



**Universidad**  
**Zaragoza**

## Trabajo Fin de Grado

Evolución de los usos del suelo y las precipitaciones en la cuenca del río Sosa: incidencia en la evolución hidromorfológica del cauce y en el riesgo de crecidas.

Autor/es

**Carlos Sampietro Ferrer**

Director/ es

**Miguel Sánchez Fabre**

Facultad de Filosofía y Letras/ Grado en Geografía y Ordenación del Territorio

Junio 2016

**Resumen:**

El presente estudio trata de un análisis de las características naturales y del medio de la cuenca del río Sosa, el análisis de los usos del suelo que se han dado a lo largo de los años, los cambios sucedidos en su cauce y la relación de todo ello con el riesgo de inundaciones y crecidas especialmente centrado en el término municipal de Monzón (Huesca).

**Abstract:**

This research is an analysis of natural characteristics and environment of the sosa basin river, analysis of land use that have occurred over the years, changes occurred in its course, and the relationship of all with the risk of floods especially focused on the city of Monzón (Huesca).

**Conceptos clave:**

*Crecida, inundación, riesgo, evolución hidromórfologica, cauce, llanura de inundación, usos del suelo, precipitaciones torrenciales, precipitaciones estacionarias, evapotranspiración, déficit hídrico, escorrentía superficial, periodo de retorno, irregularidad interanual, variación estacional de caudal, estiaje.*

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
1.1. Localización del área de estudio	4
1.2. Objetivos	5
1.3. Antecedentes	5
1.4. Justificación y desarrollo	7
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>8</b>
2.1. Caracterización de la cuenca y comportamiento del curso fluvial	8
2.2. Cambios en los usos del suelo de la cuenca	11
2.3. Evolución precipitaciones	11
2.4. Cambios en el cauce y en la llanura de inundación	12
2.5. Riesgo de inundación	13
<b>3. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA Y COMPORTAMIENTO DEL CURSO FLUVIAL</b>	<b>14</b>
3.1. Mapa de pendientes	14
3.2. Mapa litológico	15
3.3. Red hidrográfica	15
3.4. Caracteres climáticos generales	17
3.5. Comportamiento hidrológico	20
<b>4. CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO DE LA CUENCA</b>	<b>26</b>
<b>5. EVOLUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES</b>	<b>36</b>
<b>6. CAMBIOS EN EL CAUCE Y LA LLANURA DE INUNDACIÓN</b>	<b>39</b>
<b>7. RIESGO DE INUNDACIÓN</b>	<b>54</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>63</b>

**\*Agradecimientos**

*En primer lugar a mi director del trabajo de fin de grado, Miguel Sánchez Fabre.*

*En segundo lugar a Ernesto Baringo, ex – alcalde de la localidad de Monzón (Huesca) sin cuya cooperación hubiera sido imposible encontrar referencias sobre antiguas crecidas del río Sosa.*

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Localización del área de estudio

El área de estudio donde se realiza este proyecto está localizada en la zona nororiental de la Península Ibérica, concretamente en la provincia de Huesca, dentro de la comunidad autónoma de Aragón (España).

Localizada en la margen oriental de la provincia de Huesca, la cabecera del Sosa está cercana a la frontera con la provincia de Lleida.

El río Sosa es un afluente del río Cinca en su margen izquierda, que nace en la comarca de la Litera, concretamente en la sierra de la Carrodilla (sierras exteriores pirenaicas).

La cabecera del presente río se localiza en Gabasa, en la zona de nacimiento que anteriormente se ha mencionado, pero tiene una particularidad, que no solo cuenta con una cabecera, originalmente son dos las cabeceras que poco después alimentan un único curso fluvial que fluye uniformemente a partir de la localidad de Peralta de la Sal hacia su desembocadura en el río Cinca, situada en la capital de la comarca del Cinca Medio, Monzón.

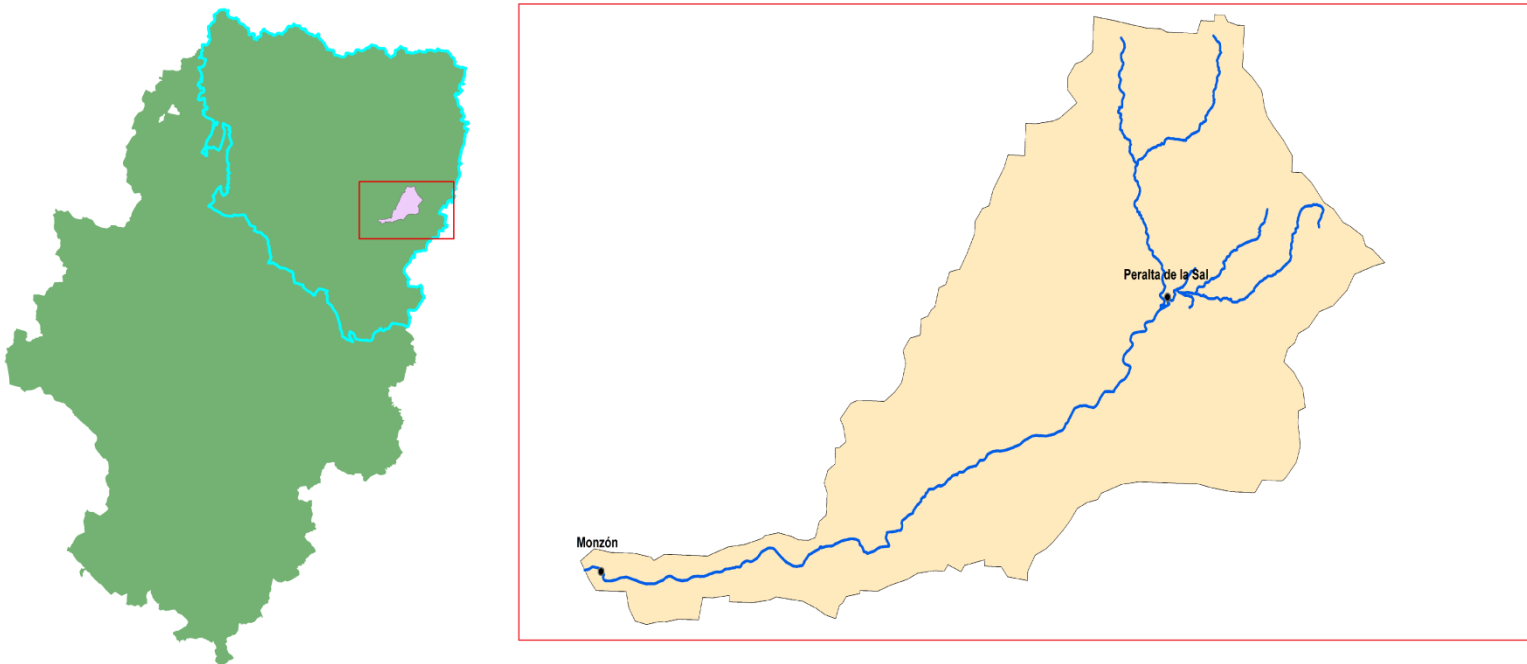


Figura 1. Localización de la Cuenca del Río Sosa  
Elaboración: Propia

Más concretamente, el río Sosa, tiene su cabecera principal a una altitud de 1060 m. Recorre casi una longitud de 35 km (34,6), y salva un nivel de 810 m, ya que la desembocadura se sitúa a 1 km de Monzón, en el río Cinca, a 250 m.

Estamos ante una cuenca que drena una superficie de 180 km<sup>2</sup>. En su tramo inicial, discurre por un valle estrecho, de fuerte pendiente, en su tramo medio, presenta un cauce de gravas seco en verano, que en algunas zonas llega a alcanzar los 100 m de anchura. En la zona baja de la cuenca, aguas arriba de Monzón, se nutre de algunos manantiales y retornos de regadío.

Todos estos datos nos prestan ya pistas de que el río Sosa, sobretodo en su cabecera, dada su fuerte pendiente, se caracteriza por poseer un poder de erosión fuerte.

## 1.2 Objetivos

En este apartado, cabe decir que los objetivos planteados en un inicio tenían que ver más con obtener un resultado relacionado con las crecidas que ha sufrido este curso fluvial y su zona a lo largo de los años y elaborar estudios sobre las mismas. Debido a la inexistencia de información (excluyendo recursos fotográficos) en las distintas fuentes consultadas, se acomodaron los objetivos a los finales.

Dichos objetivos finales incluyen uno general y seis específicos:

### **Objetivo general**

- Analizar la evolución de los usos del suelo y de las precipitaciones en la cuenca del río Sosa y estudiar su incidencia en la evolución hidromorfológica del cauce y en el riesgo de crecidas

### **Objetivos específicos:**

- Elaborar la caracterización de la cuenca.
- Definir las principales características del comportamiento hidrológico del río Sosa.
- Estudiar los cambios de usos del suelo que ha habido en la cuenca del río Sosa en los últimos 40 años.
- Analizar la evolución de las precipitaciones en un periodo de tiempo determinado.
- Estudiar los cambios producidos en el cauce y en la llanura de inundación, desde mitad del siglo XX hasta nuestros días.
- Analizar el riesgo de inundación en la localidad de Monzón.

## 1.3 Antecedentes

Dentro de los estudios de hidrología, tienen un peso importante los episodios de avenida de los ríos, donde los profesionales de dicha rama siempre las han catalogado como preocupantes, ya que en muchos casos se trata de fenómenos extremos que afectan intensamente en el campo socioeconómico y natural a las zonas que las sufren.

Al ser un tema complejo, se ha puesto especial atención y se han intensificado las investigaciones para poder conocer más detalladamente los procesos que forman dichas

crecidas para así poder preverlas y evitar el mayor número de consecuencias negativas posibles.

Esto ha provocado un incremento de las investigaciones y publicaciones científicas sobre el tema de crecidas e inundaciones y crecidas, tanto en el ámbito europeo (Gaume et al., 2009; Kundzewicz, Pinskiwar y Brakenridge, 2012), como en el de la Península Ibérica donde, al margen de trabajos específicos sobre distintos episodios de crecida, destaca alguna revisión sobre el estado de la cuestión en las diferentes demarcaciones hidrográficas (Camarasa y Mateu, 2000)

A nivel regional, en nuestra comunidad autónoma, la tónica seguida con respecto al estudio de crecidas es similar. Se han dado importantes avenidas en diferentes zonas de la geografía aragonesa y por consiguiente se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre las mismas. Buen ejemplo de ello es la llevada a cabo por García Ruíz, Bequería y Lorente (2000) relacionada con los eventos hidrológicos de baja frecuencia en el pirineo central español y sus efectos geomorfológicos.

En relación con los temas específicos que trata el trabajo realizado, existen diversas investigaciones que analizan cuestiones como las que en el mismo se plantean.

En primer lugar, con respecto al estudio de cuencas hidrográficas y la caracterización del comportamiento de los ríos, son destacables estudios sobre ríos pirenaicos, cuyos tramos bajos discurren por la depresión del Ebro (García Ruiz et al., 1996; Barrera, 1999; García Ruiz, Beguería, López-Moreno, Lorente y Seeger, 2001; Ollero, 2006; Del Valle, Ollero y Sánchez Fabre, 2007; Acín et al., 2012). En varios de ellos los mencionados se elaboró un estudio completo de elementos como las pendientes, geomorfología de la zona, estudios climatológicos, estudio de caudales en distintos puntos de la cuenca, estudios de procesos hidrológicos como la escorrentía, etc.

En segundo lugar, en relación con al análisis de cambios de usos del suelo en cuencas fluviales se ha manejado un estudio que evidencia el diferente comportamiento hidrológico en dos pequeñas cuencas mediterráneas bajo diferentes usos del suelo (Sala y Farguell, 2002) o en el conjunto de las cuencas pirenaicas (López Moreno, Beguería y García Ruíz, 2006)

En el campo de los estudios climáticos que ponen énfasis en la relación del clima con elementos del comportamiento hidrológico tenemos varios ejemplos que ponen especial énfasis en la incidencia del factor de la precipitación en la formación de avenidas. Entre ellos, alguno se ocupa de la cuenca alta del Turia (Morell, 2001), y otros se centran en ríos muy próximos a nuestro ámbito territorial de trabajo, como el que trata la respuesta hidrológica al evento de precipitación de Junio de 2013 en zonas como la cabecera del Cinca, la cuenca del Ésera y la cabecera del Esca (Serrano-Notivoli, Mora, Ollero, Sánchez-Fabre, Saz, 2014).

Con respecto a cambios hidromorfológicos podemos destacar la investigación realizada por A. Ollero et al. (2003) tratando la metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicaciones de la Directiva Marco del Agua. También el análisis de la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de Aragón, que es consecuencia de los cambios ambientales en las cuencas (Ollero, Ballarín, Díaz, Mora y Sánchez Fabre, 2006; Ollero et al., 2011))

Finalmente, con respecto ya no de forma genérica a las crecidas, sino más específicamente al riesgo de inundaciones, existe una literatura científica muy amplia, limitando nuestra consulta a trabajos referidos a zonas próximas a la cuenca del río Sosa (Ollero y Pellicer, 1991; Ollero, Pellicer y Sánchez Fabre, 2004; Espejo, Domenech, Ollero y Sánchez Fabre, 2007, Sánchez Fabre et al., 2015) en los que tratan temas relacionados con los efectos de las inundaciones en los cauces, llanuras de inundación, bienes y servicios, así como en la problemática de la gestión de este tipo de episodios naturales.

#### **1.4 Justificación y desarrollo**

En lo que respecta a la justificación, en primer lugar decir que este estudio, al igual que muchos relacionados con el aumento repentino del caudal en cursos fluviales donde éste no es contiguo o es exiguo, es de vital importancia ya que muchos núcleos urbanos están en riesgo de sufrir este tipo de fenómenos extremos protagonizados por los distintos ríos o ramblas que los atraviesan. Para intentar elaborar ese estudio inicial de la dinámica que puede tener un aspecto relacionado con crecidas hay que relacionar numerosos caracteres que influyen en el comportamiento hidrológico del cauce y de su funcionamiento, se trata de aquellos que están relacionados con las principales características del medio natural de toda la cuenca, que es lo que se expone a lo largo del trabajo.

A parte de todas las características del medio natural también tiene una importancia vital saber qué tipo de usos del suelo han habitado en la misma y los que hoy se dan, analizar los posibles cambios y como repercuten en el comportamiento hidrológico del río así como la respuesta ante un evento de crecida.

