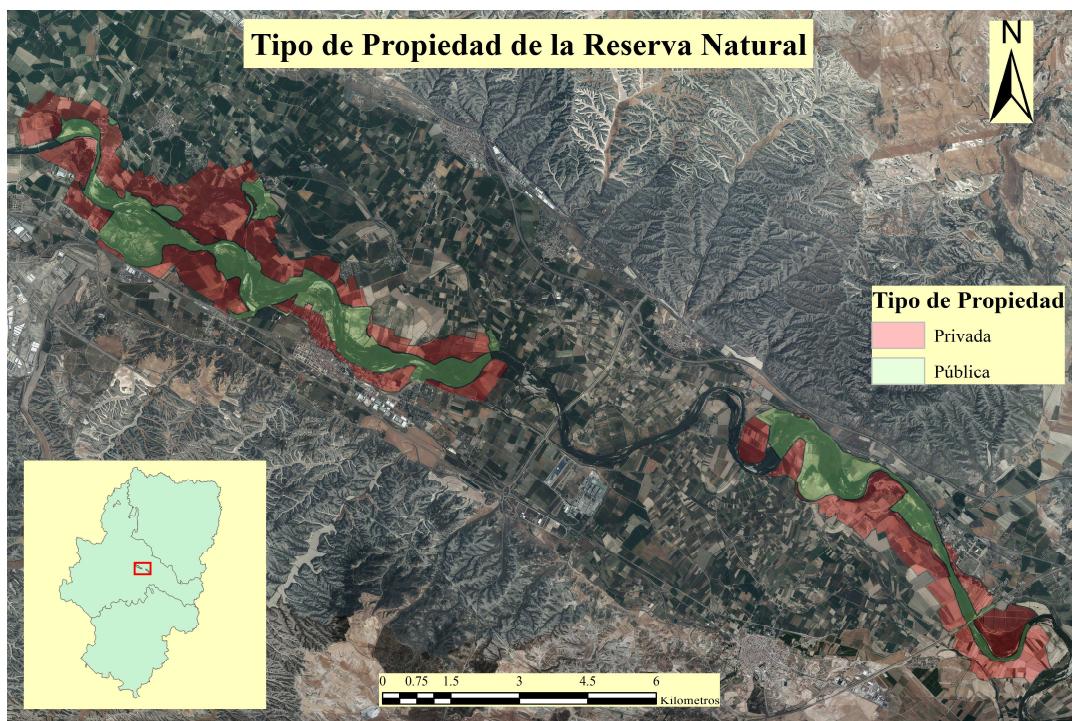


Figura 4: Mapa tipo de propiedad de la RND. Fuente: IDEAragón.

Elaboración propia

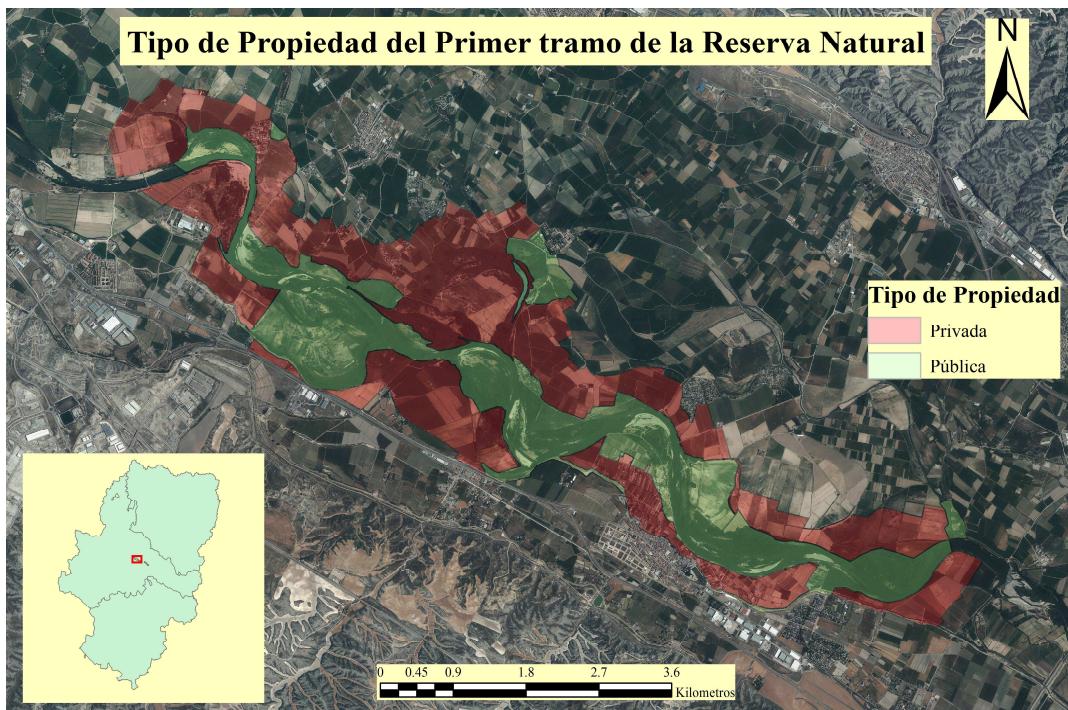


Figura 5: Mapa tipo de propiedad primer tramo de la RND. Fuente: IDEAragón.

Elaboración propia

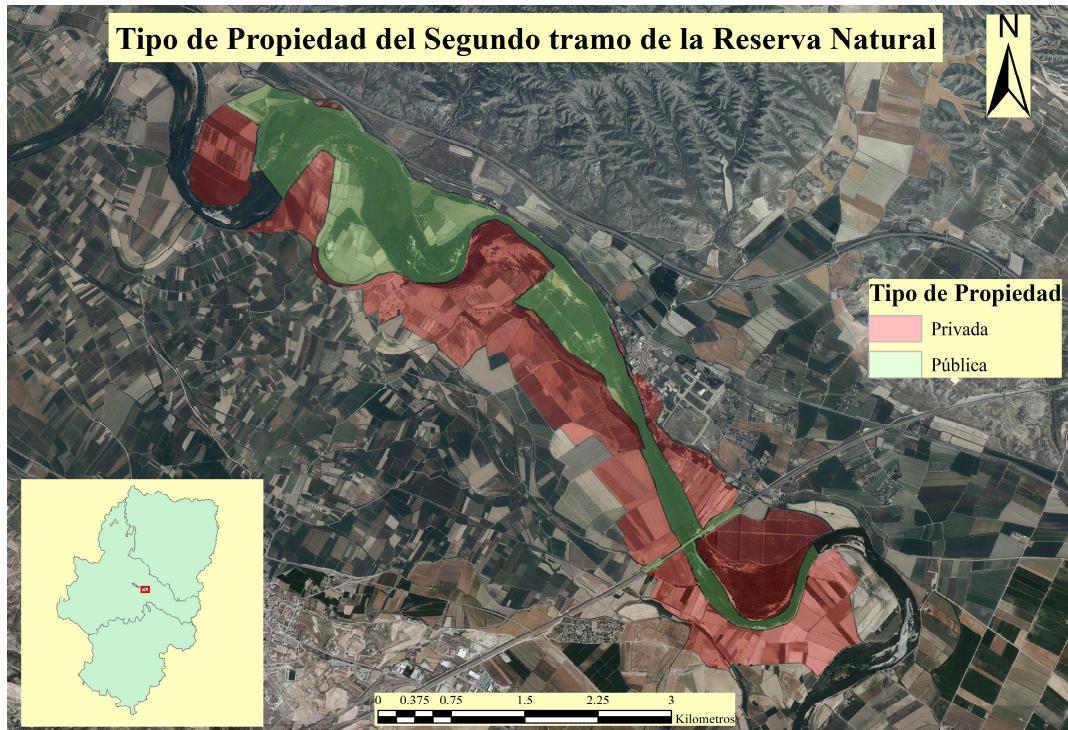


Figura 6: Mapa tipo de propiedad segundo tramo de la RND. Fuente: IDEAragón.

Elaboración propia

A continuación se comentarán los resultados obtenidos a partir de la metodología anterior. En primer lugar nos encontramos con el mapa resultante del tipo de propiedad

(Figura 4), en el se pueden distinguir las zonas de propiedad privada en color rojo, de las zonas de propiedad pública en verde. La extensión total de la Reserva Natural es de aproximadamente 3100,5 ha de las cuales un total de 1893,12 son de propiedad privada y 1207,34 son de propiedad pública. Si pasamos a analizar por tramos, en el primer tramo el cual es el más extenso de la Reserva Natural (Figura 5) hay un total de 1228,8 ha de propiedad privada, mientras que la propiedad pública ocupa una extensión total de 801,25 ha. En el segundo tramo (Figura 6) la propiedad privada cuenta con una extensión total de 665,16 ha y la pública 406,05 ha. En ambos casos se puede observar que la mayor parte de propiedad pública corresponde a áreas fluviales y forestales y la privada a zonas de cultivo.

Tabla 2 Distribución de los usos del suelo según tipo de propiedad y extensión:

<b>Uso del Suelo</b>	<b>Tipo Propiedad</b>	<b>Ha (Hectáreas)</b>	<b>Total Ha</b>
Corrientes y superficies de agua	Privada	26.04	369.96
	Pública	343.92	
Viales	Privada	50.23	88.49
	Pública	38.26	
Edificaciones	Privada	0.28	0.29
	Pública	0.0063	
Forestal	Privada	99.65	272.88
	Pública	173.24	
Frutos secos	Privada	0.31	0.31
	Pública	0	
Frutales	Privada	131.44	133.10
	Pública	1.66	
Improductivos	Privada	50.32	62.66
	Pública	12.34	
Pasto con arbolado	Privada	14.95	128.55
	Pública	113.6	
Pasto arbustivo	Privada	214.46	407.66
	Pública	193.2	
Pastizal	Privada	14.87	64.22
	Pública	49.35	
Tierras arables	Privada	1278.64	1558.75
	Pública	280.11	
Huerta	Privada	0.37	0.37
	Pública	0	
Viñedo	Privada	0.29	0.29

	Pública	0	
Zona urbana	Privada	11.27	12.93
	Pública	1.65	
Total	Privada	1893.12	3100.46
	Pública	1207.34	

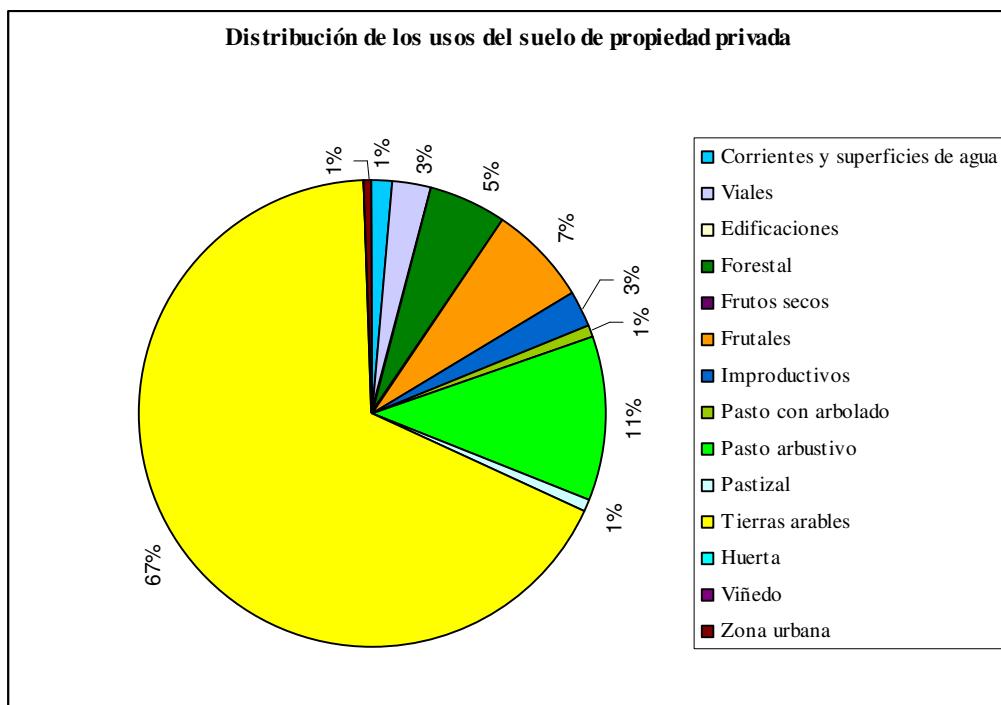


Gráfico 1. Distribución usos del suelo privados. Elaboración propia.

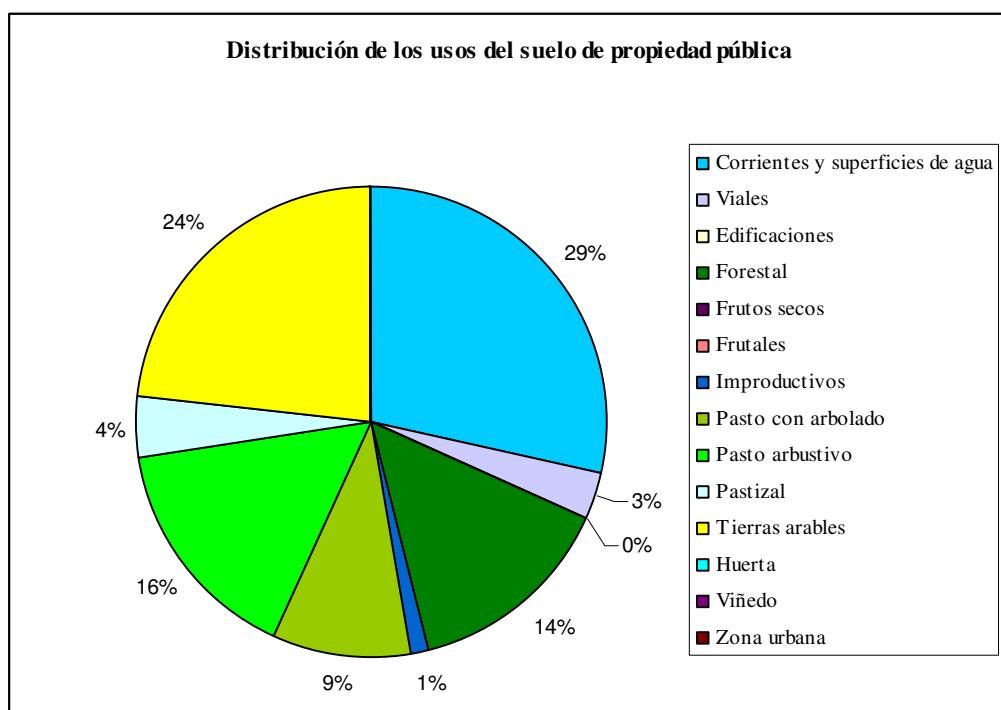


Gráfico 2. Distribución usos del suelo públicos. Elaboración propia.