No haber podido encontrar datos hidrológicos de las crecidas ocurridas en nuestro curso objeto de estudio que posean un carácter relevante ha sido un inconveniente bastante grande a la hora de realizar el estudio, lo que ha dificultado el mismo, aunque sí que se poseen testimonios gráficos y testigos presenciales.

El haber podido obtener datos relevantes nos podría haber permitido establecer la relación entre cada uno de esos eventos extraordinarios y los cambios que se aprecian en la cartografía de usos del suelo y las fotos aéreas que con carácter sincrónico se han analizado.

Aún con todo lo citado, el presente proyecto expone una serie de rasgos de interés que se basan en conocer los factores naturales de la cuenca que determinan el comportamiento hidrológico del curso fluvial del río Sosa, el análisis de los que son más relevantes (precipitaciones y cambios de usos) y la constatación del enorme dinamismo hidromorfológico del río Sosa, muy ligado a las crecidas a partir de su cartografía sincrónica.

A lo largo de este proyecto se van a realizar distintos análisis y estudios de varios aspectos :caracterización de la cuenca y comportamiento del curso fluvial, cambios experimentados a lo largo de una serie de años en los usos del suelo de la cuenca, un pequeño estudio climático profundizando más en la evolución de las precipitaciones a lo largo de un periodo de tiempo, investigar y analizar cambios que ha podido experimentar el cauce del río y la llanura de inundación a lo largo de los años con una serie de herramientas determinadas y por último, se dedicará un apartado a analizar el riesgo de inundación que posee el núcleo de población más importante de su cuenca como es el término municipal de Monzón.



La estructura seguida en el presente trabajo va a ser la siguiente:

En primer lugar, esta introducción contará con distintos apartados encaminados a localizar el área de estudio, a la exposición de los objetivos, a los antecedentes que se han consultado para el desarrollo de los mismos y un último destinado a la justificación y desarrollo del estudio.

En segundo lugar, dada la amplia gama de herramientas, análisis, estudios, materiales y métodos utilizados para dar forma a este proyecto, se ha creído conveniente destinar un bloque a la metodología utilizada, en la cual se expondrá de manera detallada los procesos seguidos para elaborar cada uno de los bloques que forman el estudio realizado.

En tercer lugar, ya se le atribuirá el protagonismo a los distintos aspectos principales de investigación realizados sobre la zona. En primer lugar entra en escena la caracterización de la cuenca del río Sosa y el comportamiento del curso fluvial, donde se distinguen varios subapartados en los que se estudiará la pendiente del curso, su litología, la red hidrográfica, los caracteres climáticos generales y en último lugar su comportamiento hidrológico.

Posteriormente, los cambios en los usos del suelo de la cuenca estudiada forma el segundo bloque temático, donde con distintas herramientas cartográficas y distintos ejemplos de años diferentes se intentarán estudiar los cambios que se han dado en la zona, relacionados con el uso del suelo.

El tercer bloque temático, expondrá los caracteres relacionados con la evolución de las precipitaciones en la zona, tomando como referencia el término municipal de Monzón.

Los cambios en el cauce y en la llanura de inundación, el apartado más extenso y costoso, aparece como cuarto bloque de estudio, donde se intentarán analizar los cambios que se han dado en dichos aspectos mediante unas herramientas determinadas que veremos a continuación.

Finalmente, para cerrar este estudio general, se incluye un apartado dedicado íntegramente al riesgo de inundación que se da en el término municipal de Monzón, que es atravesado por dicho curso fluvial.

Dicha investigación y análisis responde a la insuficiencia de estudios realizados sobre el comportamiento de este río, el cual, históricamente, ha sido bastante importante para la zona, y que, por su comportamiento torrencial, como demuestran alguna de las imágenes de las que se dispone, puede generar problemas en las zonas pobladas como podremos observar posteriormente en el estudio de la misma.

Cabe decir que cada apartado contará en sí mismo con el desarrollo de resultados y discusiones, que aparecerán redactados en cada bloque.

## **2. MATERIALES Y METODOLOGÍA**

En este segundo bloque del trabajo, podremos observar la metodología y las herramientas utilizadas para llevar a cabo el complejo estudio realizado sobre la cuenca del río Sosa. Analizando los materiales y metodología utilizada por cada bloque temático. Como los temas tratados son muchos, también son muy diversos los materiales y metodologías empleadas.

## 2.1 Caracterización de la cuenca y comportamiento del curso fluvial

En una primera instancia se elaboró una caracterización general de la cuenca y de los tipos de comportamiento que muestra el curso fluvial del río Sosa.

La caracterización de la cuenca se ha abordado fundamentalmente mediante la elaboración de la cartografía de los principales rasgos de la misma que afectan al comportamiento hidrológico. Esa cartografía solo se ha podido abordar, una vez se ha recopilado toda la información y todos los datos necesarios de nuestra cuenca objeto de estudio, que en los siguientes párrafos detallamos. Entonces, se ha estado en disposición de realizar la cartografía necesaria a través del sistema de información geográfica ArcMap (versión 10.1)

El primer paso requerido es la delimitación de nuestra cuenca. Para ello con la ayuda de la capa de curvas de nivel y la del MDT, se creará un nuevo Shape en el programa ArcGis, donde podemos realizar de forma muy detallada y precisa esa delimitación de la cuenca objeto de estudio y posteriormente empezar a aplicar información temática sobre la misma.

Para el estudio topográfico de la cuenca y el desarrollo del mapa de pendientes se ha utilizado la información del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25000, descargado de la web del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Lógicamente se han seleccionado las hojas correspondientes a nuestra zona, siendo la 288 y la 326. Nos apoyamos en el MDT25 del IGN y ejecutamos en ArcGis la función Surface – Slope (dentro de Spatial Analyst). Tras realizar esa función se clasifican las pendientes en tramos (porcentajes que van de 0-15; 15 a 40 y 40 a 100)

EL mapa litológico de nuestra cuenca se ha realizado gracias a la utilización de la cartografía geológica de cada una de las hojas que componen nuestra cuenca. Esta cartografía geológica es concretamente el Mapa Geológico de España, escala 1:50000, serie Magna, del Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E). Ahora bien, al no estar elaborada y publicada, en dicho mapa, la hoja 288, tuvimos que recurrir al mapa geológico del I.G.M.E a escala 1:200000 y georreferenciarlo, puesto que éste no está editado en soporte shape, georreferenciado para su uso en Sistemas de Información Geográfica. Este mapa 1:200000 lo obtuvimos también del IGME, pero en soporte jpg y pdf, por lo que se complicó la elaboración del mapa litológico.) En todos estos mapas se describen con detalle las formaciones litológicas que se encuentran en una zona determinada. Dada la cantidad de información litológica que se proporciona, la hemos simplificado adaptándola a nuestros objetivos, es decir, agrupando formaciones litológicas de la misma composición y cronología. Con la nueva agrupación y la zona de estudio delimitada, hemos ejecutado tareas de “Geoprocessing”, como merge y clip, para restringir la cartografía a nuestra zona de estudio.

Para poder estudiar los caracteres climáticos que tiene nuestra área de estudio se ha llevado a cabo la consulta del Atlas climático de Aragón extrayendo de él la información necesaria que interviene en el comportamiento de la cuenca. Afortunadamente se pudieron encontrar datos bastante detallados de Monzón, lo que permitió ver la evolución de las precipitaciones en la cuenca del río Sosa en una serie prolongada, del año 1936 al 2002.

En última instancia, para poder saber cómo es la disposición de los cursos fluviales de nuestra cuenca se ha realizado un mapa de la red de drenaje, contando de nuevo con nuestro SIG ArcMap. De nuevo, la base procede de la cartografía BTN-25 del Instituto Geográfico Nacional, entre cuyas capas se encuentra la correspondiente a los cursos fluviales. Ésta resulta incompleta para nuestros objetivos, por lo que aprovechando la información topográfica que nos ofrecen las capas de curvas de nivel, se ha llevado a cabo un exhaustivo trabajo para completar los cursos y barrancos que componen la red de drenaje de la cuenca del río Sosa. Esto ha permitido proceder a jerarquizar la red, tras un laborioso proceso de subsanación de errores en el dibujo de la red y de topología de esta red de drenaje.

Para poder llevarlo a cabo de forma digital es necesario utilizar un SIG con la capacidad suficiente, aquí ArcMap cumple con una amplia gama de comandos que facilitan la capacidad de análisis de una forma rápida y efectiva. El primer paso es la creación de una "Personal Geodatabase" dentro del mismo proyecto.

Dentro de la nueva "Personal Geodatabase" " - "New" - "Feature data set" este procedimiento crea un nuevo documento al que hemos denominado "ríos". Este nuevo documento "ríos" debe de albergar la información de la red hídrica ya jerarquizada para ello importamos la capa donde lo hemos creado ("importación múltiple") a la nueva creada denominada "ríos"

Para la validación de los segmentos crearemos una nueva tipología "New"- "Topology" aquí copiamos la capa jerarquizada, lo que nos validará las uniones de los segmentos

Seguidamente pasamos a la corrección de errores, estos son errores de dibujo sí como los finales de una línea, nodo final, u otros como doble línea juntas o en paralelo y cualquier errata posible respecto al trazado de líneas, se pasa la conexión o no llega. Para subsanar estos errores haremos clic en el "inspección de errores", en la barra de herramientas "Topology". La ventana "inspección de errores" nos permite gestionar e interactuar con todos los errores de topología del mapa.

Para la jerarquización correcta de la red de drenaje es necesario haber seguido todos estos pasos anteriores correctamente. Con la topología creada y los errores corregidos pasamos a utilizar el método de jerarquización de STRAHLER ya que es sencillo y uno de los más utilizados. Donde para jerarquizar la red se asignan valores numéricos a los órdenes asignando el valor 1 a los cursos que son nacientes de la red. A continuación la conjunción de dos cauces de orden 1 implica que la red de drenaje aumenta de magnitud por lo que a partir del lugar de confluencia se le asigna el valor 2. Seguidamente el lugar de encuentro entre dos cauces de orden 2 implica que la red de drenaje vuelve a ascender por lo que el valor numérico correspondiente a partir de ahí es tres. Así se procede sucesivamente hasta finalizar con la jerarquización de la red de drenaje.

Tras realizar todas estas tareas con ArcGis se ha llevado a cabo un análisis de su morfometría fluvial, cuantificando diversas características tanto de la cuenca fluvial como de su red de drenaje.

Como ya se ha ido indicando, Para el desarrollo de la cartografía se ha trabajado con capas como la de ríos correspondientes a nuestra área de estudio, y curvas de nivel, así como también entidades de población, (correspondiente a las hojas 326 y 288 del BNT-25 del IGN) También nos hemos apoyado en el Modelo Digital de Terreno MDT-25 del propio IGN.

Por otro lado, se ha intentado caracterizar el **comportamiento hidrológico del Sosa** a través de una serie de datos de caudal de las diferentes estaciones de aforo distribuidas en nuestra pequeña cuenca. Estos datos, a priori, se pueden obtener en la web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, concretamente en el Sistema del Anuario de Aforos)... Cabe citar, antes de todo, que la información con la que contamos de partida es mínima, las estaciones de aforo de este río no poseen información publicada en los anuarios de aforo correspondientes y que están a disposición del público en la Web. En ninguna de sus estaciones de aforo, excepto en una (Peralta de la Sal) hay datos a disposición y online.

Como ya hemos dicho, a excepción de Peralta de la Sal, con el inconveniente de que no están verificados y que solo contamos con los de los últimos 7 años ya que se trata de una estación de aforo reciente. Los datos aparecen desordenados, y los diferentes elementos se han tenido que ir hallando manualmente y estableciendo los cálculos determinados, obteniendo los resultados que veremos posteriormente en el trabajo, que no dan partida en muchos casos a afirmar que son estudios fiables (ya que para este tipo de análisis se trabaja con series de años más largas).

## **2.2 Cambios en los usos del suelo de la cuenca**

Para poder formar y completar el segundo bloque temático, se puso en marcha un estudio de los usos del suelo que se han dado en la cuenca objeto de estudio a lo largo de varios años, elaborando representaciones cartográficas y gráficas.

Los materiales utilizados tienen que ver directamente, en primer lugar con la descarga de la información necesaria a través del Instituto Geográfico Nacional, de donde extraemos las capas de CORINE Land Cover para los años 1990, 2000 y 2006.

En segundo lugar, para poder ampliar lo máximo posible los estudios en este bloque, se solicitó al Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, las hojas 288 y 326 de los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos de 1980, en soporte digital.

Con toda la información reunida, a través del SIG que se ha ido utilizando a lo largo de todo el proyecto, ArcMap, se elaboran los diferentes mapas de usos del suelo para cada uno de los años de los que se tiene información, tanto a través de los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos como de Corine Land Cover. Diferentes tareas "Geoprocessing" nos permiten obtener 4 mapas de situación del uso del suelo en la cuenca del río Sosa en distintos momentos

Cabe decir que toda la información obtenida en las leyendas se ha homogeneizado en una misma para así poder visualizar mejor los resultados obtenidos y los cambios producidos.

Otras tareas del SIG nos permiten obtener datos numéricos de porcentajes de cada uso y de su evolución se utilizará el programa Excel para trabajar los datos y expresar gráficamente los resultados obtenidos.

### **2.3 Evolución de las precipitaciones**

Con respecto al estudio de la evolución de las precipitaciones, cabe decir que se ha establecido su análisis para en un período de tiempo comprendido entre el año 1936 y el 2002. Los datos pertenecen a la evolución de las precipitaciones en la localidad de Monzón (Huesca).

Los datos mensuales de precipitación para Monzón, entre los años 1936 y 2002 han sido extraídos de la web del Atlas Climático de Aragón ([anciles.aragon.es/AtlasClimatico/](http://anciles.aragon.es/AtlasClimatico/))

De manera posterior, se han exportado a formato Excel y se han trabajado en dicho programa para poder visualizar gráficamente los resultados obtenidos de dicha evolución.

Las principales operaciones realizadas han sido:

- Cálculo de la media mensual de las precipitaciones recogidas en Monzón a lo largo del periodo de años estudiado. Como resultado se obtienen 12 datos medios correspondientes a cada mes, con su correspondiente representación gráfica.
- Cálculo de las precipitaciones totales anuales, a partir de la suma de los 12 meses de cada año para así poder calcular la evolución de las precipitaciones a lo largo del período estudiado y posteriormente representarlas mediante un gráfico.
- Estudio de la regularidad de las precipitaciones en la serie de años disponible a partir del comando CONTAR.SI y eligiendo como término medio los 400 mm, para así dividir dicha serie en dos bloques, uno de los primeros 33 años y otros de los segundos 33 y poder saber cuántos años de los dos bloques superaron los 400 mm de precipitación y poder juzgar si esa regularidad se ha mantenido a lo largo del periodo de tiempo estudiado, si era más irregular en la primera parte de la serie o en la segunda.

### **2.4 Cambios en el cauce y en la llanura de inundación**

Los cambios en el cauce y en la llanura de inundación, como ya hemos citado anteriormente han supuesto el manejo de gran cantidad de fotogramas, su tratamiento con SIG y su cartografía en soporte digital. Combinando estas tareas conseguimos visualizar todo el cambio que se haya producido desde mitad del siglo XX.

El primer paso ha sido descargar los fotogramas del servicio de fototeca del IGN. Las fotos, disponibles en el visor, pertenecen a los vuelos americanos del 46-47 y del 56-57; del vuelo interministerial del 73-86, y en última instancia, de las imágenes

Dichas fotos, disponibles en el visor, pertenecen a los vuelos americanos del 46-47(escala 1:40000) y del 56-57(escala 1:30000) ; del vuelo interministerial del 73-86(escala 1:18000) y en última instancia, de las imágenes PNOA de 2012. Dichas imágenes fueron descargadas a una escala 1:5000, para poder trabajar con el máximo detalle. La descarga fue efectuada en

formato pdf, que luego con la ayuda del programa Photoshop se transformaron a un formato tiff para conseguir un elevado grado de definición.

Cabe decir, que también se dispone de dos fotografías aéreas correspondientes al vuelo de 1927 facilitadas por el ex – alcalde de Monzón y experto en puentes Ernesto Baringo.

También cabe señalar, que el mismo Ernesto Baringo pudo facilitarme una serie de fotos antiguas que mediante la comparación con unas actuales realizadas permiten constatar la importancia de estos cambios en el cauce fluvial del Sosa.

Posteriormente toda esa información fotográfica se introduce en nuestro SIG Arc – Map, para poder, en primer lugar georreferenciarlas y en segundo lugar cartografiar el estado de la llanura de inundación y cauce fluvial en los momentos correspondientes a cada vuelo.

Se han georreferenciado un total de 29 fotografías aéreas. Se georreferenciaron con ayuda del visor Iberpix, de donde se extrajeron las coordenadas y se introdujeron en la imagen mediante el SIG. Como también hemos citado, tras la georreferenciación vino el análisis de las imágenes, donde se procedió a cartografiar la llanura de inundación (foto por foto) desde la localidad de Monzón hasta el término municipal de Peralta de la Sal para así poder representar cartográficamente los cambios en la llanura.

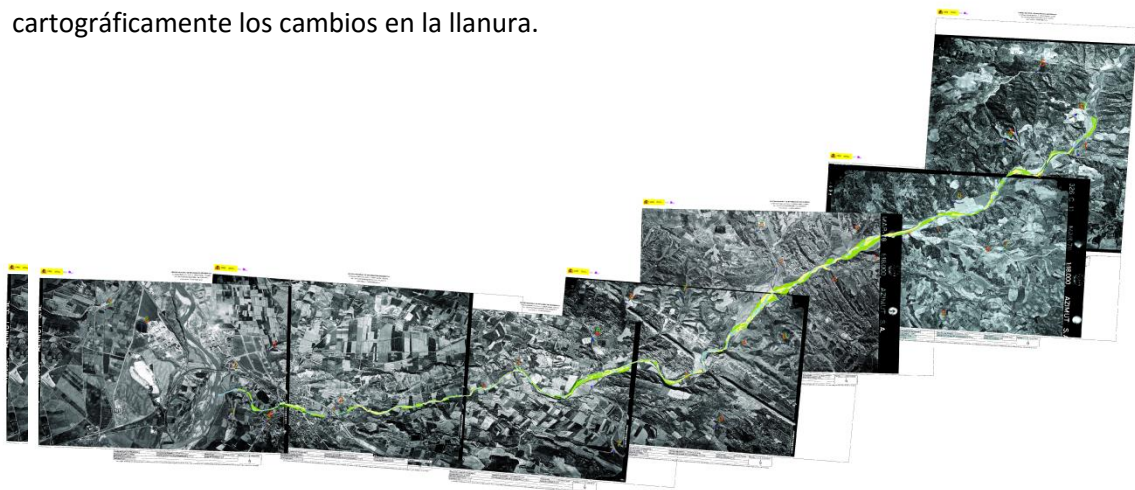


Figura 2. Ejemplo visual del trabajo realizado con el Sistema de Información Geográfica ArcMap.

Elaboración: Propia

## 2.5 Riesgo de inundación

En primer lugar, cabe decir que este quinto bloque del estudio, se ha tenido que reconfigurar (como ya se ha citado en el apartado de objetivos) debido a la imposibilidad de recopilar información, tanto de volúmenes de caudal como de efectos concretos, sobre las distintas crecidas importantes que ha protagonizado el curso fluvial estudiado a lo largo de los años.

Se pretendía dar más protagonismo a las crecidas y para ello se necesitaba información hidrológica, y, como ya de partida era complicado ya que como se ha citado anteriormente, esta cuenca esta aforada desde hace relativamente muy poco. Ni siquiera sale registrada en ningún aforo la espectacular crecida que tuvo lugar el 15 de Agosto de 2006, los únicos datos

recopilados han sido fruto de importantes y complicados trabajos de campo e investigaciones que se establecieron tras esa crecida.

Para poder entrar en contacto con alguna fuente que prestara la información necesaria para poder estudiar las crecidas ocurridas, me dirigí personalmente al ayuntamiento de Monzón, dónde no pude obtener ningún tipo de información de ninguna crecida ni ninguna fecha concreta del aumento repentino del caudal del río Sosa. Posteriormente me dijeron que en una oficina de información de regantes que hay en la ciudad (CEHIMO) existía la posibilidad de que tuvieran algún dato pero no fue así.

Conseguí ponerme en contacto con un periodista de radio Monzón (Francisco José Porquet Abad) que me facilitó el teléfono de un ex – alcalde de Monzón, Ernesto Baringo, quien posee una serie de estudios de puentes de toda la provincia de Huesca, y entre ellos, de los del río Sosa.

Conseguí hasta cuatro reuniones con él en las que me pudo facilitar varias fotografías antiguas con fechas aproximadas, y otras con fechas concretas, así como las fotografías aéreas del vuelo de 1927 para poder ampliar así el estudio de los cambios en la llanura de inundación.

Con toda esta información facilitada por Ernesto Baringo, me dirigí a la Hemeroteca de Zaragoza a ver si existía alguna nota de prensa que verificara la información y así poder recopilar más para poder elaborar mi estudio. Tras buscar durante días en el Heraldo de Aragón y en otras hemerotecas online como la del Diario del Alto Aragón, no pude conseguir ninguna nota de prensa que pudiera prestarme información sobre las crecidas que habían tenido lugar tanto en la ciudad de Monzón como en otras localidades de la cuenca como en Peralta de la Sal.

Ante la inexistencia de información de las crecidas tanto en registros instrumentales como en documentación periodística, la única opción para constatar la importancia de las crecidas del Sosa es acudir al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas inundables. Esencialmente nos hemos centrado en este apartado, en los riesgos de inundación en la ciudad de Monzón, que es donde las crecidas y posibles inundaciones pueden tener mayores repercusiones sociales y económicas.

En primer lugar, se llevó a cabo el proceso de descarga de las cartografías pertenecientes a los riesgos de inundación en Monzón.

Se extrajeron todas las posibles cartografías: riesgos de inundación con un periodo de recurrencia de 10 años, 50 años, 100 años y 500 años.

Posteriormente, relacionando con la información extraída de varios medios periodísticos de la única crecida de la que hay de forma recurrente (la de 2006) se elabora un estudio completo del riesgo de inundación que tiene la localidad y los daños que supuso esta última crecida importante en relación con su caudal.

También para valorar esos daños se consultó las cantidades de caudal que previsiblemente y según el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables poseen las distintas crecidas del

río Sosa en sus distintos periodos de retorno para poder constatar que pasaría si se rebasara esa cantidad de caudal.

### 3. CACTERIZACIÓN DE LA CUENCA Y COMPORTAMIENTO DEL CURSO FLUVIAL

Como hemos podido ver anteriormente, en este primer bloque temático se va a establecer un análisis de las características que posee la cuenca del río Sosa y del comportamiento del mismo curso fluvial. Para alcanzar dicho objetivo se han estudiado la pendiente, la litología, la red hidrográfica, los caracteres climáticos generales, ya que son los factores que en mayor medida condicionan la disponibilidad de agua en el río y en última instancia el comportamiento hidrológico mediante el estudio de los elementos del régimen fluvial.

#### 3.1 Estudio de la pendiente

Con ayuda del modelo digital de elevaciones podemos ver que la cota más alta que se da en toda nuestra cuenca es de 1071 metros (alcanzada en la cabecera, en la sierra de La Carrodilla) y la altitud mínima de la cuenca se localiza en la zona de la desembocadura de este río en el río Cinca, en el término municipal de Monzón, con 245 metros sobre el nivel del mar. A continuación podemos observar en el mapa de pendientes, que el río Sosa cuenta con una zona montañosa en su cabecera, donde se dan las mayores pendientes, y donde en pocos kilómetros salva un desnivel importante; sin embargo los últimos kilómetros de curso fluvial se adentran ya prácticamente en una zona con pocos desniveles, donde la pendiente es menos pronunciada. Dichas pendientes como factor geográfico que son, van a favorecer unos procesos frente a otros dentro del denominado ciclo hidrológico de nuestra cuenca, la erosión será más fuerte porque el agua al salvar mayor altitud en menor distancia contara con una fuerza más acusada en la cabecera que en la zona más llana. La acción de la escorrentía, donde la pendiente es mayor y donde no se cuente con una cubierta vegetal uniforme y frondosa también tendrá un papel importante, que alimentaran los flujos de la cuenca y estos harán que aumente el caudal del río.

A continuación podemos observar la cartografía elaborada para poder visualizar todo lo expuesto anteriormente:

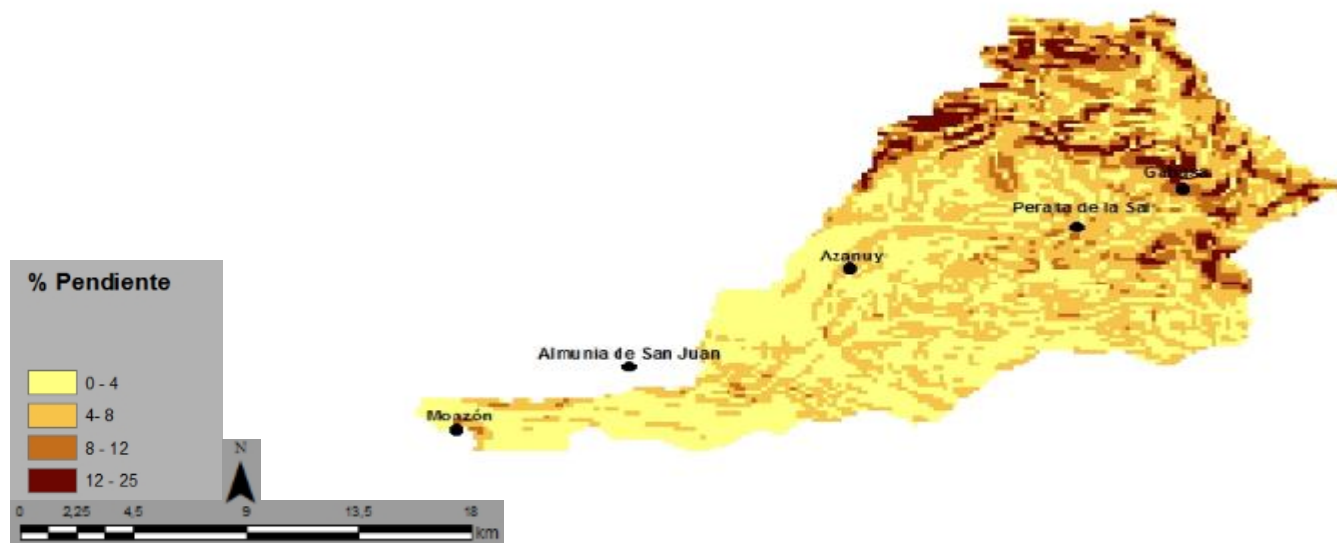




Figura 3. Mapa de pendientes cuenca del río Sosa

Fuente: IGN

Elaboración: Propia

### 3.2 Litología

Observamos el mapa y podemos ver que la cuenca del río Sosa cuenta con una serie de materiales, que en su cabecera aparecen plegados (zona montañosa de la sierra de la Carrodilla, forma parte de las sierras exteriores pirenaicas).