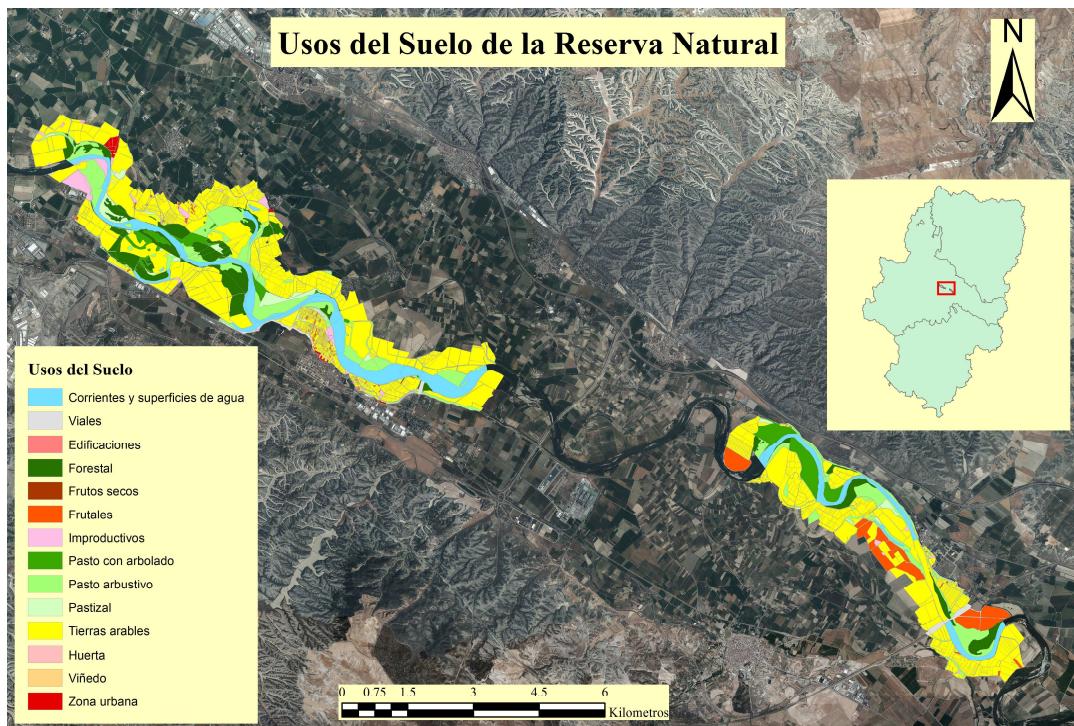


Figura 7: Mapa usos del suelo de la RND. Fuente: IDEAragón.

Elaboración propia

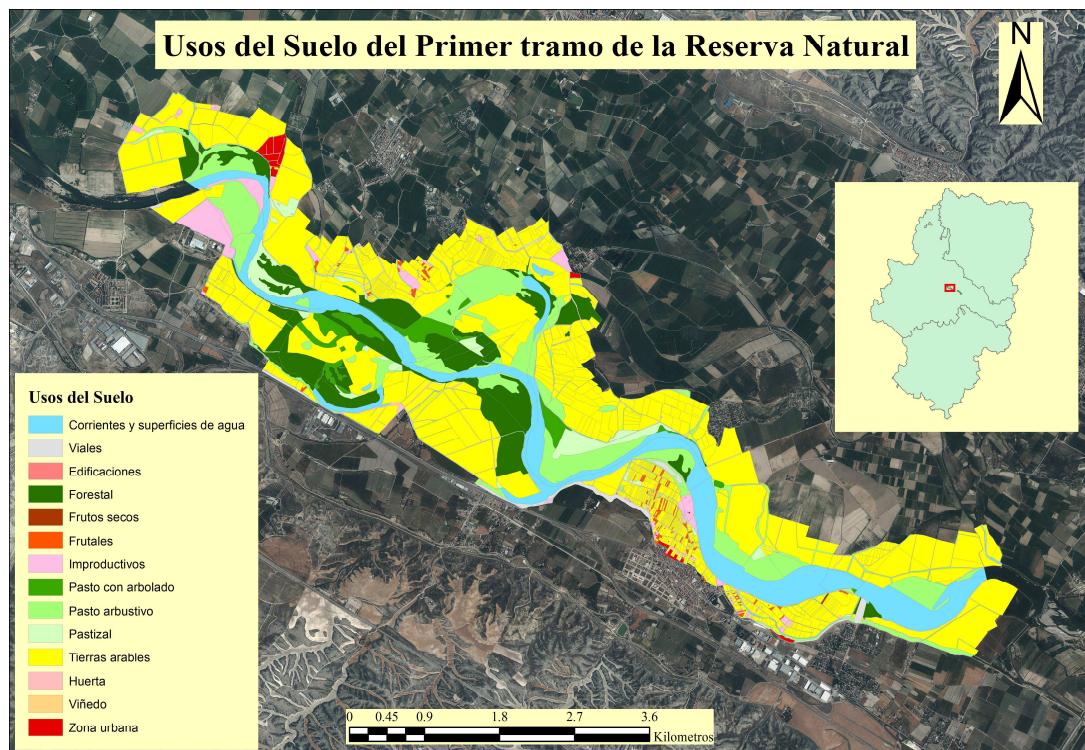


Figura 8: Mapa usos del suelo primer tramo de la RND. Fuente: IDEAragón.

Elaboración propia

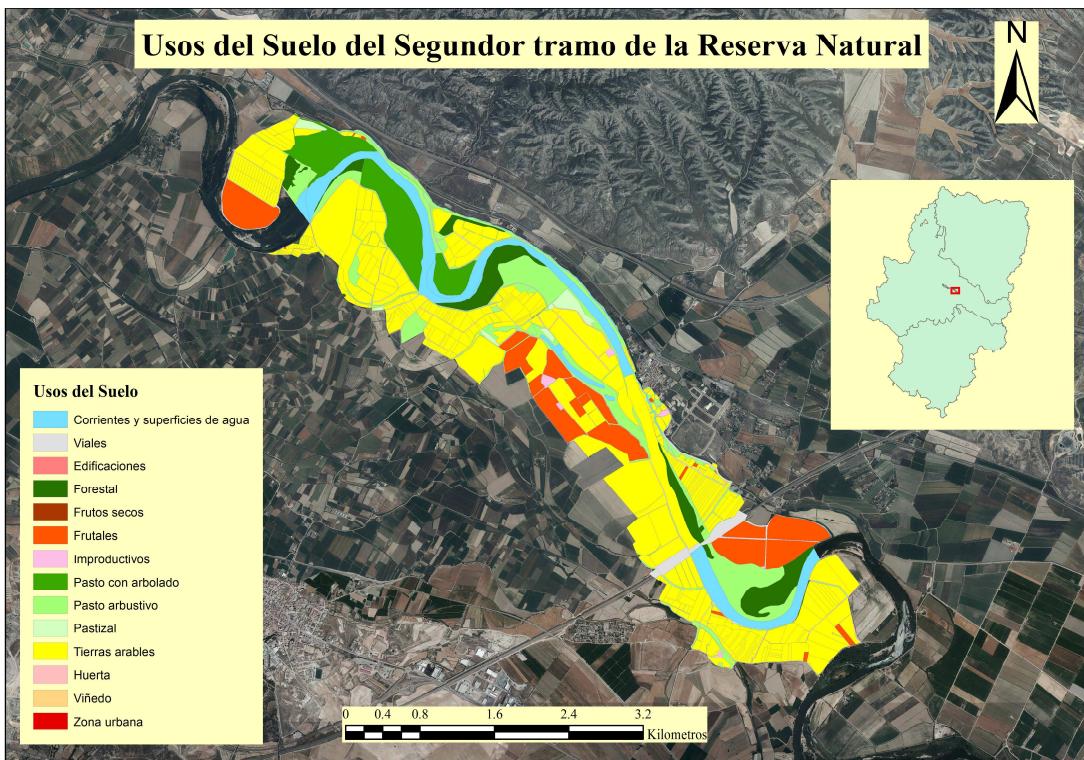


Figura 9: Mapa usos del suelo segundo tramo de la RND. Fuente: IDEAragón.

Elaboración propia

En las figuras 7, 8 y 9, se observa la distribución de los distintos tipos de usos del suelo que se pueden encontrar dentro del área de estudio. La tabla 3 es complementaria a esas figuras y nos ayudará a analizarlas más fácilmente. A primera vista se puede apreciar claramente con un color amarillo que el tipo de uso del suelo predominante corresponde a las tierras arables con una extensión de prácticamente la mitad del total Reserva 1558,75 ha de las cuales 1278,64 ha son de propiedad privada y solamente 280,11 ha públicas. En segundo lugar se encuentran los pastos arbustivos con un color verde pistacho, en esta categoría aún sigue habiendo un predominio de la propiedad privada 214,46 ha, frente a la pública 193,2 ha. En un color verde oscuro se encuentran las zonas forestales 272,88 ha y en color azul las zonas de aguas superficiales 369,96 ha, en ambos casos predomina la propiedad pública con una presencia de 173,24 en las zonas forestales y 343,92 ha en las zonas de aguas superficiales.

Tabla 3: Tipo de Propiedad de las zonas de la Reserva:

Zona	Privada (ha)	Pública (ha)
Reserva Natural Dirigida	549,32	987,15
Zona Periférica	1343,8	220,22
Total	1893,12	1207,34

Si se entra a analizar únicamente La Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro sin la Zona Periférica, se cuenta con un total de 1536,47 ha de las cuales 987,15 son de propiedad pública y 549,32 de propiedad privada. Para poder llevar a cabo una mejor gestión de la Reserva, lo idóneo sería poder adquirir la zonas privadas y de esta forma que el 100% de la extensión pase a ser pública de manera que las actuaciones se lleven a cabo globalmente y mucho más eficazmente. La gran mayoría de los terrenos que se deberían adquirir actualmente están destinados a usos agrarios de cultivo.

Hay que tener en cuenta que el cultivo principal de la zona es el cereal, tras consultar datos de agricultura en el informe de Datos Básicos de Aragón 2015 del Instituto Aragonés de Estadística. Se han consultado también los precios medios anuales de la tierra de uso agrario, centrándonos en los cultivos de cereal en los distintos municipios del área de estudio, en el informe de “Valores de referencia, en euros por hectárea, de las fincas rústicas, por municipios. CA de Aragón. Año 2015” del Gobierno de Aragón. Se ha hecho una media de dichos precios y sale un valor aproximado de 2150 euros/ha para los cultivos de secano. Si se multiplica dicho valor por el número de hectáreas que deberían de comprarse para que La Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro pase a ser únicamente de propiedad pública sale un coste total de inversión de aproximadamente 1.181.038 euros.

## 4. DEFENSAS Y SIMULACIÓN

### 4.1. Defensas

#### 4.1.1. Metodología

Para la digitalización de las defensas se empleó únicamente el programa ArcGIS y su extensión ArcMap. Como base para llevar a cabo el trabajo se trabajó con la ortofoto PNOA del año 2015 correspondiente a la Hoja de El Burgo de Ebro. (PNOA\_MA\_OF\_ETRS89\_HU30\_h50\_0384.ecw) que ya ha sido mencionada con anterioridad. También se emplearon unas hojas cartográficas proporcionadas por el tutor Alfredo Ollero Ojeda de su Tesis Doctoral, donde aparecen señalizadas las motas de la zona de estudio, y también unas hojas cartográficas de la Confederación Hidrográfica del Ebro que actualizan y complementan la información generada por Alfredo Ollero Ojeda.

Con el fin de llevar a cabo más fácilmente la localización de las motas se procedió a georreferenciar la cartografía de la que se disponía, para ello en primer lugar hubo que seleccionar una serie de puntos que fuesen distinguibles tanto en la cartografía como en la ortofoto. En total hubo que georreferenciar un total de cuatro hojas (13, 14, 15 y 16) de la serie cartográfica del Estudio de las riveras del río Ebro, análisis de su evolución y plan de actuaciones para la recuperación ambiental, y para cada una de ella se establecieron 8 puntos de control. En primer lugar se deben agregar los puntos, para ello se crea un nuevo “shapefile”, dentro de la pestaña del Catalogo se le da botón derecho “New”, “Shapefile” y le se le dice que sea del tipo punto. Una vez creada se activa el modo edición y se añade cada punto en la zona elegida y se guarda la edición, dentro de la tabla de atributos y se crean dos nuevos campos para las coordenadas X e Y “Add Field” de tipo “Long Integer”, después botón derecho en cada uno de los nuevos campos “Calculate Geometry”, “X Coordinate of Point” y “Y Coordinate of Point” y se especifica que la unidad sea en metros. Ya con el cálculo de las coordenadas realizado, se cargan las imágenes con la información cartográfica y con la herramienta “georeferencing”, “add control points” se hace clic en el lugar donde se quiere introducir el punto de control y fuera de la imagen clic derecho “Input X and Y” se abre una pestaña donde pide que se introduzcan los valores de X e Y, que en este caso son las calculadas anteriormente en la tabla de atributos, tras realizar ese proceso para todos los puntos ya estarán georreferenciadas todas las imágenes.

Ahora hay que comenzar con la digitalización, para que sea más fácil dentro de las propiedades de las capas de las imágenes en “display” se le otorga una trasparencia del 60%, de forma que se pueda ver también la ortofoto que se emplea de base. Se inicia con la digitalización de las defensas, creando una nueva capa desde el catálogo de tipo “Polygon” y la edición de dicha capa, para digitalizar las motas. En la tabla de atributos

se crea un nuevo campo, en el que posteriormente se numerarán las motas, para poder identificarlas y realizar una tabla a posteriori en la cual se incluya la información disponible para cada una de ellas. La capa resultante será la que se emplee posteriormente en la simulación.

#### 4.1.2. Resultados



Figura 10. Mapa de defensas de la RND.