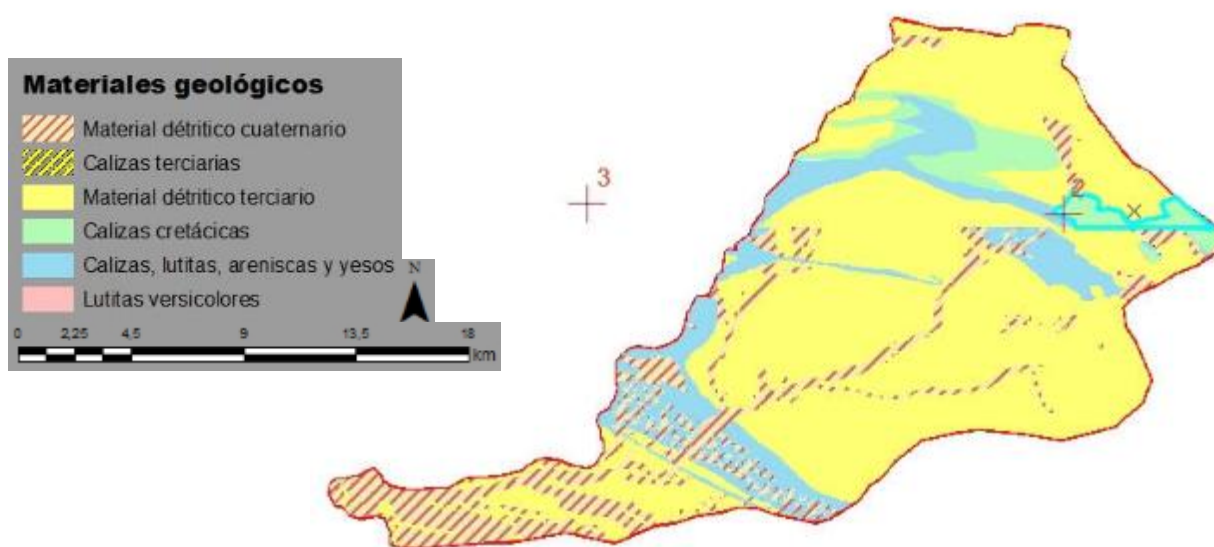


Figura 4. Mapa litológico de la cuenca del río Sosa

Fuente: IGN

Elaboración: Propia

La zona meridional de la cuenca, presenta más detalle que la zona septentrional debido a las dificultades que ya hemos citado anteriormente, donde tuvimos problemas para poder completar la información a escala 1:50000. Al tener que georreferenciar un mapa a escala 1:200000 la información no fue tan detallada como en la meridional que contamos con un mapa de menor escala y más detalle. Aún con todo vemos el dominio del material detrítico terciario plegado en la zona norte y la zona de calizas cretácicas correspondientes con esa parte de las sierras exteriores pirenaicas, zona de la Sierra de la Carrodilla y otras situadas más al este. Estamos ante litologías que facilitan la percolación y la infiltración en amplias zonas que favorecerá a su vez, en muchos puntos el alimento del freático, que en esta cuenca tiene un papel destacado. Predomina el material detrítico cuaternario en las márgenes de todo el curso fluvial como es evidente. En las zonas meridionales, zonas de somontano, hasta la llegada del curso fluvial al valle ya del río principal (Cinca), vemos el predominio de ese

material detrítico terciario también no tan plegado. En cuanto nos adentramos ya en la zona de su desembocadura el material de relleno cuaternario adquiere completamente el protagonismo.

### 3.3 Red Hidrográfica

En la red de drenaje (sistema jerarquizado de los cauces), podemos observar desde las primeras corrientes que se generan en vales y barrancos hasta las que ya adquieren más importancia y acaban formando el río principal de toda la cuenca. El río Sosa o el barranco de “La Sosa” como es conocido popularmente en la zona cuenta con una “doble cabecera” aunque la principal se haya considerado para muchos la que proviene de Calasanz, y oficialmente se diga que su nacimiento tiene lugar hacia esa dirección en la sierra de La Carrodilla,

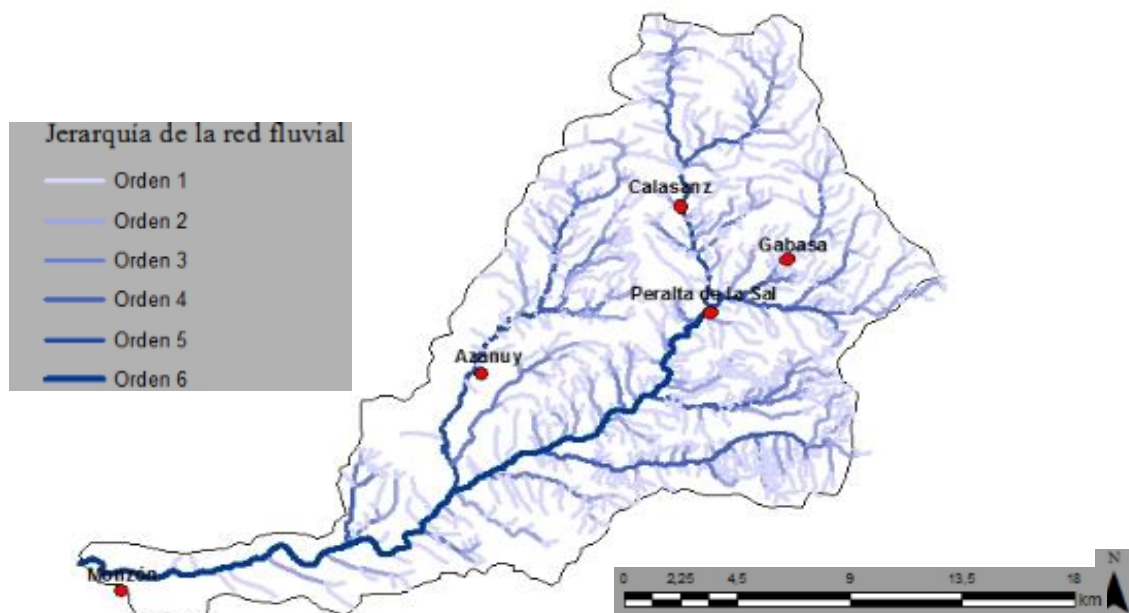


Figura 5. Jerarquización de la red fluvial

Fuente: IGN

Elaboración: Propia

se puede decir que este curso tiene dos fuentes una la ya citada, y otra en Calasanz. Se puede apreciar de manera evidente dicho fenómeno en la figura 4, donde ambas fuentes confluyen el término municipal de Peralta de la Sal.

El río Sosa tiene un comportamiento de rambla en muchas ocasiones y su caudal es muy escaso como ya hemos citado. Aun así se han podido contabilizar en la jerarquización hasta 6 órdenes, como se puede observar en la leyenda del mapa, lo que inicialmente hace pensar que dispone de una red fluvial bien jerarquizada.

### 3.4 Caracteres climáticos generales

En referencia al clima que condiciona el comportamiento de la cuenca estudiada, nos vamos a fijar sobre todo en el régimen de precipitaciones y en la evapotranspiración. Además, contamos con el balance hídrico como elemento que puede mostrar una correlación muy directa con el comportamiento hidrológico de nuestra cuenca. Luego con ayuda de los datos veremos como el balance hídrico es intensamente deficitario, desde la cabecera de la Cuenca (Peralta de la Sal) hasta Monzón (desembocadura) donde se va intensificando conforme descendemos de altitud, las precipitaciones disminuyen y la temperatura media aumenta, como es normal.

Los datos muestran, en el Atlas climático de Aragón, que el régimen de precipitaciones a nivel de la comunidad autónoma es escaso y su reparto es muy dispar. Influenciado por la orientación de las laderas y sobretodo con el desarrollo altitudinal. En este caso, estamos en la zona oriental de la provincia de Huesca, una zona en la que las precipitaciones no se caracterizan por su abundancia, aunque en nuestra cuenca los datos oscilan en las cotas más bajas (Monzón, desembocadura) sobre los 400 mm de precipitación y en las cotas más altas, en las zona de Peralta de la Sal donde se inicia el curso principal del río Sosa tras alimentarse de las dos cabeceras pasan los 520 mm, siendo un poco superiores en las zonas de sierra de la cabecera pero sin traspasar los 600. Por lo tanto estamos ante una zona que con respecto a las precipitaciones podemos asociar con un clima mediterráneo de interior y dándose los máximos de precipitación, bien marcados, en otoño y en primavera como es característico de esta zona climática.

Podemos apreciar esos dos máximos en el siguiente climograma correspondiente a la localidad de Monzón:

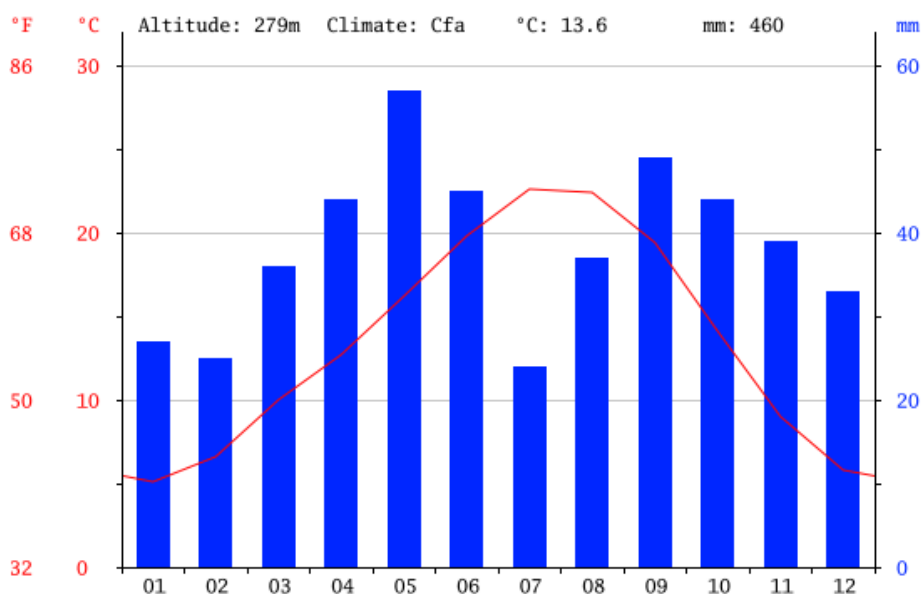


Figura 6. Climograma de Monzón.

Fuente: <http://es.climate-data.org/location/34168/>

Y el siguiente correspondiente al municipio de Peralta de la Sal:

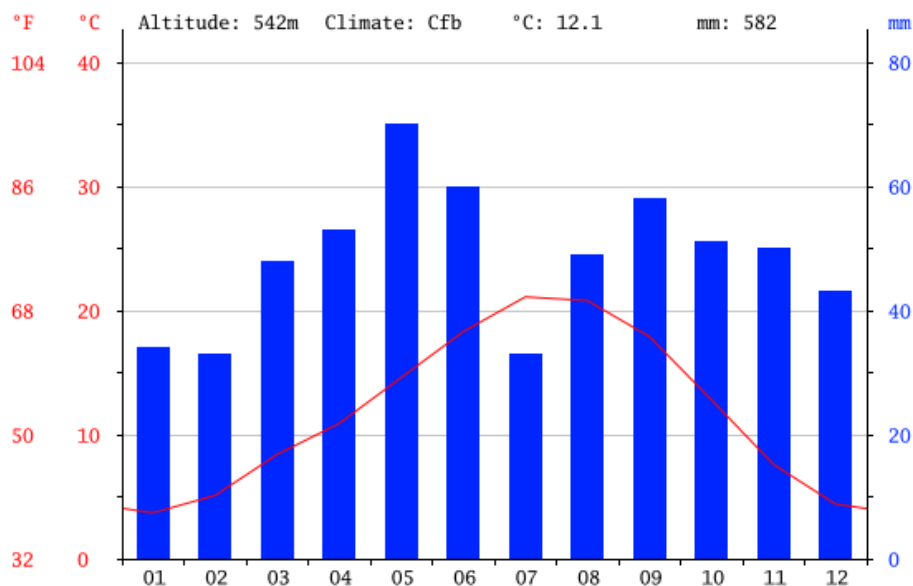


Figura 7. Climograma de Peralta de la Sal

Fuente: <http://es.climate-data.org/location/360065/>

A continuación, presentamos una tabla con los datos climáticos medios del observatorio de Peralta de la Sal o Peralta de Calasanz. Son los siguientes

	Balance hídrico	Evapotranspiración	Precipitación	T (max)	T (min)	T (med)
ENERO	13,43	25,72	39,16	7,05	-0,96	3,04
FEBRERO	-16,03	42,29	26,25	11,05	0,53	5,79
MARZO	-42,52	75,61	33,09	15,15	2,53	8,84
ABRIL	-48,32	102,41	54,07	16,87	4,22	10,54
MAYO	-76,67	145,09	68,41	21,8	8,66	15,23
JUNIO	-132,08	179,82	47,73	26,57	12,3	19,43
JULIO	-186,41	207,18	20,77	30,79	15,39	23,09
AGOSTO	-138,19	176,42	38,22	30,13	15,55	22,84
SEPTIEMBRE	-58,57	115,15	56,57	25,06	12,11	18,59
OCTUBRE	-17,7	70,43	52,72	18,97	7,78	13,37
NOVIEMBRE	11,13	35,05	46,18	12,19	3,15	7,67
DICIEMBRE	17,88	25,11	42,99	8,42	0,59	4,5

Tabla 1.

Fuente: Atlas Climático de Aragón

Elaboración: Propia

Hemos creído conveniente también, incluir unos datos anuales de otro punto de referencia, como es Monzón, situado en la zona baja de la cuenca para así poder contrastar los datos entre una zona de cabecera como es Peralta y una zona de desembocadura como es Monzón.

<b>Datos anuales</b>	<b>Peralta de la Sal</b>	<b>Monzón</b>
<b>Balance Hídrico</b>	-674,08	-881,55
<b>Evapotranspiración</b>	1.200,325	1273,031
<b>Precipitación</b>	526,24	391,48
<b>Tmed</b>	12,75	14,81

Tabla 2.

Fuente: Atlas Climático de Aragón

Elaboración: Propia

Los datos de las tablas 1 y 2 evidencian los caracteres climáticos citados anteriormente. A destacar los elevados niveles de evapotranspiración que hay (superiores a las precipitaciones sin duda) y que como consecuencia trae ese elevado déficit (observado en el balance hídrico). Caracteres climáticos que jugarán un papel importante en el comportamiento de nuestro curso fluvial del cuál no podemos esperar grandes caudales ya que no hay gran abundancia de precipitaciones y si fuerte evapotranspiración y balance hídrico negativo. También puesto que las precipitaciones se concentran en determinadas épocas del año, el ritmo de los caudales, posiblemente, manifestará estas variaciones.

### 3.5 Comportamiento hidrológico

En éste último apartado del primer bloque temático, nos centramos en el comportamiento hidrológico que tiene el río Sosa a partir del análisis de los elementos del régimen fluvial. Como ya hemos citado anteriormente las conclusiones de este apartado sólo son relativamente “fiables” dada la disponibilidad de datos existentes para elaborar los estudios. Y deben quedar pendientes de verificación cuando en una década se tenga una serie más larga.

#### 3.5.1 Irregularidad interanual

La variedad de caudal medio anual que se producen en los ríos a lo largo de una serie de años forma el concepto de irregularidad interanual. El río Sosa no es una excepción por lo que en la siguiente gráfica se observa como en la serie de años estudiada desde 2008 a 2015 el caudal anual se comporta de formas diferentes. Los datos de la cuenca del Sosa pertenecen al aforo de Peralta de la Sal, para el que se ha calculado el modulo anual, representado por una línea roja, con un valor de  $0.03311 \text{ m}^3/\text{seg}$ . El coeficiente de irregularidad que se extrae de los datos del río Sosa tiene un valor de 2,2468, lo que catalogaría a nuestro curso fluvial como un curso con una gran regularidad. No obstante estamos ante un dato engañoso, como ya hemos citado antes en el apartado de metodología, los datos y la información que poseemos sobre este curso fluvial son mínimos y con lo que tenemos solo hemos podido establecer un estudio de 7 años, comprendidos entre 2008 y 2015, por lo tanto no podemos afirmar con exactitud que se trate de un curso fluvial cuyo caudal sea muy regular, además su caudalosisidad, es muy baja. De hecho dado su comportamiento como rambla en un ámbito climático mediterráneo

estamos convencidos de que el valor real de irregularidad es mucho más elevado de lo aquí calculado. Pero para corroborarlo será necesario disponer de una serie de, al menos 20, años más que permita establecer un valor de coeficiente de irregularidad, entonces ya sí “fiable”.

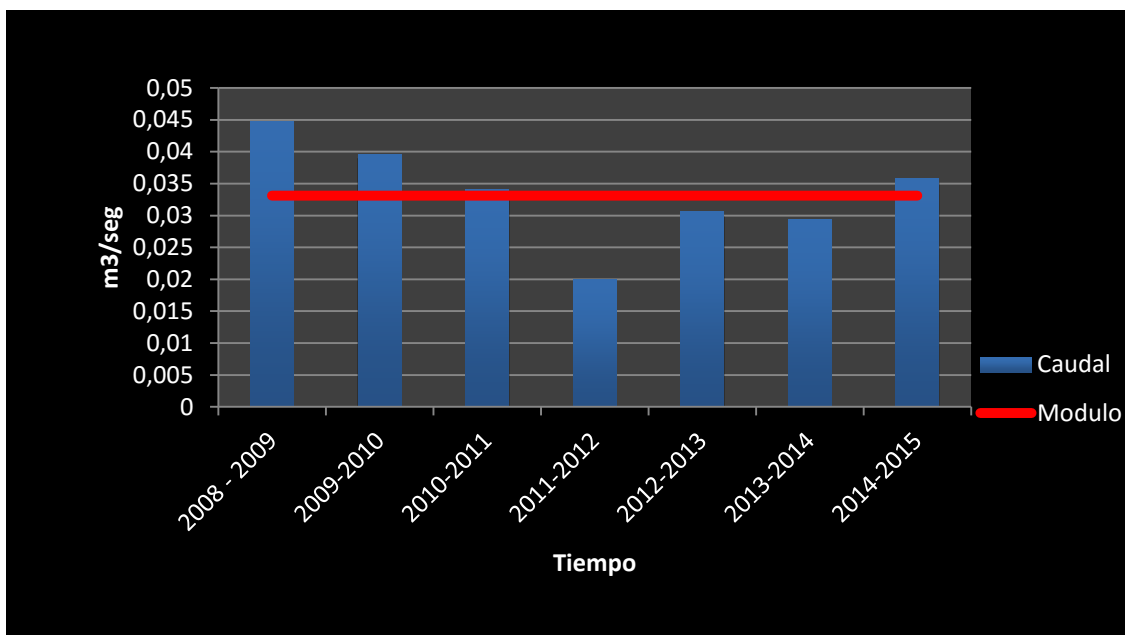


Figura 8.

Irregularidad Interanual río Sosa

Fuente: Anuario de Aforos

Elaboración: Propia

### 3.5.2 Variación estacional

La variación estacional representa el régimen de los ríos, teniendo en cuenta el caudal y el periodo anual, por lo que es posible diferenciar las características de cada régimen, con sus influencias climáticas según las características de la variación estacional del caudal.

Observando el gráfico vemos como la variación estacional concuerda con un régimen simple de tipo pluvial, las fluctuaciones estacionales del caudal se asocian con las características climáticas mediterráneas ya que en los periodos de primavera se encuentra el máximo de precipitación que coincide con el máximo de caudal, y en los meses de verano los mínimos, en el periodo invernal se da otro aumento pero en este caso de menor importancia. Como podemos observar las gráficas que representan la variación estacional y el coeficiente de caudal son idénticas, como no podía ser de otro modo, dándose un máximo en los meses de primavera, en Mayo y un mínimo en los meses de estiaje, Julio y Agosto.

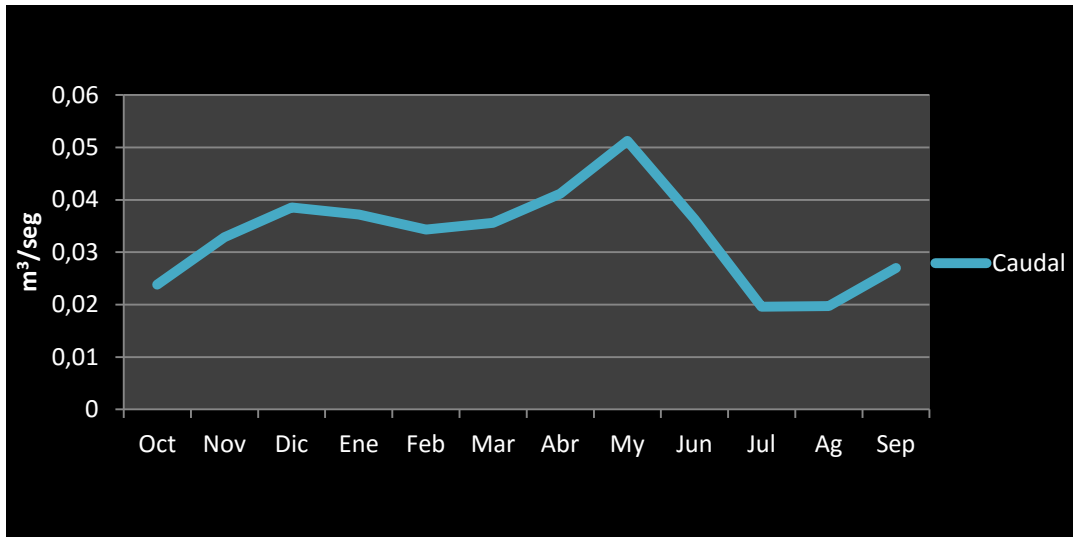


Figura 9.

Variación estacional del caudal río Sosa

Fuente: Anuario de Aforos

Elaboración Propia

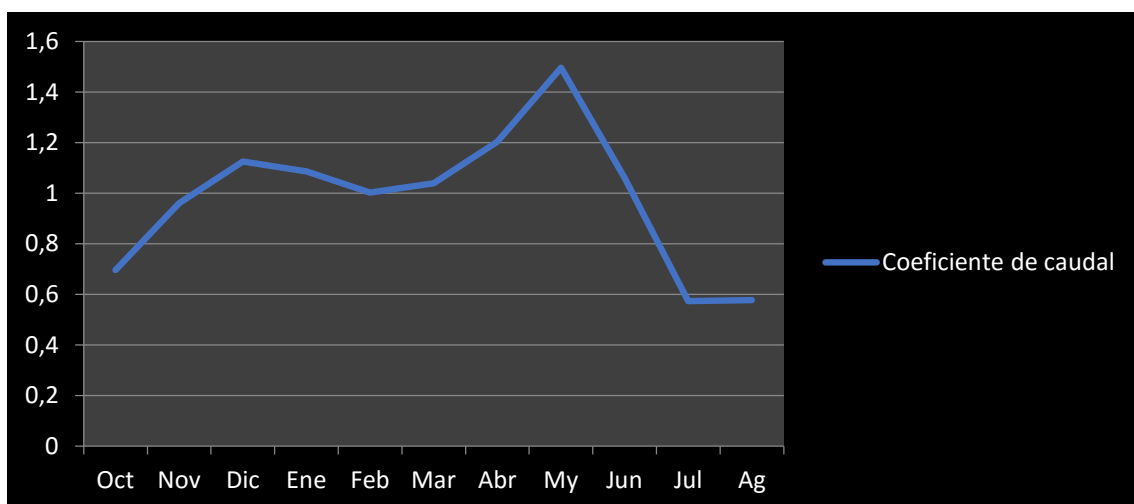


Figura 10.

Coeficiente del caudal del río Sosa.

Fuente: Anuario de Aforos

Elaboración: Propia

### 3.5.3 Fenómenos extremos

Como fenómenos extremos del funcionamiento de los ríos diferenciamos las crecidas y los estiajes, que son variaciones temporales bruscas de caudal ya sean por aumento, crecidas o por déficit, estiaje. Respecto de las crecidas cabe destacar el concepto de inundación, momento en el cual el cauce del río no puede contener la cantidad de agua que discurre y ésta

desborda los límites del mismo. Por lo que estos acontecimientos no se producen siempre en el mismo momento.

Para que se contabilice una crecida efectiva debe superar al menos 5 veces el módulo del caudal, aunque estos criterios están en discusión entre los especialistas internacionales. También se puede destacar otra diferencia entre crecidas, algunas contabilizadas como habituales y otras como extraordinarias, estas suelen ser de una mayor proporción respecto a la destrucción de las zonas cercanas.

En el caso del río Sosa las crecidas más recientes corresponden con los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre. La primera crecida (Fig.11) se desarrolla en el periodo transcurrido entre el 27 de Noviembre al 3 de Diciembre momento en el que el caudal vuelve a niveles normales.

El 28 de Noviembre de 2014, se desarrolla la mayor parte de la curva de ascenso del caudal del río Sosa. Tras el tiempo de ascenso se llega al pico de crecida, el cual coincide con el día 30 de Noviembre, con un caudal de 3,273 m<sup>3</sup>/seg, momento en el que el caudal comienza su descenso conocido como la curva de descenso. La curva de ascenso se contempla en dos días, en tanto que la de descenso tan sólo necesita una jornada, si bien se prolonga algo más la curva de agotamiento, pero ya con niveles de caudal muy bajos.

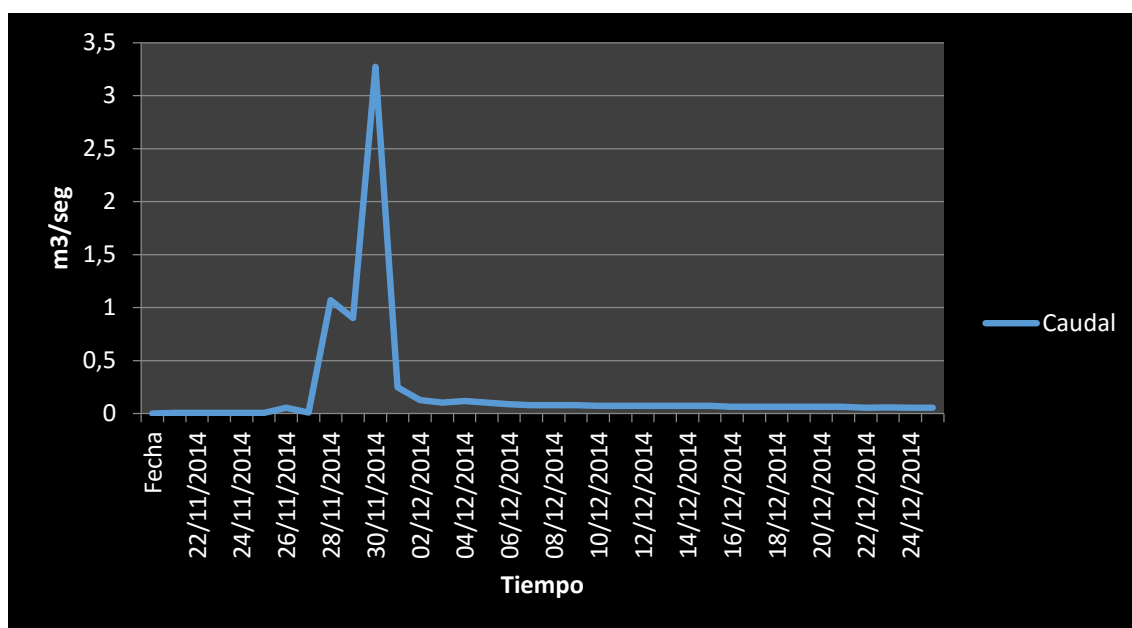


Figura 11.

Hidrograma de crecida 1.

Fuente: Anuario de Aforos

Elaboración: Propia



En la segunda gráfica se observan dos crecidas con gran diferencia en intensidades, la primera crecida aparece en entre los días 27, 28 y 29 con un pico de  $1,92 \text{ m}^3/\text{seg}$  pudiendo ser catalogada como crecida habitual. En el segundo periodo se produce un gran aumento en un corto periodo de tiempo durante los días 2, 3 y 4 de Diciembre llegando a alcanzar un pico de crecida de  $6,926 \text{ m}^3$ . Esta crecida es de mayor intensidad, pero no llega a ser catalogada como extraordinaria.

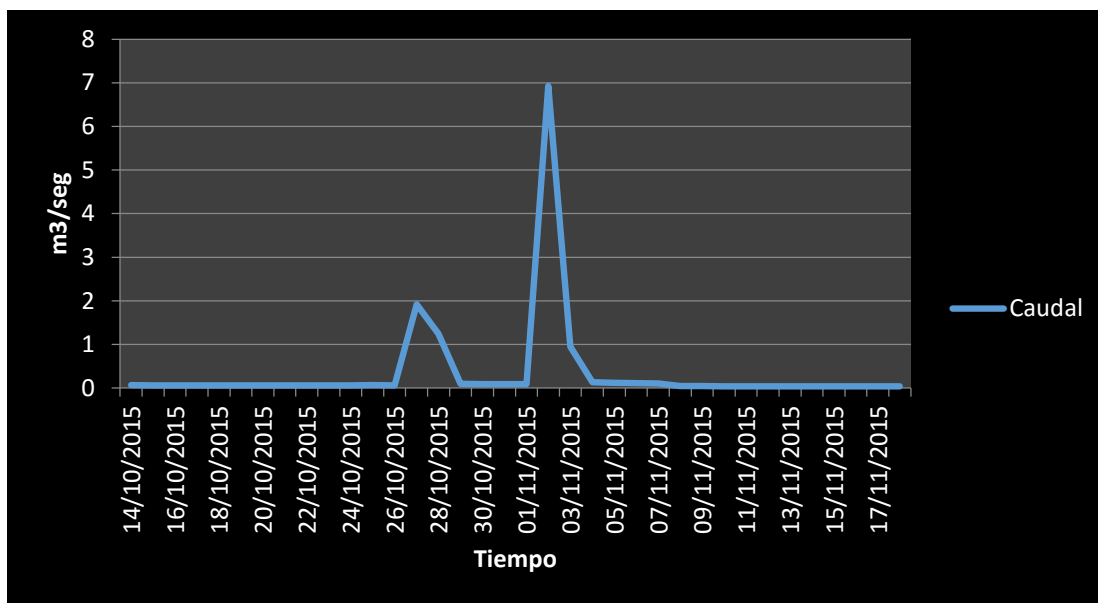


Figura 12.