Elaboración propia



Figura 11. Mapa de defensas del primer tramo de la RND.

Elaboración propia



Figura 12. Mapa de defensas del segundo tramo de la RND.

Elaboración propia

Tabla 4: Catalogación de las defensas de la RND.

Nº	Término Municipal	Longitud (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Margen	Material
1	Zaragoza	1.850	1.5	9	Derecha	Dique de tierra
2	Pastriz	350	2.5	3	Izquiera	Dique de tierra y gravas compactadas
3	Zaragoza	1.600	5	3	Derecha	Tierra Compacatada
4	Pastriz	1.300	2.5	4	Izquierda	Vertido de Escombros
5	Zaragoza	900	-	-	Derecha	Vertido de Escombros
6	Pastriz	300	2	2	Izquierda	Dique de tierra
7	Pastriz	700	-	-	Izquierda	Dique de tierra
8	Pastriz	550	2	2	Izquierda	Muro de Hormigón
9	Pastriz	5.500	2	4	Izquierda	Dique de tierra y escollera
10	El Burgo de Ebro	700	2	2.5	Derecha	Dique de tierra y gravas
11	El Burgo de Ebro	200	2	2	Derecha	Escollera
12	El Burgo de Ebro	4.300	2	3	Derecha	Dique de tierra
13	El Burgo de Ebro	1.300	4	3	Izquierda	Dique de tierra
14	Aljafarín	2.800	2	3	Izquierda	Dique de tierra
15	Aljafarín	400	-	-	Izquierda	Escollera
16	El Burgo de Ebro	4.050	1.5	2	Derecha	Dique de tierra
17	Nuez	1.600	-	-	Izquierda	Muro de Hormigón
18	Nuez	650	5	2	Izquierda	Camino recrecido
19	Villafranca de Ebro	8.500	2.5	4	Izquierda	Dique de tierra
20	Fuentes	3.000	-	-	Derecha	Dique de tierra
21	Fuentes	100	-	-	Derecha	Escollera
22	Osera	13.400	2.5	3.5	Derecha	Dique de Tierra
23	Villafranca de Ebro	150	-	-	Izquierda	Escollera de escombros y gravas
24	Osera	750	-	-	Izquierda	Dique de Tierra
25	Osera	50	1.5	2	Derecha	Muro Hormigon
26	Osera	2.550	2.5	4	Izquierda	Dique de Tierra
27	Osera	200	1.5	2	Izquierda	Escollera
28	Osera	1.700	-	-	Izquierda	Dique de tierra
29	Osera	1.050	-	-	Izquierda	Dique de tierra y escollera
30	Osera	500	-	-	Izquierda	Escollera

## 4.2. Simulación

### 4.2.1. Metodología

#### 4.2.1.1. HEC-RAS

En primer lugar se tuvo que descargar tanto el programa HEC-RAS 5.0.3, como su extensión HEC-GeoRAS para ArcMap 10.3.1, que fueron los programas elegidos para llevar a cabo la simulación de inundación del área de estudio, junto a ArcMap 10.3.1.

Una vez descargados y tras llevar a cabo su instalación dio comienzo el proceso de simulación que a continuación detallaré paso a paso.

Tras ejecutar y abrir un nuevo proyecto en ArcMap, se establece el sistema de coordenadas a trabajar en nuestro caso ETRS89 UTM Zona 30 N y en la pestaña “Customize”, “Toolbars” se carga la de HEC-GeoRAS. En primer lugar se necesita crear un TIN, para ellos se deberán cargar las capas de curvas de nivel que han sido descargadas de IDEAragón, y mediante la herramienta de geoprocесamiento “Merge” se fusionan ambas capas de curvas de nivel en una única, para después con la herramienta “Clip” recortar dicha capa según el área de estudio, así obtener una capa de curvas de nivel con la que se trabajará. Ahora se procede a la elaboración del TIN, en “ArcToolbox”, “3D Analyst Tools”, “Data Management”, “TIN”, “Create TIN”, se selecciona como capa de entrada las curvas de nivel, “soft lines” y a continuación se crea un nuevo TIN de la zona de estudio. Se carga una capa que contiene el cauce principal del río Ebro a su paso por la zona que previamente ya se ha descargado de IDEAragón (Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón), utilizando dicha capa se crea una nueva capa de línea y se procede a su edición para crear la zona central de dicho cauce para toda el área de estudio. Ahora se procede a empezar a utilizar la extensión HEC-GeoRAS en “RAS Geometry”, “Create RAS Layer”, “Stream Centerline” que sería el eje del río, se crea una nueva capa llamada River. Se debe editar dicha capa, para dibujar la línea central del Ebro, para ello es necesario apoyarse en la capa que se ha creado anteriormente que contiene el transcurso del río Ebro y dibujar sobre ella, se guarda la edición y se elimina la capa del Ebro de la cual se disponía de antes. Una vez digitalizado, se tiene que dar una identificación al tramo, en la opción “ID” y se selecciona el eje, nombrándolo como Ebro y un 1 como identificador. Después se crean los “Bank lines” que serán las márgenes derecha e izquierda, se crea una nueva capa llamada Banks y que habrá que editar nuevamente para digitalizar las márgenes, una vez realizado eso, se crean los “Flow PathCenterlines” se edita la capa para poder digitalizala, será la capa que mostrará la dirección del cauce del río, también se le deberá dar una identificación para saber que margen son. Todas estas capas hay que digitalizarlas de aguas arriba a aguas abajo, siguiendo el curso del río. Queda por añadir los “XS Cut Lines” que serán las secciones que corten el río cada cierta distancia elegida y siempre del margen derecho al izquierdo y de aguas arriba a aguas abajo, este proceso de puede hacer tanto automática como manualmente, en este caso tras varias pruebas se ha decidido que es más conveniente hacerlo de forma automática

estableciendo una distancia estándar de 200 metros entre sección y una distancia de 500 metros de izquierda a derecha. Una vez se han creado se hace zoom en la capa para asegurarse de que ninguna de las secciones se cruce entre si y que tampoco crucen una misma línea dos veces, a menudo hay alguna sección que se cruza o se superpone con otra, para modificarlo botón derecho sobre la capa “edit”, “star editing” y se modifican los errores de la capa XSCutlines. Tras tener creadas todas las capas necesarias, hay que añadir la información de la topología, las elevaciones y las longitudes, se puede hacer individualmente o en conjunto, en este caso se hace conjuntamente. Para ello dentro de “RAS Geometry” en la herramienta “Stream Centerline Attributes” y se le dice que añada todos “All”, lo mismo con “XS Cutline Attributes” y nuevamente que añada todos. Se crearán dos nuevas capas que serán las que contengan los datos de topología y elevaciones del cauce del Ebro y de las secciones transversales. Por último habrá que exportar los datos generados, para ello en “RAS Geometry”, “Export RAS Data” este archivo tendrá la información que se ha generado en ArcMap y posteriormente se trabajará con ella en HEC-RAS.

A continuación se explica el proceso que se ha seguido para el tratamiento de la información en el programa HEC-RAS y llevar a cabo la simulación hidráulica. En primer lugar se ejecuta el HEC-RAS 5.0.3, lo primero que se deberá hacer será guardar el archivo, “File” y clic en “Save Project as”. Ahora se importa el archivo que se ha generado en ArcMap, para ello en la pestaña que dice “Edit/Enter Geometry Data”, se abre una nueva ventana donde se puede visualizar las secciones transversales, para ello, clic en la pestaña “File”, “Import Geometry Data”, “GIS Format” y se selecciona el archivo. Se abre una nueva pestaña en la que se debe seleccionar el sistema de coordenadas, en este caso el sistema métrico internacional. Existe la opción de “Cross Section”, la cual permite editar cada sección, únicamente cuando sea necesario. Tras esto se introduce el Coeficiente de Manning que en este caso será de 0,032, en la pestaña “Tables”, “Manning’s n or k values” y se introduce el valor para cada una de las secciones. Posteriormente en la pestaña “Edit/Enter steady flow data” aquí es donde se colocarán los datos para la simulación del río. Donde pone “Enter/Edit Number of Profiles” se le dice 8 que son el número de períodos de retorno sobre los que tenemos planeado hacer la simulación, en opciones “Edit Profile Names” donde se establece el nombre R1, R2, R5, etc.., dependiendo del periodo de retorno al que haga referencia. Seguidamente se introducen los datos de caudal para cada uno de los períodos de retorno de 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75 y 100 años que son los que interesan, una vez

colocados los datos se deberán introducir las condiciones de contorno “Reach Boundary Conditions” y utilizando la opción “Normal Depth” donde se debe introducir la pendiente del cauce que sería de 0,000006 % y se le dice que sea el periodo de contorno para todos los perfiles y se guarda.

Es el momento de dar inicio a la simulación, clic en “Perform a steady flow simulation”, en primer lugar pide guardar el archivo al cual se nombra como Plan01, pide también un identificador nombrado de la misma forma y se establece que el régimen de flujo sea subcrítico, clic en “Compute” para que procese la simulación. En la opción “View 3D Multiple Cross Section Plot” se puede previsualizar como han quedado las simulaciones para los distintos periodos de retorno, y en la opción “View Summary” se puede ver una tabla con todos los datos.

Para poder volver a trabajar con los datos en ArcMap, debe de exportarse este proyecto, “File”, “Export GIS Data”, especificamos que son datos de velocidad de flujo y los perfiles serán los correspondiente a los 8 periodos de retorno, “Export Data” y ya se dispone del proyecto. Se ejecuta un nuevo mapa en banco en ArcMap y se importa el proyecto que se ha realizado en HEC-RAS, en el menu de HEC-GeoRAS, “Import RAS SDF File” lo que hará será transformar el archivo en un XML. Ahora en la opción “RAS Mapping”, “Layer Setup”, se le otorga un nombre, se selecciona el XML, el archivo TIN que se ha generado y la carpeta de salida donde se quiere que se guarde y en la rasterización de celda le se le da un valor de 5. Seguidamente dentro de “RAS Mapping” en “Import RAS Data” selecciona el archivo XML clic en OK y se espera a que termine el proceso, cuando finalice se crearán una serie de nuevas capas. Con estos datos se procede a crear los mapas de inundación “Inundation Mapping”, “Water Surface Generation” se seleccionan todos los tiempos de retorno y se creará un nuevo TIN para cada uno. Lo mismo con la segunda opción “Floodplain Delineation Using Rasters” para crear el raster de los tiempos de retorno, en este caso hay que hacer el proceso individualmente para cada tiempo de retorno. Por último se crea el mapa de velocidad de flujo, para ello en “Velocity Mapping” se seleccionan los archivos de tiempo de retorno, una vez los ha procesado se crea un nuevo mapa de velocidad de flujo. Este programa dio una serie de errores por lo cual finalmente se llevó a cabo la simulación con Iber.

#### 4.1.1.2. Iber

##### Modelación numérica:

Para realizar la simulación de las crecidas se utilizó del software libre Iber. La utilización de este tipo de modelos en los estudios de inundaciones es una práctica habitual que se ha ido perfeccionado a medida que ha aumentado la capacidad de cálculo de las computadoras. Iber es un modelo numérico bidimensional para la simulación del flujo en lámina libre en régimen no permanente y procesos de transporte en ríos y estuarios, fue desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de La Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE).

El modelo numérico Iber consta de un módulo hidrodinámico, transporte de sedimentos, turbulencia y calidad de aguas. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada formada por elementos triangulares o cuadriláteros y utiliza el método de los volúmenes finitos para la resolución de las ecuaciones. En esta investigación solo se usó el módulo de hidrodinámica, ya que únicamente se necesitaba conocer la superficie inundada y los calados. En el módulo de hidrodinámica de Iber se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad mediante las ecuaciones de Saint Venant 2D, mientras que la fricción del fondo se evalúa con la fórmula de Manning. La descripción detallada de los algoritmos utilizados en Iber se puede encontrar en el manual del software (Manual de referencia hidráulico de Iber, 2014).

##### Geometría y malla de cálculo:

Uno de los elementos más importantes del modelo es la geometría, ya que esta condicionara de manera directa la precisión de los resultados. Considerando el nivel de detalle necesario para analizar el efecto de las motas sobre las crecidas, se generó una superficie de alta resolución (1x1 metros) a partir de los datos LIDAR (Light Detection and Ranging) del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Las nuevas tecnologías LIDAR permiten por medio de un sensor láser transportado estimar la altura de la superficie del terreno según el tiempo de retardo que lleva el rayo láser desde que

es lanzado, se refleja por la superficie y se registra de nuevo por el sensor. Así se genera un modelo digital de alturas y no de superficie, mucho más preciso porque considera la existencia de edificios e infraestructuras (puentes, carreteras, etc.) (Domenech, 2009). La mayor resolución que ofrece el LIDAR es especialmente importante a la hora de modelizar una crecida, ya que un mayor detalle de la topografía, generara unos mejores resultados en simulación del movimiento del flujo (Noguera, 2016).

El filtrado de los datos LIDAR se realizó con la herramienta LASTools implementada en el software ArcMap 10.5. Esta herramienta permite generar un modelo digital de elevaciones (MDE) considerando solamente algunos de los elementos detectados por el sensor, corregir errores, así como eliminar elementos como puentes o motas (Figuras 13 y 14). En este caso de estudio, solamente se consideraron los puntos clasificados en el LIDAR del PNOA como suelo y edificios. Debido al alto grado de detalle de la geometría se dividió la zona de estudio en dos sectores independientes, de esta forma se reduce el peso computacional del proceso.