Hidrograma de crecida 2.

Fuente: Anuario de Aforos

Elaboración Propia

El estiaje es conocido como un descenso acentuado del caudal del río, es posible que el caudal llegue a 0. De hecho en este río dado el escaso volumen de caudal que se contabiliza en el aforo de Peralta de la Sal es posible que el caudal llegue a 0. Para que se considere estiaje o sequía hidrológica es necesario que el caudal sea inferior a la mitad del caudal medio mensual más bajo. En este caso el umbral de estiaje se fija en  $0,009803 \text{ m}^3/\text{seg}$ . El periodo de estiaje se produce en los meses de septiembre y octubre de 2012 más concretamente entre los días 14 de septiembre y el 10 de Diciembre. Durante este periodo de tiempo el caudal del río Sosa en el aforo de Peralta de la Sal es de 0.

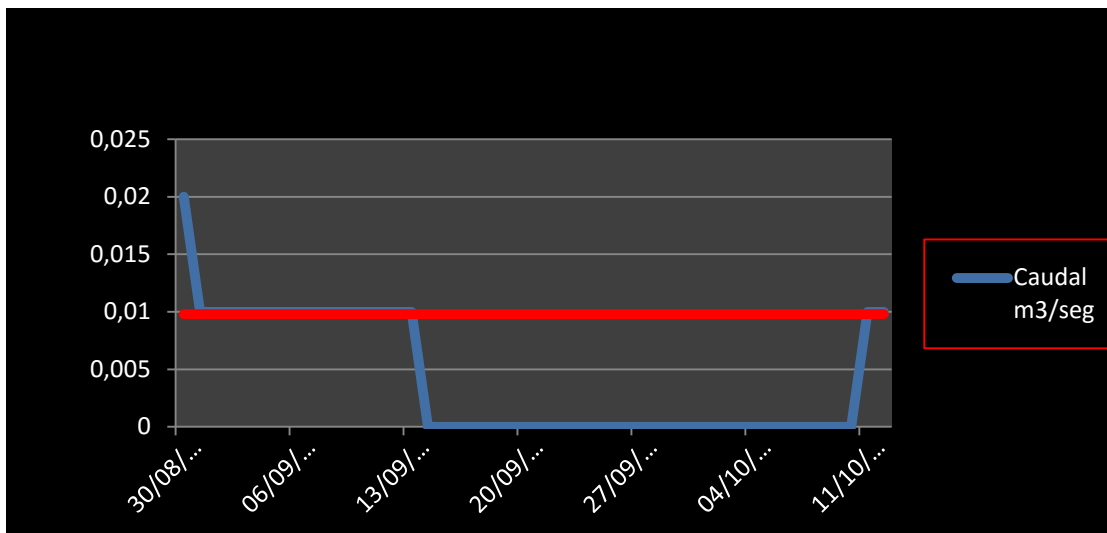


Figura 13.

Gráfica de estiaje 1.

Fuente: Anuario de Aforos

Elaboración: Propia

En la segunda gráfica de estiaje integra el periodo de tiempo delimitado desde el día 17 de Octubre de 2012 hasta el 2 de Noviembre de 2012. En este periodo se alternan días donde la precipitación crea breves interrupciones en el periodo de estiaje, estos días coinciden con los días 22 y 28 de Octubre

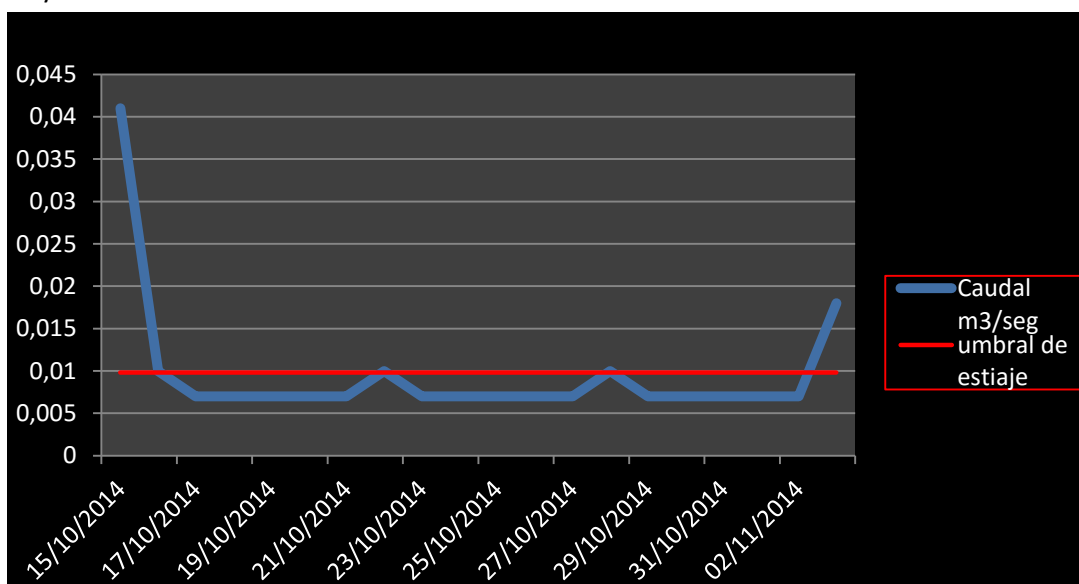


Figura 14.

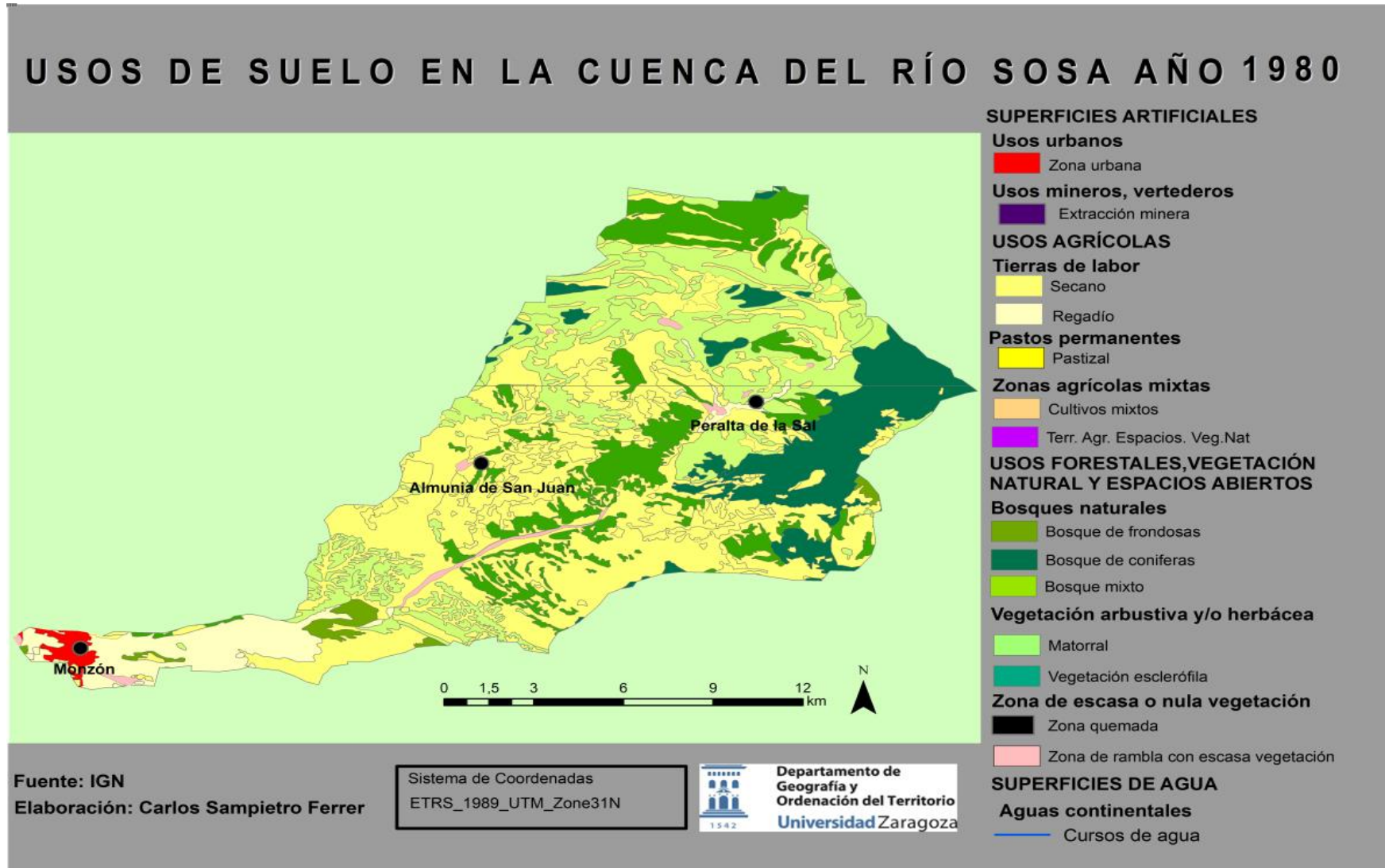
Gráfica de estiaje 2.

Fuente: Anuario de Aforos

Elaboración Propia

#### 4. CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO DE LA CUENCA

Los resultados cartográficos obtenidos tras aplicar las herramientas citadas en el apartado de metodología son las siguientes:



En primer lugar, el mapa correspondiente a los usos del suelo que se daban en la cuenca del río Sosa en el año 1980, extraído de las hojas correspondientes a la cuenca del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos serie antigua o primera serie.

Como podemos observar en la figura 15, los usos principales que se dan en dicho año son los siguientes:

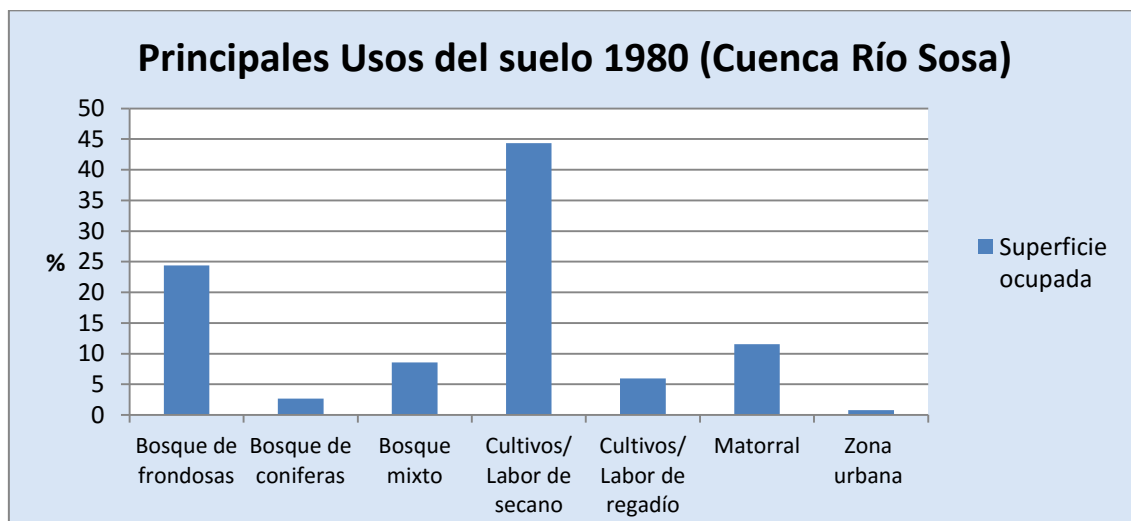


Figura 15

Representación gráfica perteneciente a los principales usos del suelo en 1980

Elaboración: Propia

Se observa el dominio evidente de los cultivos de secano con respecto a la superficie ocupada en la cuenca, llegando a alcanzar cifras cercanas al 40%. En segundo lugar, ocupando un porcentaje ya más bajo pero notable entran en juego los bosques de frondosas, con una superficie que se acerca al 25%.

En segundo lugar se representa la cartografía correspondiente a los usos del suelo de nuestra área de estudio en el año 1990, extraído del del Corine Land Cover:

# USOS DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO SOSA AÑO 1990

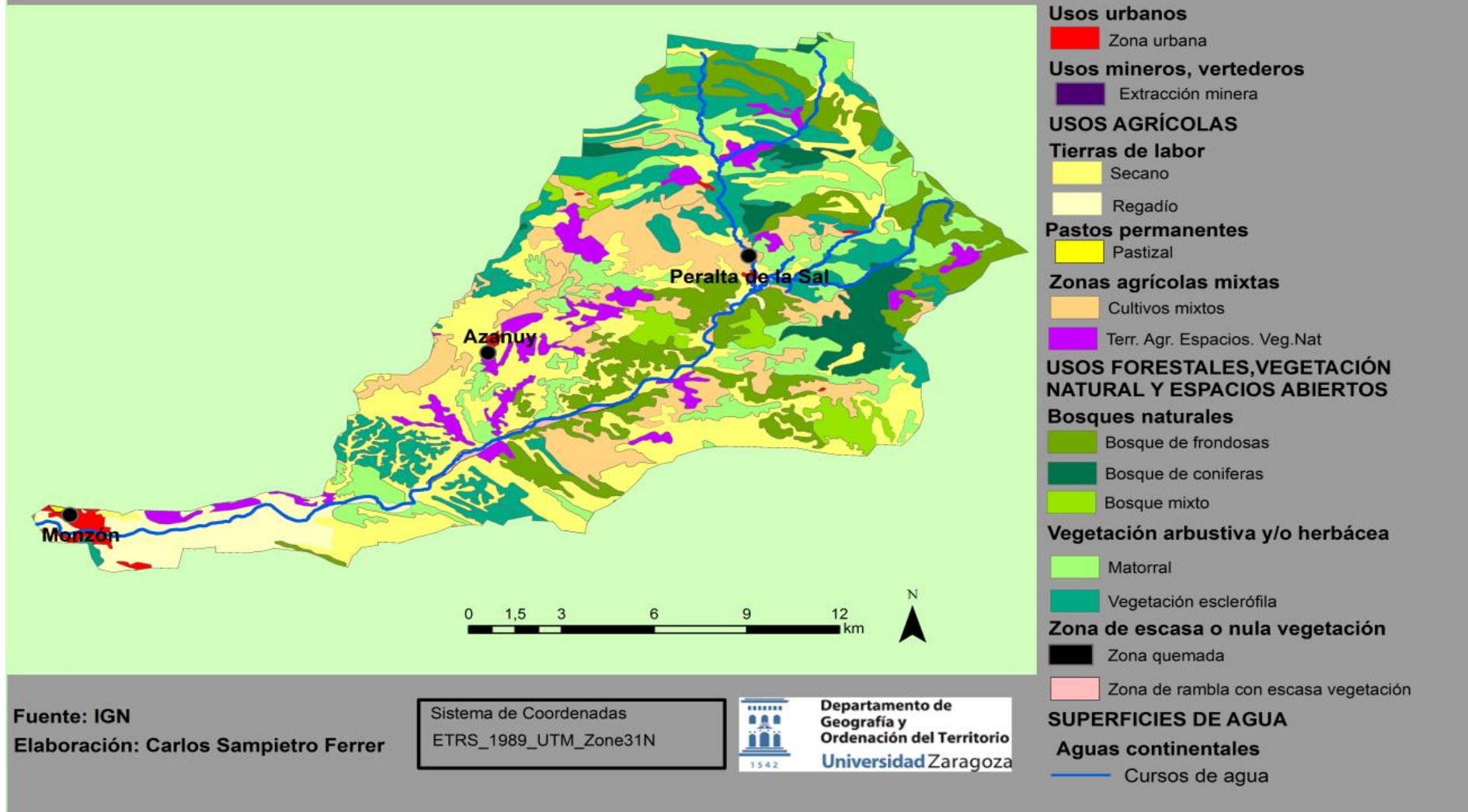


Figura 16

Centrándonos en la cartografía de usos del año 1990, podemos observar la variabilidad de usos que se dan en la figura 17:

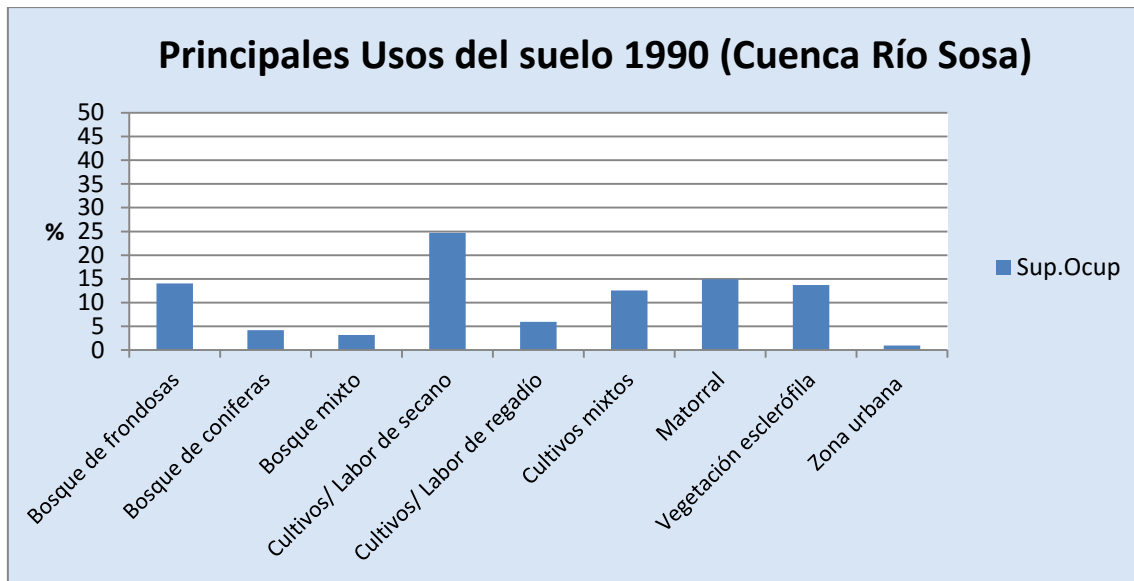


Figura 17

Representación de los usos del suelo de 1990 en la cuenca del Sosa

Elaboración: Propia

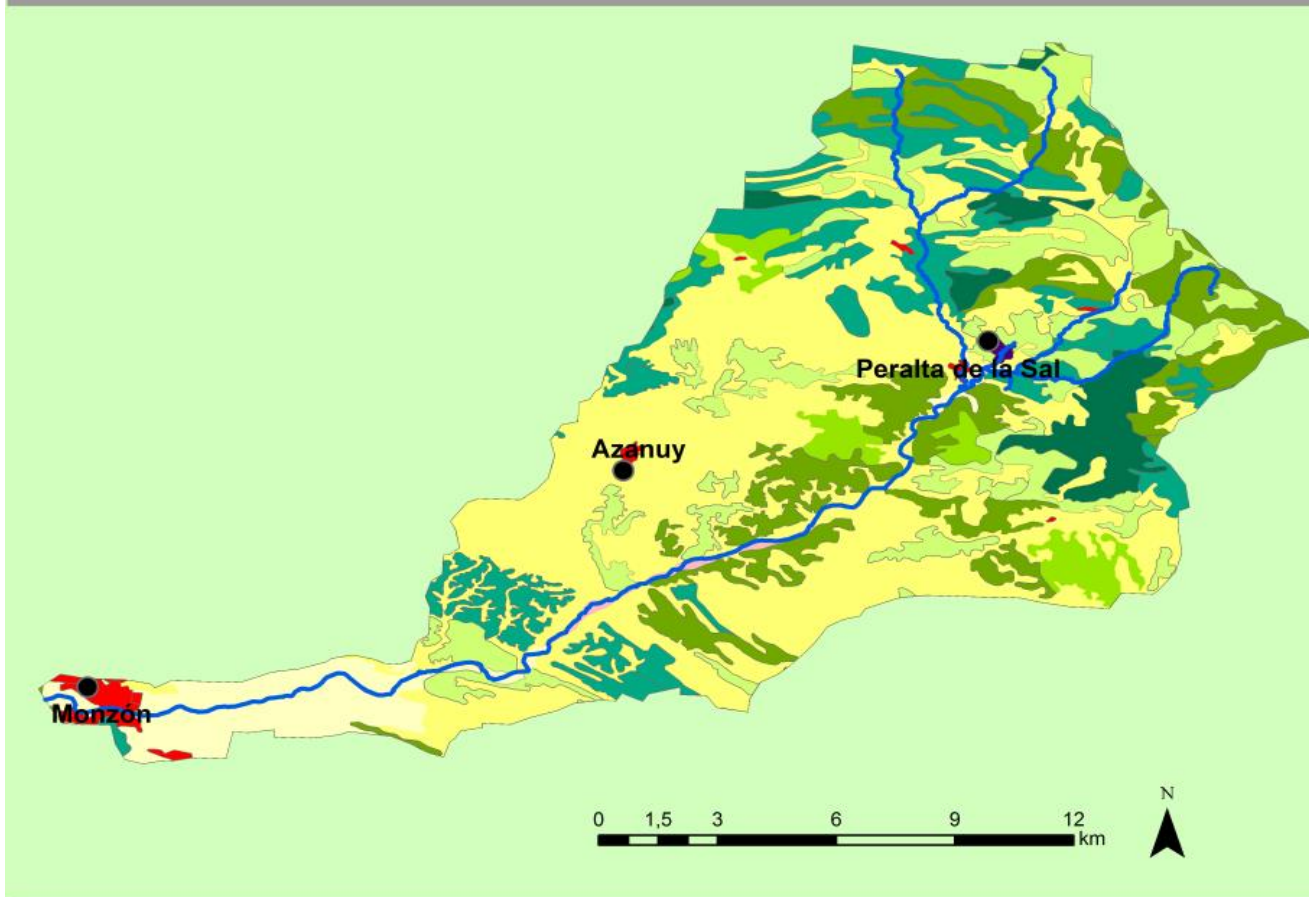
Podemos observar como los cultivos de secano ocupan una mayor superficie con respecto a los demás usos, alcanzando un 25% de la misma.

El matorral, situado en segundo lugar, casi ocupa del 15% de la superficie, encontrándose con valores similares los bosques de frondosas y la vegetación esclerófila.

Los cultivos mixtos también se puede observar que rebasan el 10% del total de la superficie de la cuenca.

Seguido a ello, la cartografía perteneciente a los usos del suelo de la superficie drenada por el río Sosa del año 2000, extraída de la misma forma que el anterior, del Corine Land Cover.

# USOS DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO SOSA AÑO 2000



## SUPERFICIES ARTIFICIALES

### Usos urbanos

■ Zona urbana

### Usos mineros, vertederos

■ Extracción minera

## USOS AGRÍCOLAS

### Tierras de labor

■ Secano

■ Regadío

### Pastos permanentes

■ Pastizal

### Zonas agrícolas mixtas

■ Cultivos mixtos

■ Terr. Agr. Espacios. Veg. Nat

## USOS FORESTALES, VEGETACIÓN NATURAL Y ESPACIOS ABIERTOS

### Bosques naturales

■ Bosque de frondosas

■ Bosque de coníferas

■ Bosque mixto

### Vegetación arbustiva y/o herbácea

■ Matorral

■ Vegetación esclerófila

### Zona de escasa o nula vegetación

■ Zona quemada

■ Zona de rambla con escasa vegetación

## SUPERFICIES DE AGUA

### Aguas continentales

— Cursos de agua

Fuente: IGN

Elaboración: Carlos Sampietro Ferrer

Sistema de Coordenadas  
ETRS\_1989\_UTM\_Zone31N



Departamento de  
Geografía y  
Ordenación del Territorio  
Universidad Zaragoza

Figura 17

En la figura 18 se representa gráficamente los usos de suelo más significativos que prevalecían en la cuenca del río Sosa en el año 2000:

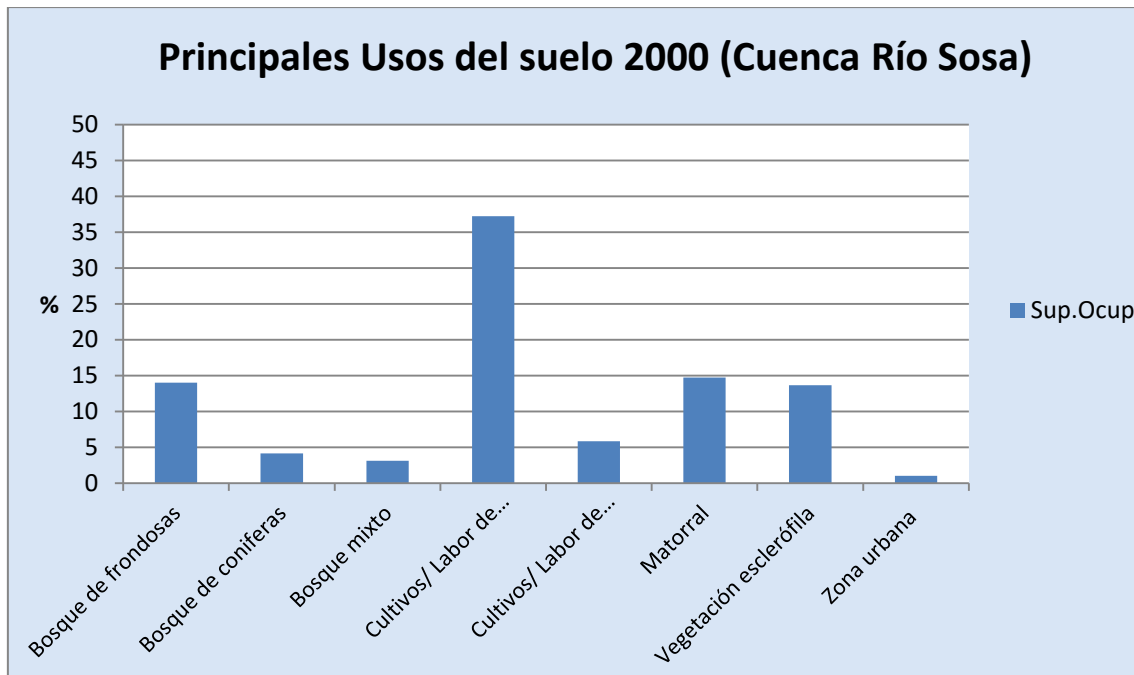


Figura 18

Usos del suelo cuenca del río Sosa 2000

Elaboración: Propia

Se observa claramente el gran dominio de los cultivos de secano, con cifras situadas en torno al 37 % de ocupación de superficie.

La vegetación esclerófila, los bosques de frondosas, la vegetación esclerófila y el matorral se mueven porcentualmente entre el 10 y el 15% siendo esta última ligeramente superior.