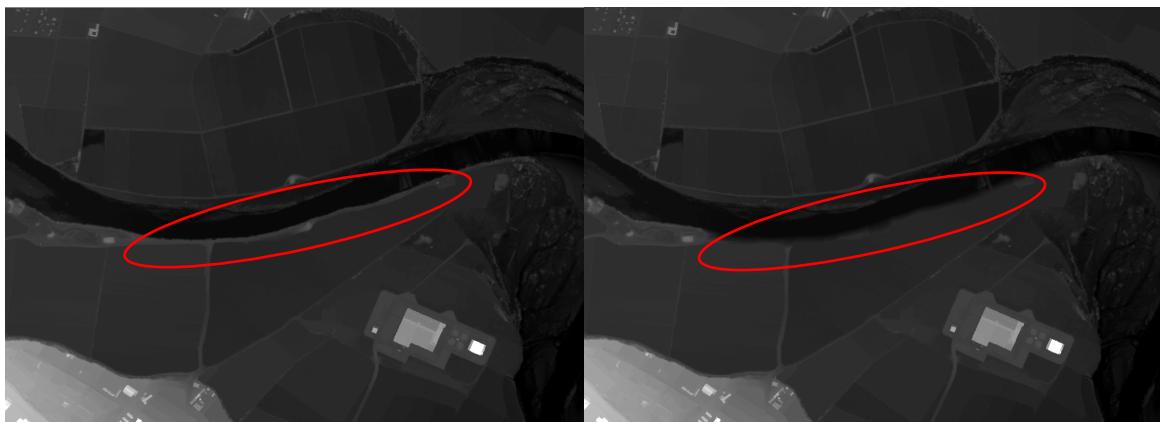


Figura 13. Ejemplo1, eliminación de motas

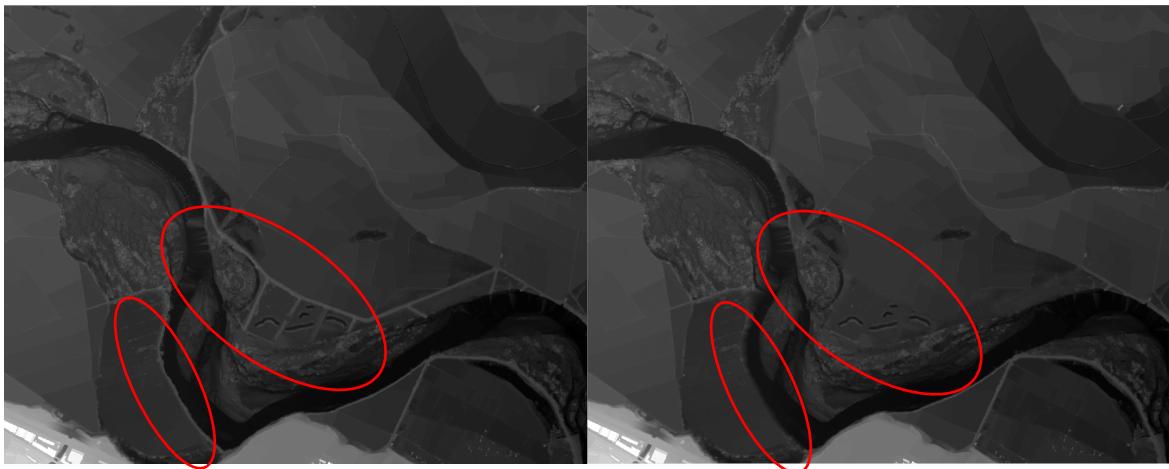


Figura 14. Ejemplo 2, eliminación de motas

Con la geometría generada y filtrada, se crearon las diferentes mallas de cálculo. Se utilizó un tipo de malla no estructurada con un tamaño de malla de 10 metros para obtener una gran precisión en las simulaciones (Figura 15). Este tipo de mallado se adapta a la topografía del terreno y permite asignar diferentes tamaños en función del nivel de detalle que se necesite.

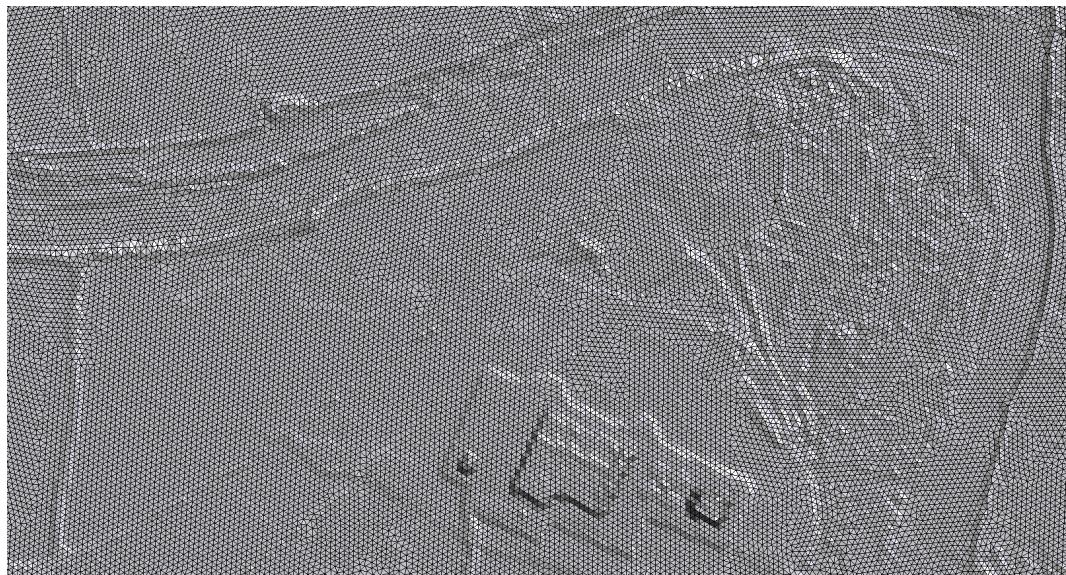


Figura 15. Detalle de la malla de cálculo

### Usos de suelo:

Otra cuestión importante antes de resolver el modelo es definir los usos de suelo en la zona de estudio, ya que estos van a condicionar la rugosidad. Para ello, se delimitaron los usos de suelo en la zona de estudio haciendo uso de imágenes satélite. Una vez determinados los usos de suelos, se definió la rugosidad para cada uno de ellos en términos del coeficiente de Manning ( $n$ ) para asignarlos a los elementos de la malla. En la figura 16 se muestra los usos de suelo asignados y los coeficientes de Manning utilizados.

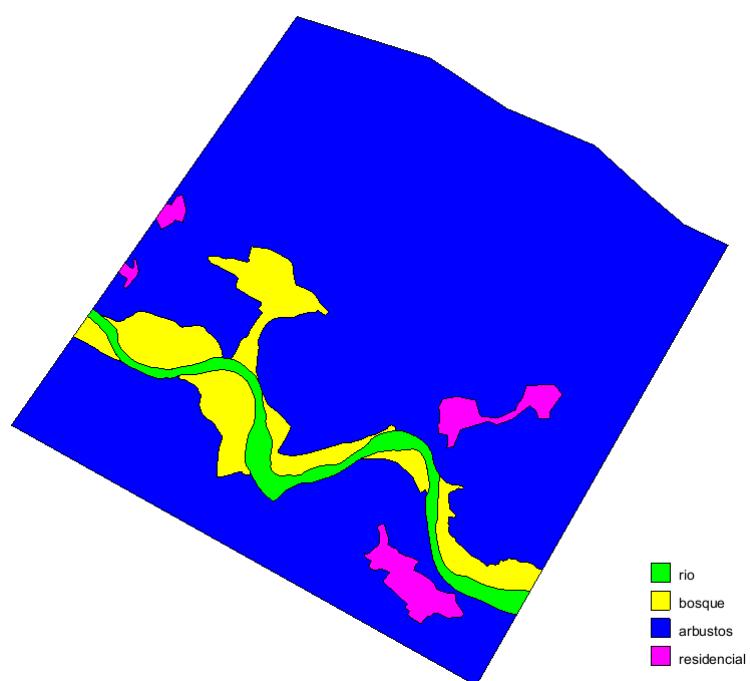


Figura 16. Usos de suelo, sector 2

Tabla 5: Asignación del coeficiente de Manning ( $n$ )

Uso	Coeficiente de Manning ( $n$ )
Río	0.025
Bosque	0.12
Arbusto	0.05
Residencial	0.15

Condiciones del modelo:

La condición de borde de entrada del modelo está definida por el hidrograma creado a partir de los caudales asignados para los diferentes periodos de retorno del río Ebro en la estación de aforo y establecido por el Instituto Pirenaico de Ecología.

El hidrograma utilizado tiene una duración de 10 horas y media y contiene los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75 y 100 años. Para evitar posibles errores en la simulación y que esta fuera más progresiva, se introdujeron unos caudales iniciales bajos y otros intermedios en los periodos de retorno que tenían importantes diferencias en los valores de caudal.

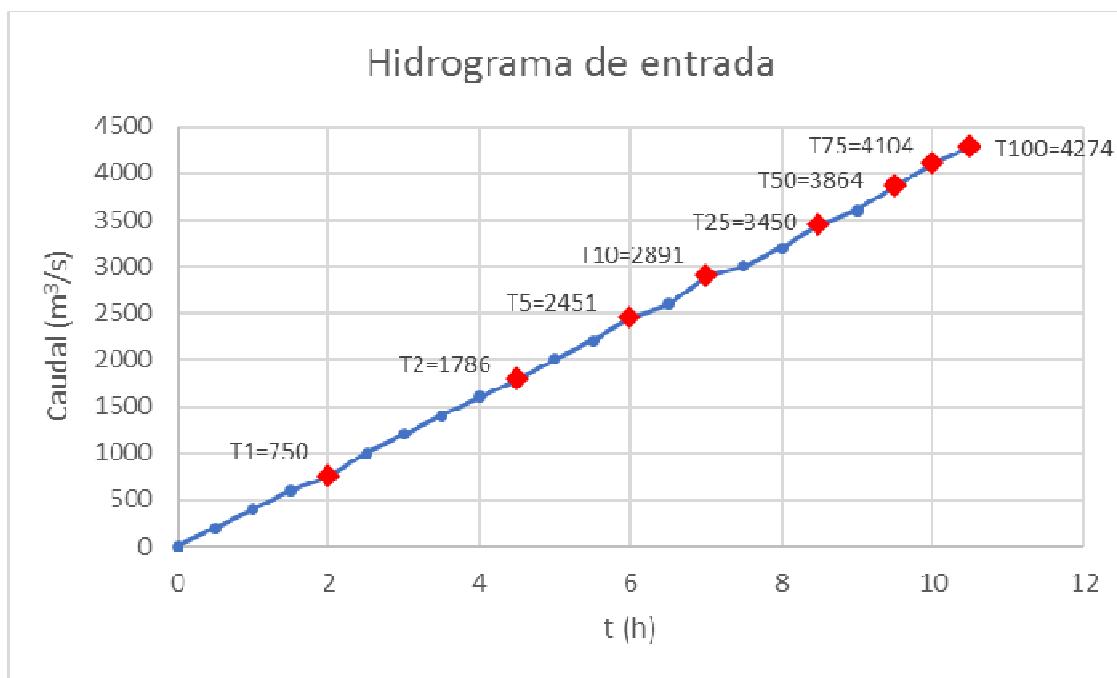


Figura 17. Hidrograma de entrada del modelo

Hay que considerar que los sensores LIDAR del PNOA son utilizados para aplicaciones topográficas y no batimétricas, por lo que no tienen la capacidad de atravesar cuerpos de agua y presentan problemas para registrar este tipo de cubiertas por su comportamiento especular. Por tanto, los datos registrados en el cauce corresponden con la altura de la lámina de agua y no con el lecho del cauce. Para subsanar este error

se asignó una condición inicial de calado en el cauce de 1.5 metros, considerando la profundidad media del río Ebro en este tramo.

#### Validación del modelo:

Para validar el modelo se utilizaron las capas de inundación del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), ya que no existían datos de aforo en el sector. La información que se quería obtener del modelo numérico era principalmente la extensión de inundación, por tanto, si se realiza un análisis visual comparativo entre la extensión de la inundación del modelo y la extensión de un modelo validado como el del SNCZI, se puede saber si el modelo está bien calibrado.

La capa referencia utilizada para la validación fue la correspondiente a 100 años de periodo de retorno. Tal y como muestran las figuras 18 y 19 hay una gran correspondencia en la superficie inundada calculada por el modelo y la información SNCZI, pudiéndose explicar las pequeñas diferencias en la extensión por el menor de detalle de la topografía utilizada en el SNCZI (5x5 metros).

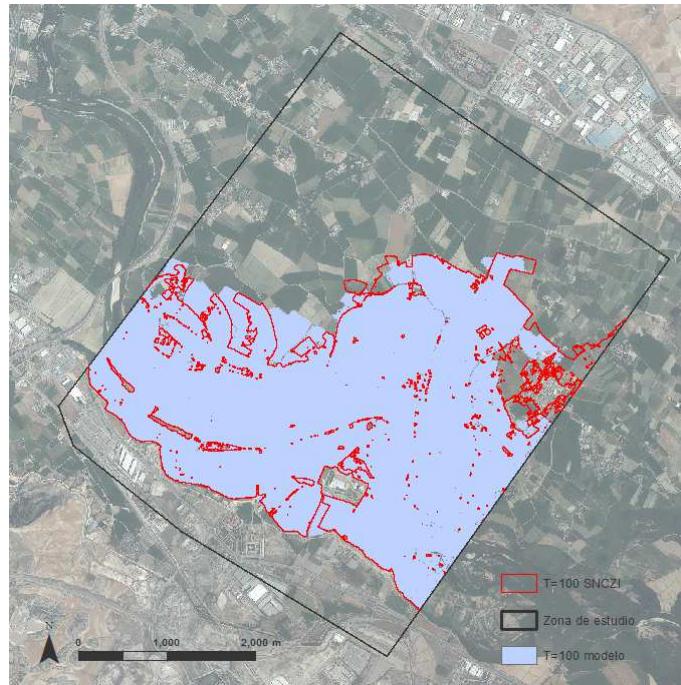


Figura 18. Validación, sector 1

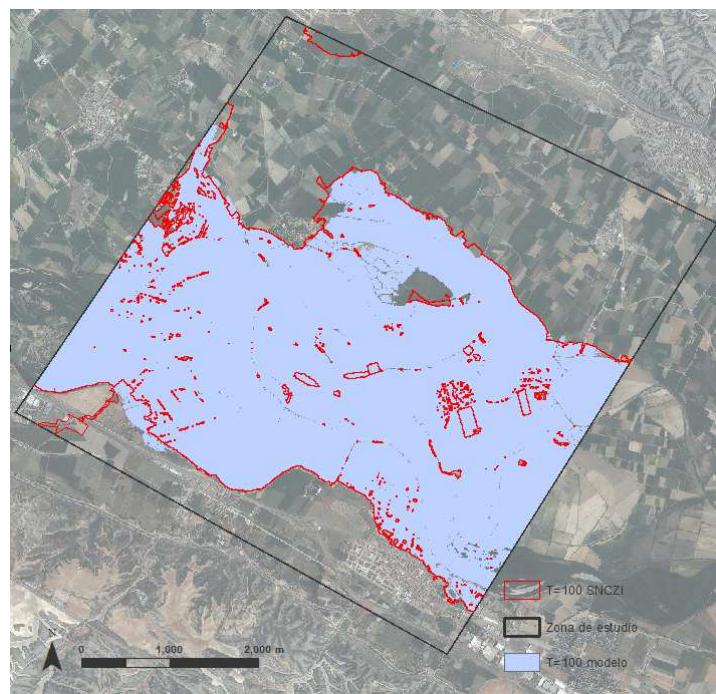


Figura 19. Validación, sector 2

#### 4.2.2. Resultados

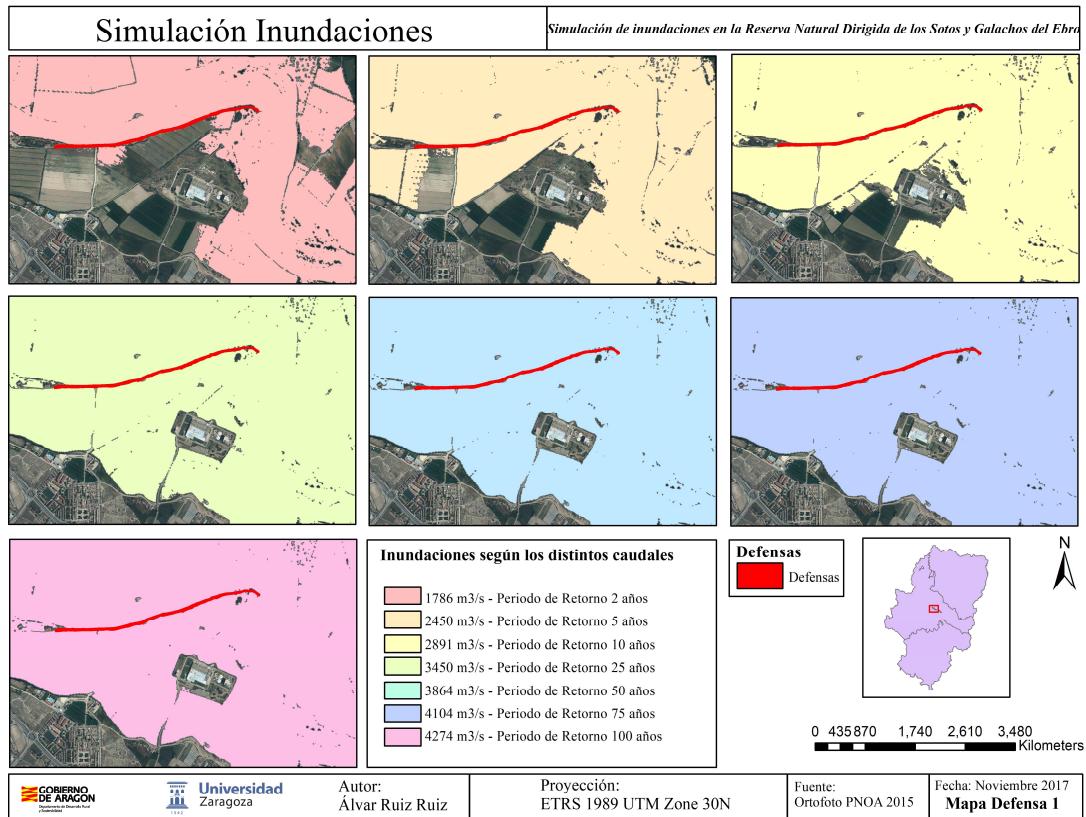


Figura 20. Mapas Simulación con mota

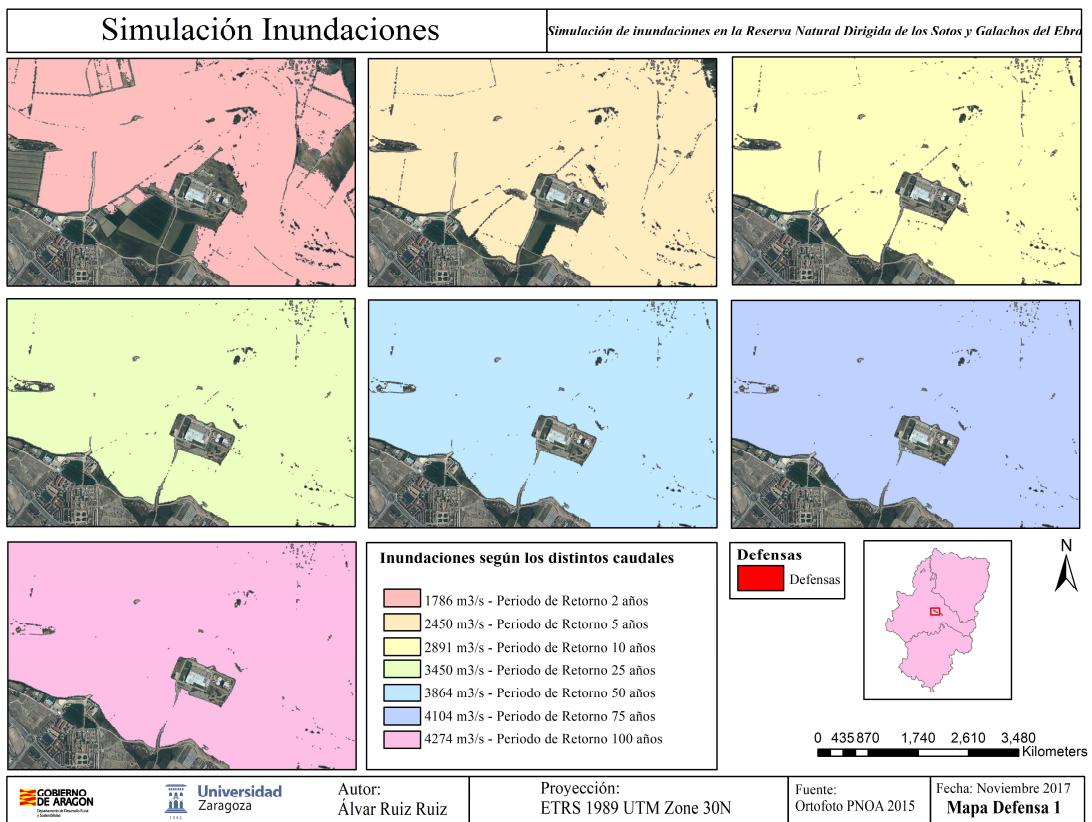


Figura 21. Mapas Simulación sin mota

### Defensa N° 1

En este primer caso nos encontramos en el Soto de la Cartuja, el estudio de esta zona tiene un gran interés principalmente puesto que hay una depuradora situada a en las cercanías del margen derecho del cauce del río y pensamos que podía ser interesante ver la diferencia de comportamiento de una inundación con la defensa y si se realizase una eliminación de la misma.

En el caudal correspondiente al periodo de retorno de 1 año (750m<sup>3</sup>/s), en ambos casos tanto con como sin la defensa no hay ningún tipo de variación, puesto que únicamente ocupa la superficie del propio cauce del río.

En el caso de un periodo de retorno de 2 años (1786m<sup>3</sup>/s), se ve claramente la eficacia de la mota. En el caso con defensa consigue retener prácticamente la totalidad de la crecida, mientras que en la simulación sin la defensa la crecida anega gran parte del soto, creando desperfectos en las tierras cultivadas de la zona y se acerca peligrosamente a la depuradora.

Para un periodo de retorno de 5 años ( $2451\text{m}^3/\text{s}$ ) en ambos casos tanto con como sin la defensa, la crecida se adentra inundando gran parte de los cultivos, si bien es cierto que en el caso sin mota se adentra mucho más y empieza a rodear a la depuradora.

En el último caso que se aprecia cierta efectividad de la defensa es en el periodo de retorno de 10 años ( $2891\text{m}^3/\text{s}$ ), en el cual la mota sigue reteniendo parte de la crecida, y una vez se elimina la inundación rodea totalmente la depuradora y se queda prácticamente en los márgenes del núcleo poblacional.

En el caso del resto de periodos de retorno, 25 años ( $3450\text{m}^3/\text{s}$ ), 50 años ( $3864\text{m}^3/\text{s}$ ), 75 años ( $4104\text{m}^3/\text{s}$ ) y 100 años ( $4274\text{m}^3/\text{s}$ ) la presencia de la defensa es irrelevante puesto que al ser crecidas con un caudal tan grande actúan del mismo modo tanto ante la presencia de la mota como sin ella. Curiosamente la depuradora no se inunda en ningún caso, seguramente porque está situada a una mayor altura.

Por lo tanto podemos concluir que esta defensa si es efectiva cuando las avenidas no son demasiado grandes, pero que pierde la utilidad cuando el caudal supera los  $3000\text{m}^3/\text{s}$ .

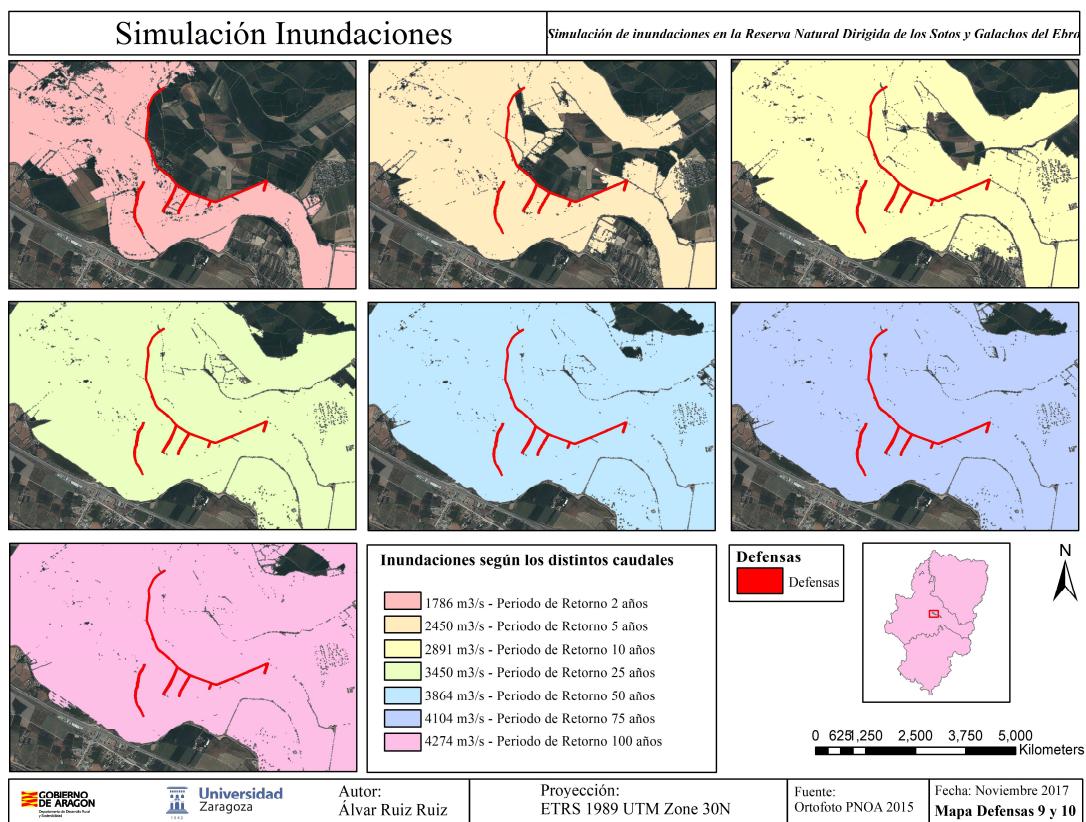


Figura 22. Mapas Simulación con motas

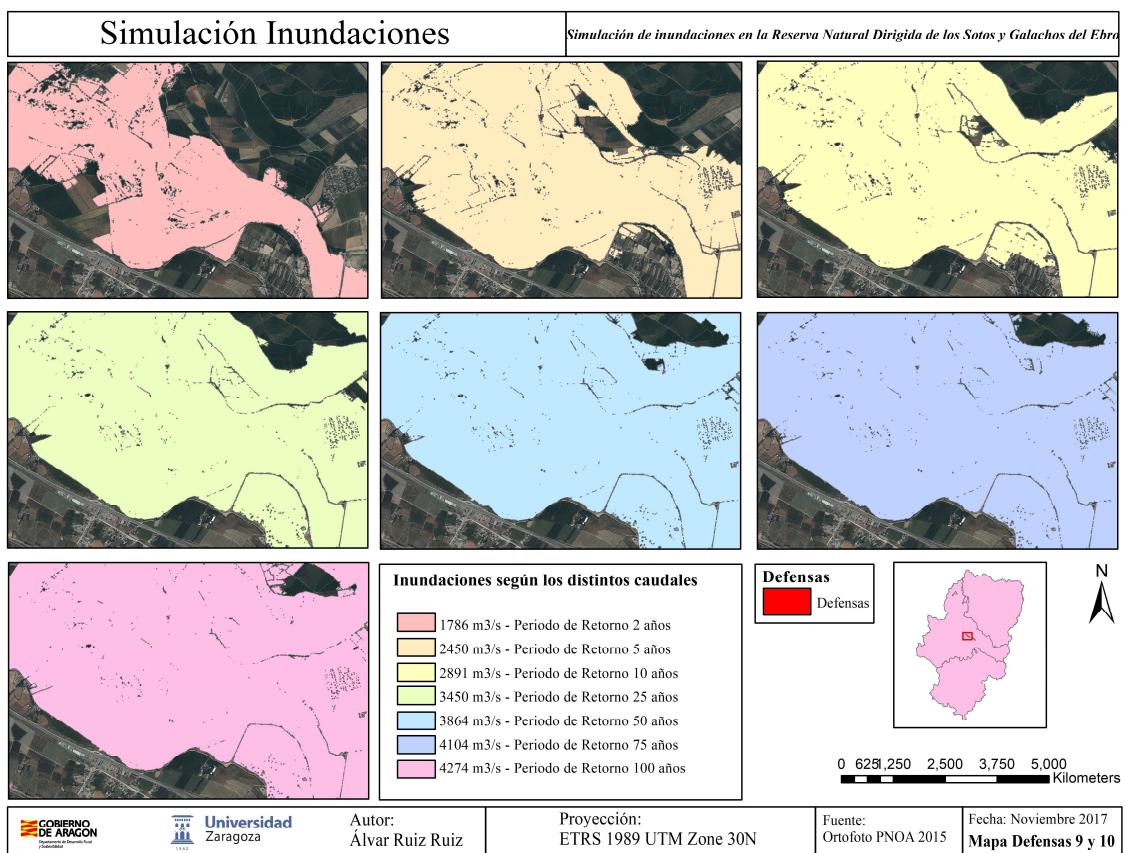


Figura 23. Mapas Simulaciones sin motas

### Defensa N° 9

En el caso de la defensa número 9 situada en el Soto de Nis en la margen derecha del río, al tener un tamaño bastante reducido, al comparar ambas simulaciones tanto con como sin la defensa, rápidamente se puede apreciar que para un periodo de retorno de 2 años (1786m<sup>3</sup>/s) si tiene cierto impacto la presencia de la mota pero es bastante ínfimo, para el resto de periodos de retorno 5 años (2451m<sup>3</sup>/s), 10 años (2891m<sup>3</sup>/s), 25 años (3450m<sup>3</sup>/s), 50 años (3864m<sup>3</sup>/s), 75 años (4104m<sup>3</sup>/s) y 100 años (4274m<sup>3</sup>/s) la presencia de la mota es irrelevante. Por eso mismo se puede concluir que es una mota la cual podría eliminarse sin ningún problema ayudando a recuperar la naturalidad del Soto de Nis sin ningún tipo de consecuencia negativa.

## Defensa N° 10

En este caso nos encontramos en la margen izquierda del río Ebro, más concretamente en el Soto del Rincón Falso. La defensa número 10 es la que tiene un mayor tamaño de las que hemos simulado.

Para el caso de un periodo de retorno de 2 años ( $1786\text{m}^3/\text{s}$ ), se ve claramente como actúa la defensa la cual retiene la crecida e impide que el agua llegue a los campos de cultivo que hay situados en este soto. Al eliminar la defensa el agua anega gran parte de los cultivos creando grandes daños.

En el caso de un periodo de retorno de 5 años ( $2451\text{m}^3/\text{s}$ ), la defensa sigue siendo efectiva, pero el agua ya empieza a superarla por la zona norte creando ciertos daños en los cultivos, mientras que al eliminar la mota la inundación que se produce es muchísimo mayor y por tanto los daños que habrá en la zona también son mayores.

Para un periodo de retorno de 10 años ( $2891\text{m}^3/\text{s}$ ) la mota aun sigue siendo efectiva, pero en un grado mucho menor, habiendo menor diferencia entre los resultados de las simulaciones con y sin la mota, con la presencia de la mota sigue subsistiendo una zona de cultivos y sin la presencia prácticamente queda anegada la totalidad del soto.

Para el resto de periodos de retorno 5 años ( $2451\text{m}^3/\text{s}$ ), 10 años ( $2891\text{m}^3/\text{s}$ ), 25 años ( $3450\text{m}^3/\text{s}$ ), 50 años ( $3864\text{m}^3/\text{s}$ ), 75 años ( $4104\text{m}^3/\text{s}$ ) y 100 años ( $4274\text{m}^3/\text{s}$ ), al igual que en el caso de la defensa número 1, la presencia de la defensa es irrelevante, puesto que al tratarse ya de caudales mucho mayores la inundación tiene el mismo comportamiento esté la defensa o no.

Se puede concluir que esta defensa es efectiva en los primeros periodos de retorno, sobretodo en el de 2 años, pero que a partir de los  $3000\text{m}^3/\text{s}$  pierde su utilidad. Por lo tanto no se recomienda la eliminación de la misma si hay un interés en proteger las zonas de cultivo del soto.

## 5. CONCLUSIONES

La Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro es un espacio protegido muy afectado por usos antrópicos. Claro ejemplo de ello es la cantidad de tierras de cultivo y núcleos poblacionales que se pueden encontrar en su interior e inmediaciones. Tras realizar la catalogación parcelaria y distinguir los tipos de propiedad, como primera conclusión se puede decir que, aun siendo un espacio protegido, hay una gran cantidad de territorio que tienen un carácter privado. Esto implica que este espacio presenta una gran dificultad a la hora de ser gestionado, puesto que hay que contar con el consentimiento de los propietarios y, a la vez, hay que estar muy atentos al uso que le dan dichos propietarios a sus terrenos, con el fin de evitar las malas prácticas y aparición de problemas que puedan afectar a la buena conservación del espacio. Es un caso que debería analizarse en profundidad y quizás establecer normas específicas restrictivas para aplicarlas en este espacio protegido.

En lo referente a las defensas, la primera conclusión a la que se puede llegar es que la naturalidad de esta zona se ve muy afectada por las motas o diques que se pueden encontrar prácticamente a lo largo de todo el recorrido del cauce por la Reserva Natural. La gran mayoría de ellas están anticuadas, hace ya muchos años que fueron construidas y desde su creación apenas se han modificado, aunque sí reparado tras diferentes inundaciones. Pero su eficacia se ha visto mermada con el paso de los años y por sus propias características, como ocurre en otros tramos fluviales, de manera que su efectividad debe ser puesta en duda y es conveniente buscar otros sistemas de defensa o gestión. Tras realizar la simulación de inundaciones ha quedado claro que las motas en la mayoría de los casos sí tienen una utilidad real (al margen de su permeabilidad, problemas de compactación, efecto presa y no retorno posterior al proceso de inundación, etc.) al menos con caudales inferiores a los  $3000\text{ m}^3/\text{s}$ , siendo el caudal de avenida ordinaria el establecido en los  $1984,63\text{ m}^3/\text{s}$  asociado a un periodo de 2,5 años, caso en el cual las defensas tiene un alto porcentaje de efectividad. En el caso de las defensas de tamaño reducido, prácticamente no muestran ninguna diferencia las inundaciones que se producirían con o sin la mota. En más de una ocasión estas pequeñas motas lo único que logran es que el grado de desbordamiento sea mayor en los puntos que no hay defensas, acarreando peores consecuencia que las que se darían sin la presencia de la defensa. Por lo tanto, a partir de los resultados de simulación obtenidos se propone la eliminación de las motas de un tamaño reducido y así ayudar a la

recuperación de cierta naturalidad de la Reserva Natural Dirigida, factor que ambientalmente sería muy positivo. También habría que debatir y plantear el retranqueo o alejamiento del cauce de las motas más útiles para dar más espacio al río.

El empleo de modelos numéricos en la planificación hidrológica y trabajar con datos LIDAR ofrecen ventajas y una alta precisión a la hora de realizar simulaciones de este tipo y pueden ayudar a planificar adecuadamente el territorio y evitar posibles problemas en el futuro.

A partir de este trabajo y con perspectiva de futuro, convendría realizar un análisis mucho más exhaustivo de las defensas, llevando a cabo una simulación con la eliminación de cada una de ellas y así localizar realmente cuáles tienen una utilidad real y cuáles no, para proceder a su eliminación. También puede ser interesante ir adquiriendo poco a poco las tierras de los propietarios privados hasta al final conseguir una Reserva Natural con un carácter totalmente público, aunque el desembolso económico que habría que llevar a cabo es bastante notable y dificultaría este utópico escenario.

Aunque con muchas dificultades, en especial en la parte de simulaciones por los problemas surgidos a lo largo del tratamiento de los datos y simulación final, afortunadamente se ha logrado llevar a cabo el desempeño de las tareas propuestas por la DGA y el Servicio Provincial de Medio Ambiente y obtener unos resultados satisfactorios y acordes a los objetivos planteados en un principio.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Atauri, J.A.; De Lucio Fernández, J.V. y Muñoz, M.A. (2002). “*El Plan de seguimiento ecológico en la Reserva Natural de los Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro (Zaragoza)*”. En Monografies, 34. Diputación de Barcelona, págs 39-49

Atauri, J.A.; de Lucio, J.V.; Muñoz Yangüas, M.A. (2005): “*A Framework for Designing Ecological Monitoring Programs for Protected Areas: A Case Study of the Galachos del Ebro Nature Reserve (Spain)*”, Environmental Management, 35(1), pág 20-33.

Broc, E.; Muñoz, M.A. (2008): “*Caracterización climática del Galacho de La Alfranca*”, Natural de Aragón: revista bimestral del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, 33, pág 24

CEDEX, CIMNE, FLUMEN, GEAMA (2014) Iber. Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual de referencia hidráulico

Domenech, S. (2009). “*Peligrosidad de inundaciones del río Sosa (Monzón, Hueca): Modelización, cartografía y propuestas de actuación*”. Trabajo fin de diploma, Área de mecánica de fluidos centro politécnico superior, Universidad de Zaragoza.

Garrido, J. (2007): “*Los Galachos del Ebro. Análisis y propuestas de restauración en la Ribera Alta*”, Geodesma.

Muñoz, M. A.; Guerrero, J. (2003): “*La gestión en la Reserva Natural de los Galachos de La Alfranca de Pastriz, La Cartuja y El Burgo de Ebro*”, Naturaleza aragonesa: revista de la Sociedad de Amigos del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza, 10, págs. 85-92

Noguera, I. (2016) “*Geomorfología, geodiversidad y riesgos en el río Seco (cuenca del río Martín, Teruel)*”. Trabajo fin de grado en Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.

Ollero, A. (1992): “*Los meandros libres de Río Ebro (Logroño-La Zaida): Geomorfología fluvial, ecografía y riesgos*” Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, pp. 1138

Ollero, A. (1993): “*Los Elementos Geomorfológicos del cauce en el Ebro de meandros libres y su colonización vegetal*”, Geographicalia, 30, págs 295-308.

Ollero, A. (1995): “*Dinámica reciente del cauce del Ebro en la Reserva Natural de los Galachos (Zaragoza)*”. Cuaternario y Geomorfología, 9, págs 85-93.

Ollero, A.; Sánchez, M.; Losada, J.A.; y Hernández, C. (2004): “*El comportamiento hídrico del río Ebro en su recorrido por Aragón*”, Peña, J.L., Longares, L.A.; Sánchez, M. (eds). Geografía física de Aragón. Universidad de Zaragoza.

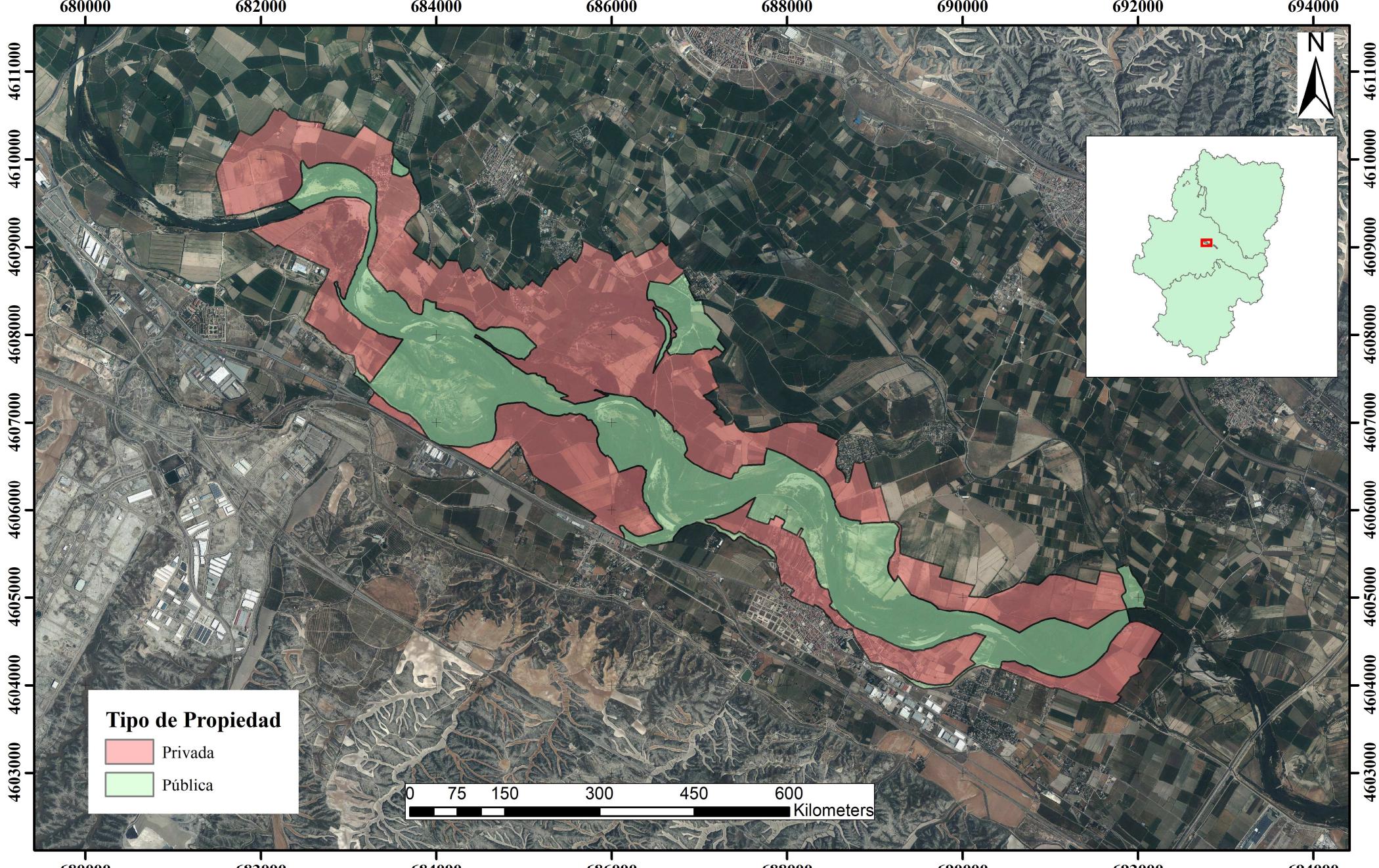
Ollero, A.; Ballarín, D.; Mora, D. (2006): “*Cambios en el cauce y el llano de inundación del río Ebro (Aragón) en los últimos 80 años*”, Geographicalia, 50, págs 87-109.

Regato, P. (1987): “*Contribución al estudio de la flora y la vegetación del Galacho de la Alfranca en relación con la evolución del sistema fluvial*”, Diputación General de Aragón, Ebro Composición, S.L.

**Anexo I**  
**Mapas**  
**Tipo de Propiedad**

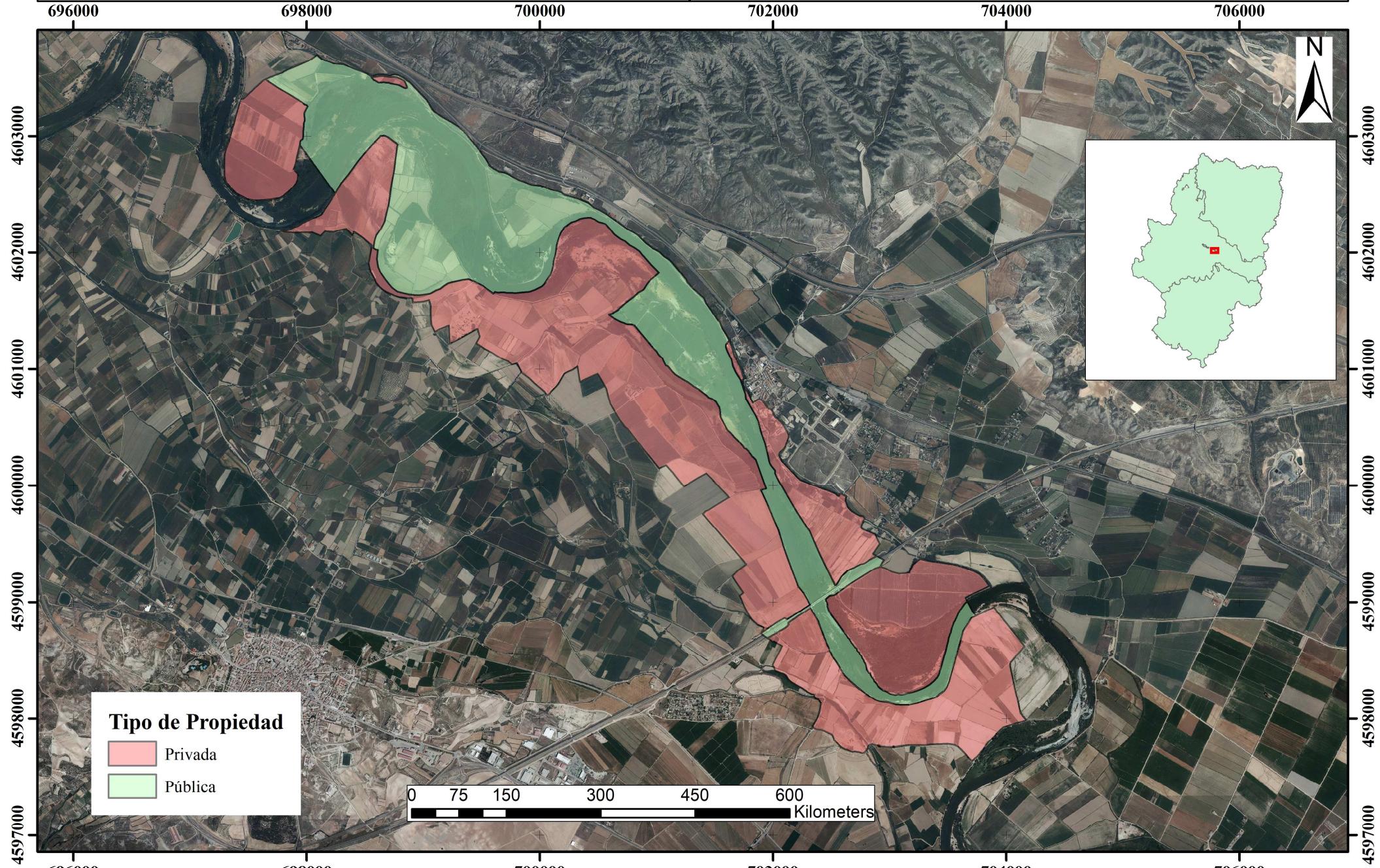
# Mapa de los Usos del Suelo

Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



# Mapa de los Usos del Suelo

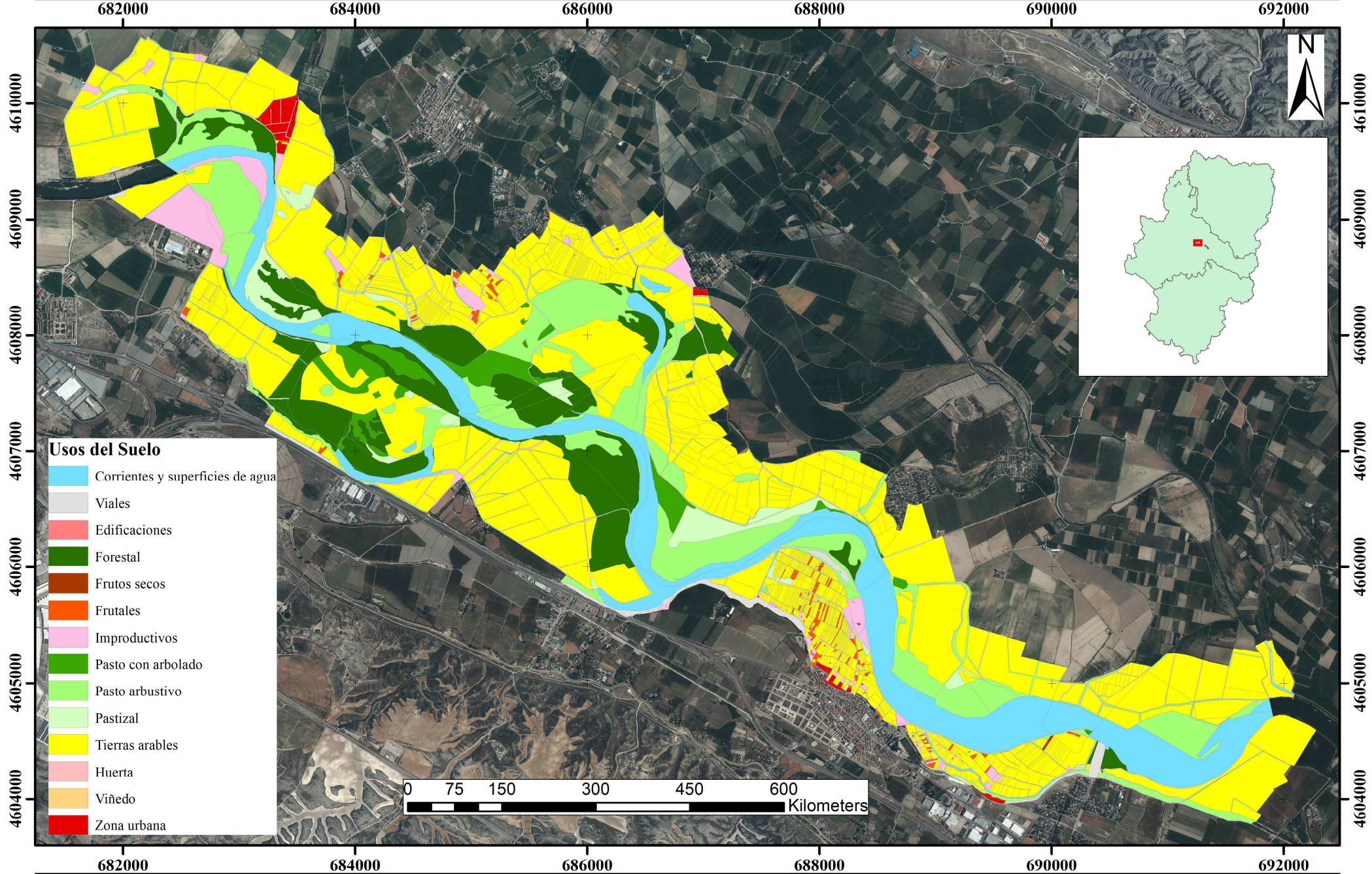
Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



**Anexo II**  
**Mapas**  
**Usos del Suelo**

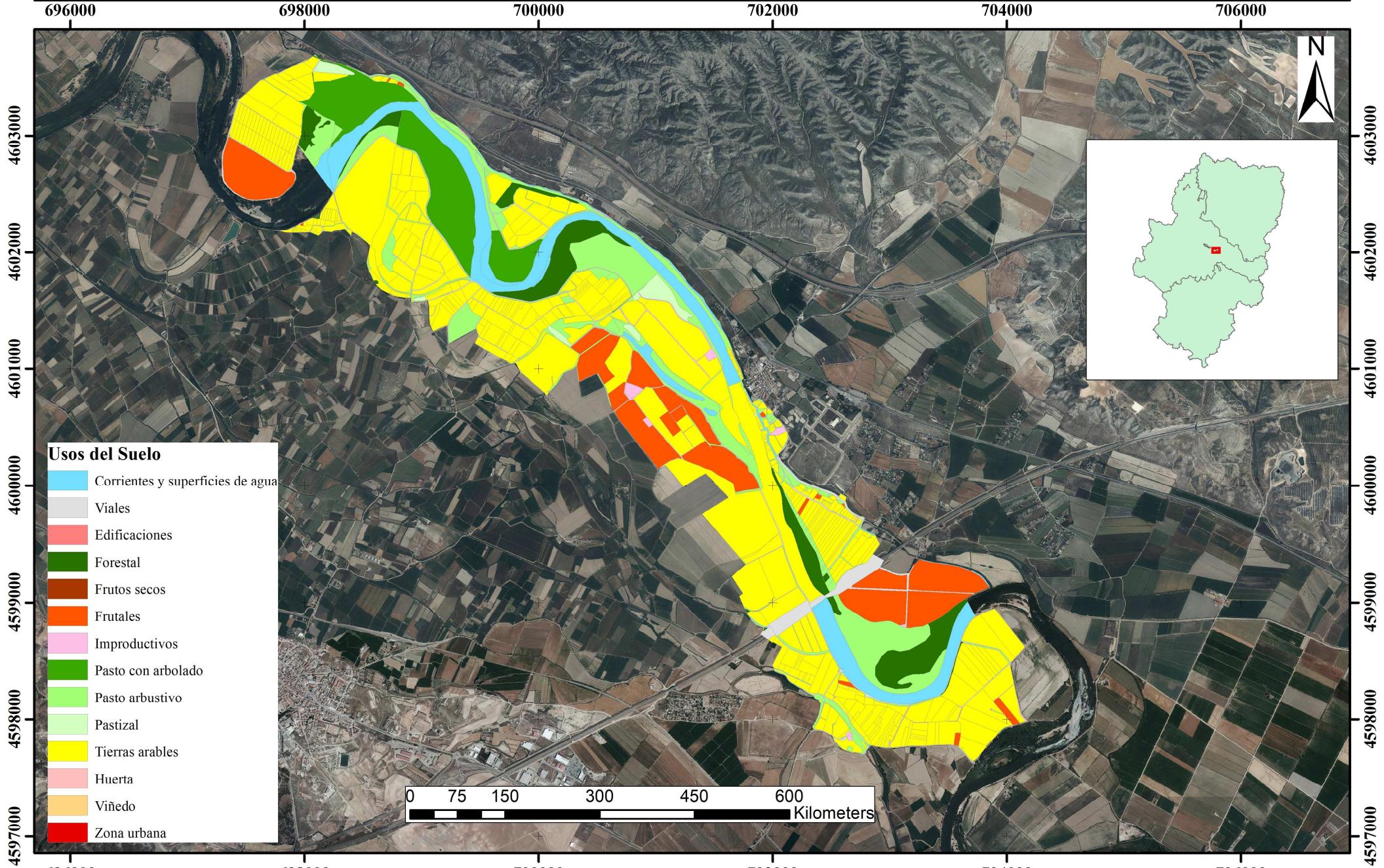
# Mapa de los Usos del Suelo

Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



# Mapa de los Usos del Suelo

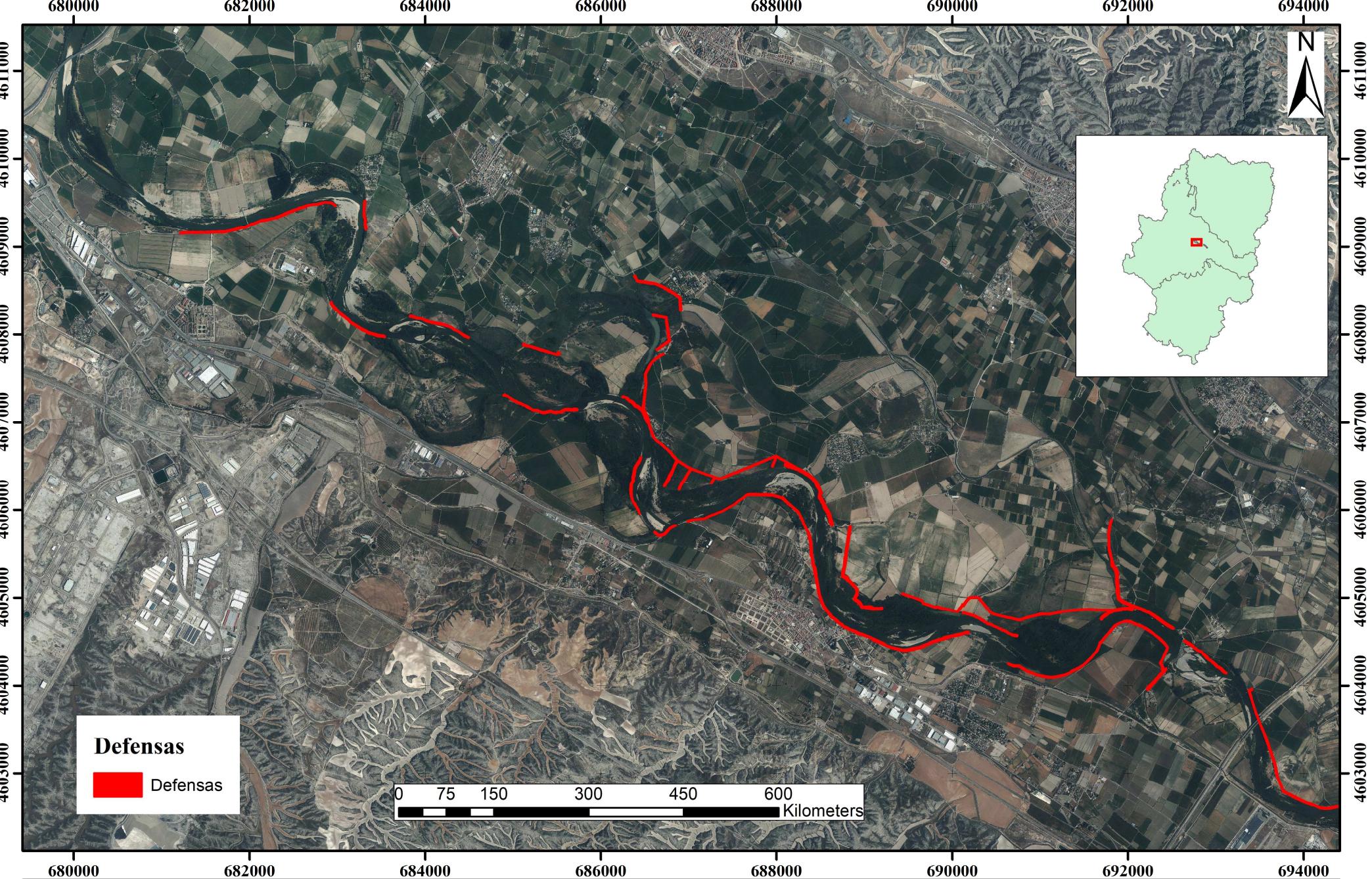
Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



**Anexo III**  
**Mapas**  
**Situación de las Defensas**

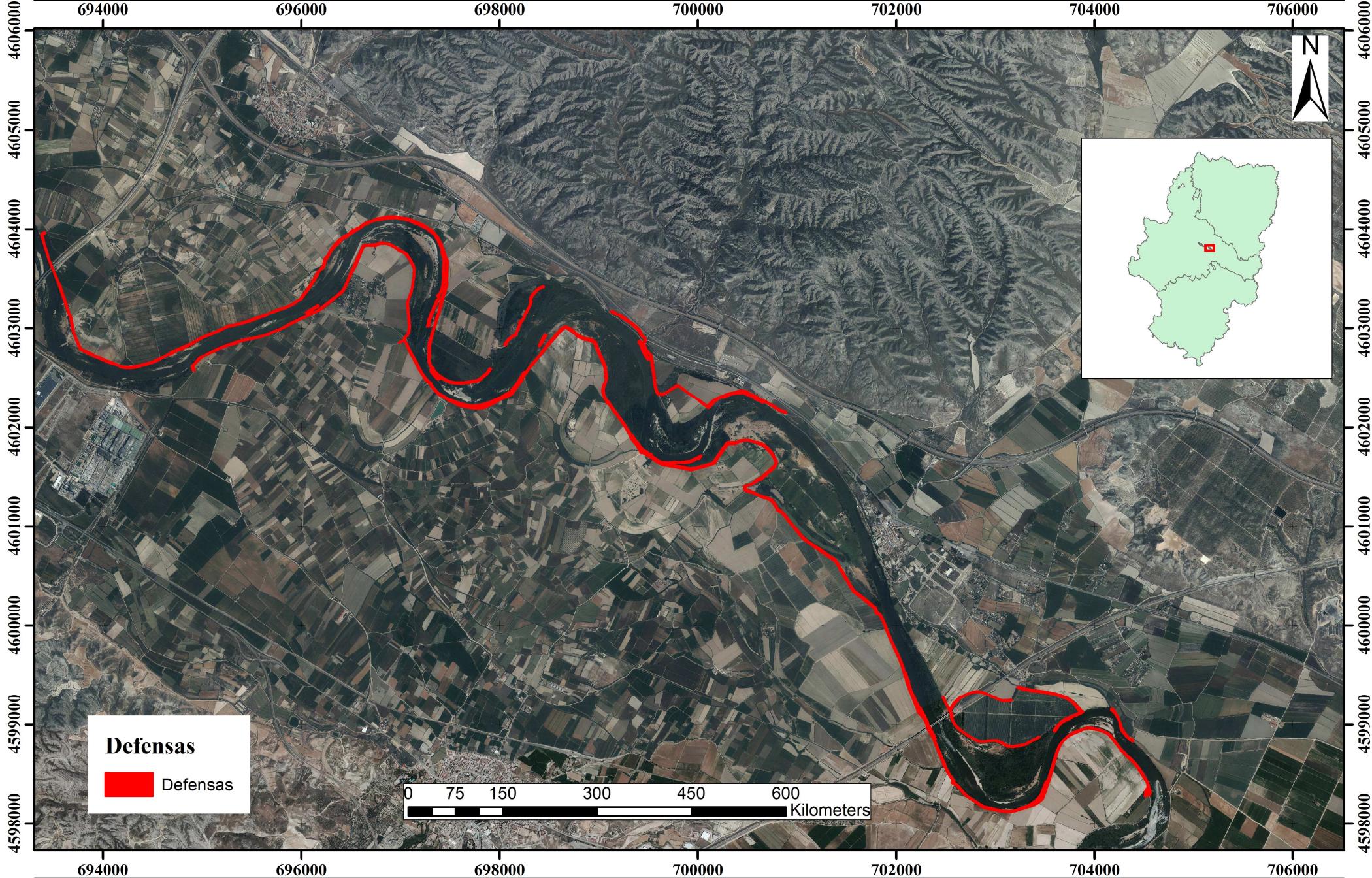
# Defensas

Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



# Defensas

Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



**Anexo IV**  
**Mapas**  
**Simulación de Inundaciones**

# Simulación Inundaciones

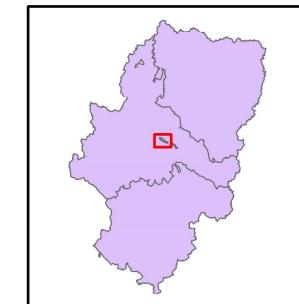
Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



## Inundaciones según los distintos caudales

- 1786 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 2 años
- 2450 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 5 años
- 2891 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 10 años
- 3450 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 25 años
- 3864 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 50 años
- 4104 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 75 años
- 4274 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 100 años

**Defensas**  
 Defensas



0 435 870 1,740 2,610 3,480 Kilometers

# Simulación Inundaciones

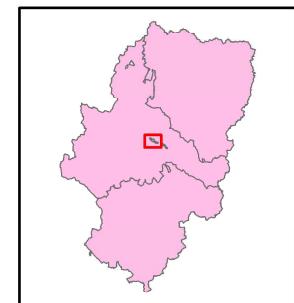
Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



## Inundaciones según los distintos caudales

- 1786 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 2 años
- 2450 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 5 años
- 2891 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 10 años
- 3450 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 25 años
- 3864 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 50 años
- 4104 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 75 años
- 4274 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 100 años

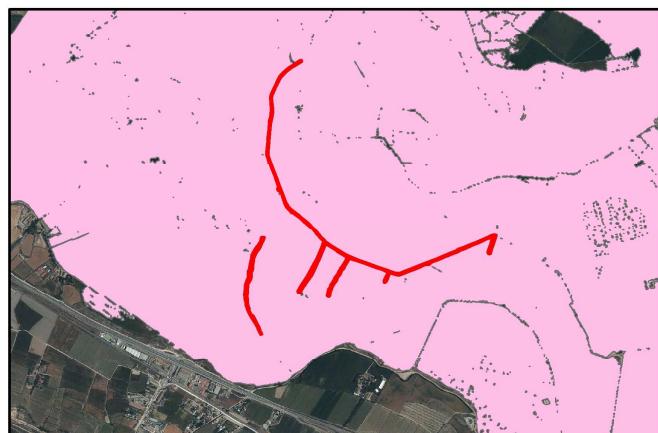
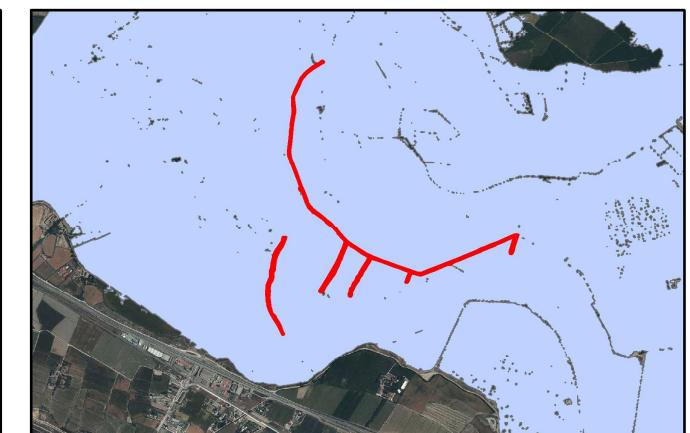
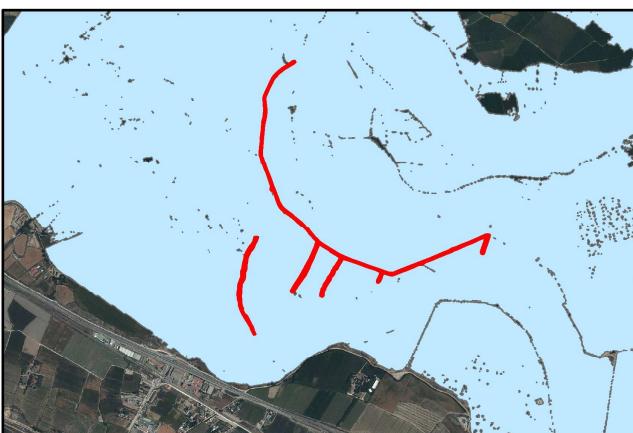
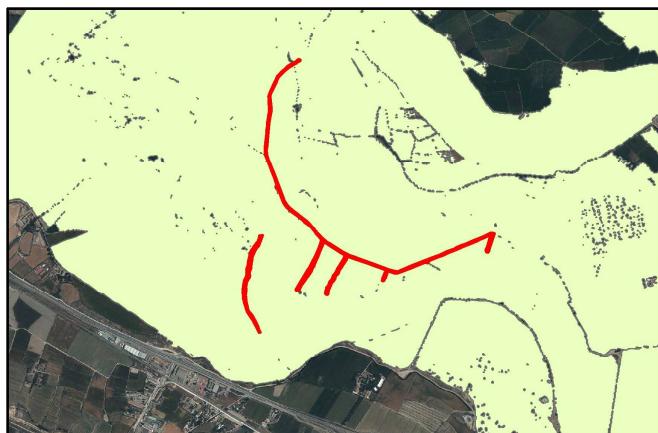
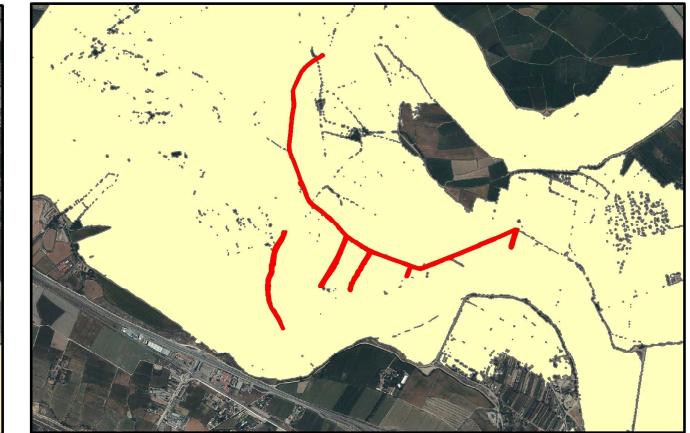
**Defensas**  
■ Defensas



0 435 870 1,740 2,610 3,480 Kilometers

# Simulación Inundaciones

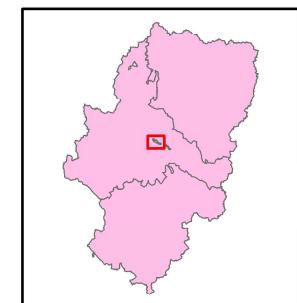
Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



## Inundaciones según los distintos caudales

- 1786 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 2 años
- 2450 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 5 años
- 2891 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 10 años
- 3450 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 25 años
- 3864 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 50 años
- 4104 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 75 años
- 4274 m<sup>3</sup>/s - Periodo de Retorno 100 años

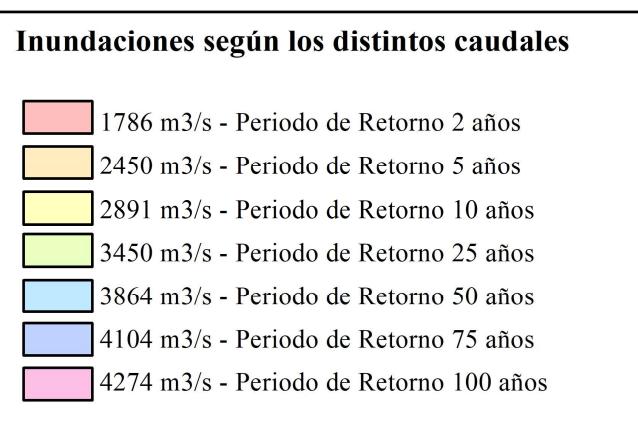
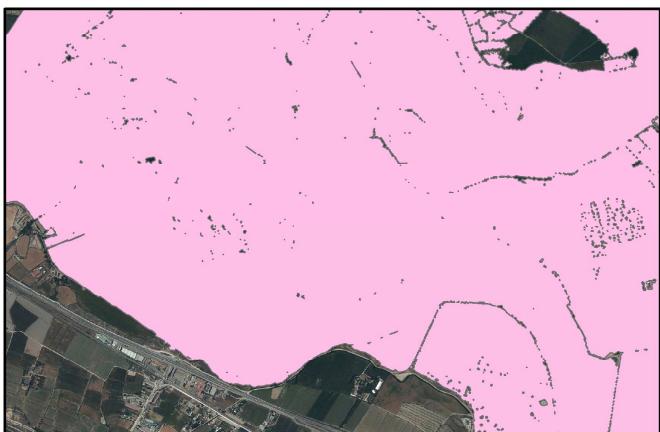
**Defensas**  

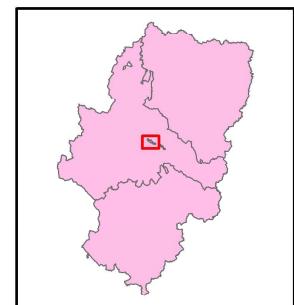
0 6251,250 2,500 3,750 5,000 Kilometers

# Simulación Inundaciones

Simulación de inundaciones en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro



**Defensas**  
 Defensas



0 625 1,250 2,500 3,750 5,000  
Kilometers