Y finalmente, la cartografía correspondiente a las formaciones y usos que se dan en 2006, también del Corine Land Cover:



# USOS DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO SOSA AÑO 2006

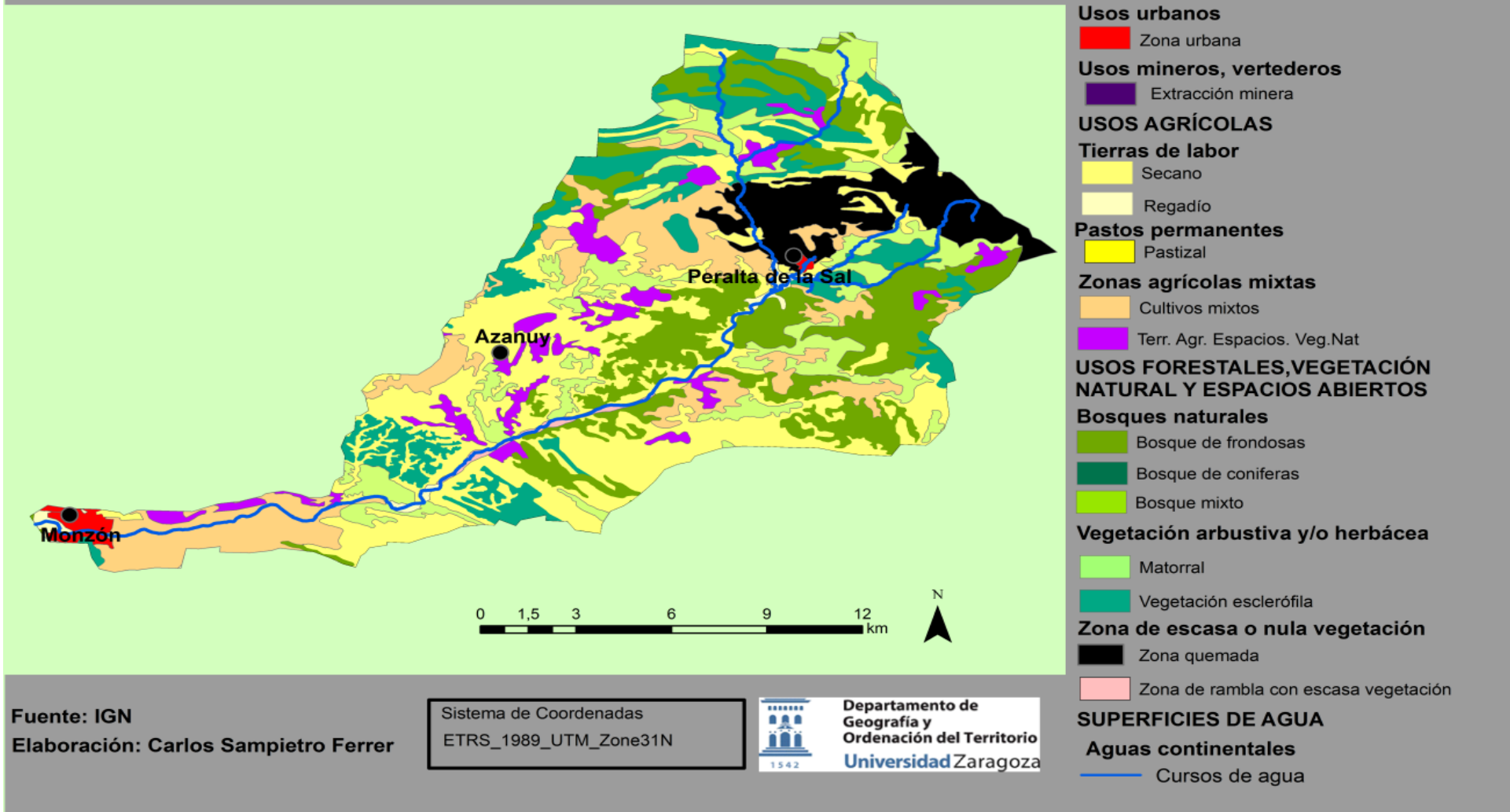


Figura 19

Como se ha ido realizando, a continuación observamos los usos del suelo más significativos en la cuenca del río Sosa en el año 2006 mediante el gráfico siguiente (fig.20)

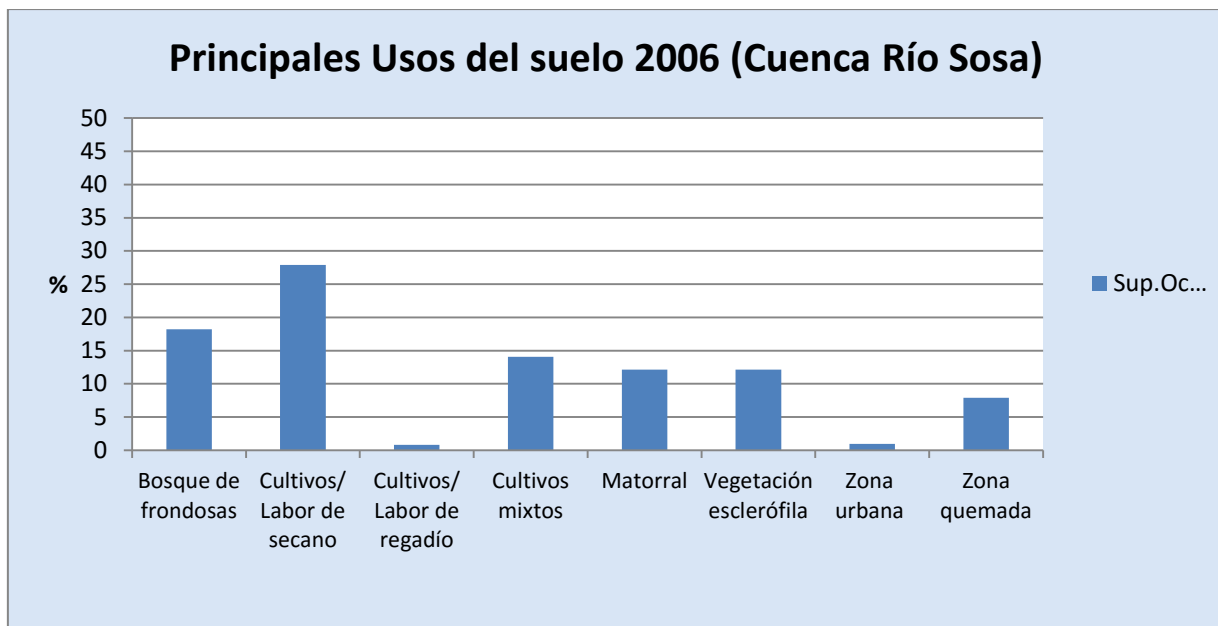


Figura 20

Usos del suelo cuenca del río Sosa 2006

Elaboración: Propia

Analizando la información en vistas a la figura 21, en una primera instancia, se puede decir que los usos del suelo en la cuenca del río Sosa han variado mucho. En primer lugar, con respecto a los bosques de frondosas, observamos como en 1980, el porcentaje de ocupación de dicha vegetación era del 24,37%.

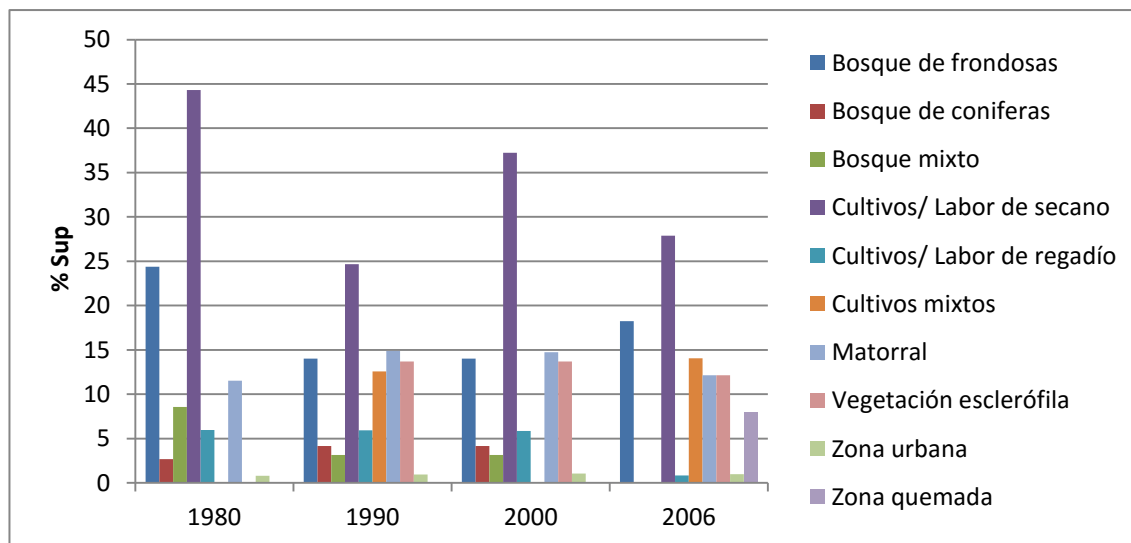


Figura 21

Representación Gráfica de los cambios de usos del suelo a lo largo de los años estudiados

Elaboración propia

A continuación en 1990 experimenta un decrecimiento, situándose cerca del 14%, se mantiene dicho porcentaje de cara al año 2000, y en última instancia, en 2006, experimenta una recuperación situándose en un porcentaje del 18,22%.

Las zonas donde se suelen dar estos tipos de bosques tienen que ver directamente con las zonas de las cabeceras donde las precipitaciones son un poco más abundantes. También se dan especies caducifolias en los inicios del curso medio del río, donde la convergencia de las dos cabeceras presta una humedad al sustrato más relevante que en las zonas más bajas de la cuenca.

El bosque de coníferas, por su parte, aumenta su extensión de los años 80 a los 90, decreciendo manteniéndose en un porcentaje de 4,16 en 2000 y desapareciendo completamente en el mapa de 2006, debido al incendio que se dio a principios de agosto de ese mismo año, que quemó parte de dicha superficie. Por otro lado vemos también como la parte más nororiental de la cuenca, pasa de tener una superficie bastante amplia de bosque de coníferas a tener bosque de frondosas y algunos espacios agrícolas con importantes especies de vegetación natural.

En tercer lugar, el bosque mixto sufre un decrecimiento continuo desde 1980 a 2000 y acaba desapareciendo por completo en el año 2006. Zonas que también fueron afectadas por dicho incendio y zonas en las que pasan a dominar en última instancia las formaciones boscosas de frondosas.

Con respecto a los tipos de cultivo cabe citar que, a lo largo del periodo estudiado, en la cuenca del río Sosa predominan de forma evidente los cultivos de secano.

En el año 1980 podemos observar como el porcentaje que ocupa se sitúa cercano al 45% (44,33), perdiendo posteriormente, en los años 90 protagonismo, reduciendo su superficie aproximadamente en un 20% (24,68). Vuelve a experimentar una subida en los años siguientes, ocupando una superficie en el año 2000 del 37,25% y finalmente en 2006, vuelve a mostrar otro descenso, que vuelve a cifras similares a las de los 90 (27,88%)

Con respecto al regadío, vemos como se da de forma evidente en la cartografía en la zona cercana al casco urbano de Monzón. Zona de la desembocadura del río donde se dan unas condiciones y un sustrato óptimo para la práctica agrícola (zona en la que confluyen dos cursos fluviales, uno de mayor índole como es el río Cinca y por otra parte el río Sosa que vierte sus aguas en el anterior).

Los valores porcentuales se van moviendo aproximadamente entre el 5 y el 6% con respecto a la superficie que ocupan en nuestra área de estudio. En el último caso, en 2006, su disminución se debe al considerarse dicha zona de regadío como zona de cultivos mixtos. El predominio en la zona de cultivos de regadío pasa a alternarse con la de cultivos de secano, pero aún con todo, esa zona que ya hemos comentado en los alrededores del núcleo urbano de Monzón y zonas muy cercanas al curso fluvial del Sosa (aguas arriba y menos importantes) son las que poseen por excelencia este tipo de uso de suelo.

Cabe mencionar también, a parte de las formaciones anteriores, la existencia de formaciones de matorral y vegetación esclerófila en la zona.

La vegetación esclerófila justifica su existencia por la zona climática en la que se encuentra. Es un tipo de vegetación cuyas especies arbustivas y herbáceas están completamente adaptadas a alargados periodos de sequía y a zonas donde las precipitaciones no se caracterizan por su regularidad.

Los matorrales por su parte, también debe su aparición a los caracteres climáticos, los matorrales de carácter mediterráneo que son con los que cuenta nuestro área de estudio deben su nombre a esos rasgos de clima mediterráneo que presenta la zona y que ya hemos visto anteriormente, donde los otoños y las primaveras presentan los máximos pluviométricos.

Los usos del suelo tienen una gran transcendencia en el funcionamiento prioritario de los diversos procesos del ciclo hidrológico. Con respecto a estos usos que se dan en la cuenca partimos del punto en que la presencia o ausencia de cubierta vegetal incidirá directamente en el comportamiento hidrológico que tenga el curso fluvial. En aquellas zonas donde dicha vegetación no exista, la escorrentía superficial será sensiblemente mayor, sobre todo si coincide (con áreas donde la pendiente también sea considerable. Como ya hemos visto a lo largo del estudio general esto sí que es así en la cuenca del río Sosa, sobretodo en la zona de la cabecera, llegando así el agua de una manera más rápida y con más carga (sedimentos transportados debido a la fuerte erosión) al curso fluvial.

En las zonas donde haya vegetación, la escorrentía no será tan activa. De hecho se favorecerá que la llegada del agua al suelo sea mucho más lenta actuará de obstáculo y su sistema de raíces genera huecos por donde el agua accederá con una mayor facilidad, favoreciéndose así los procesos de infiltración y disminuyendo sensiblemente el porcentaje de escorrentía superficial que en esta zona adquiere gran relevancia, porque como ya hemos citado, estamos ante un curso fluvial cuyas crecidas más extraordinarias se han dado por precipitaciones torrenciales como posteriormente podremos ver en un ejemplo.

También el predominio de un porcentaje mayor de cultivos de regadío en la zona cercana a un curso fluvial, podría darnos una pista sobre una aportación continua de los restos de agua de riego al mismo, así como de tener esas zonas colindantes al río con una capa freática continuamente saturada, lo que también haría que todo el agua que precipitara de forma natural en dichas zonas, fuera a parar al río mediante la movilización de la misma. Vemos que se da prácticamente un caso opuesto, los cultivos que se dan predominantemente en toda la zona son de secano, actuando de forma opuesta, adquiriendo para el cultivo toda el agua que proviene de las precipitaciones caídas, ya que los trabajos de labor preparan el suelo para la infiltración del agua de las precipitaciones.

Finalmente, en relación con la influencia de la cobertura vegetal en la dinámica del comportamiento de nuestro curso fluvial, podemos observar como entre los días 10 y 14 de agosto de 2006, se produjo un gran incendio en la cabecera del río Sosa que arrasó aproximadamente 1500 hectáreas lo que supone casi un 8% de la cuenca (7,89 %).

El día 15 de agosto de 2006, es decir, inmediatamente después de dicho incendio una gran tormenta de agua y granizo dejaba casi 90 litros por metro cuadrado en una hora en las zonas de toda la cuenca, circulando en dirección noreste desde Monzón hacia la cabecera, lo que dos horas más tarde trajo consigo una gran avenida del curso fluvial que provocó gran inquietud en la zona de Monzón, y que como veremos más concretamente en el bloque temático de riesgos de inundación provocó numerosos daños.

Según los estudios realizados, la masa vegetal perdida tuvo una implicación completamente directa en los daños originados por dicha avenida. El consistorio de la comarca del Cinca Medio expuso un informe donde se citaba que el incendio forestal que hemos citado anteriormente



**Fotografía 1. Imagen de la crecida del curso fluvial el 15 de agosto de 2006 en el Sifón del Sosa en el curso medio del río a la altura de Almunia de San Juan**

**Fotografía elaborada por Celso Sampietro Puyuelo**

contribuyó a la elevada cantidad de caudal que llegó a la ciudad de Monzón que según otro estudio realizado por expertos (Domenech et al.200) se estimó en  $236 \text{ m}^3/\text{s}$ . Y cabe no olvidarse de que estamos ante un curso fluvial cuyo caudal normal o habitual no sobrepasa  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## **5. EVOLUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES**

Como hemos podido ver en el apartado de caracterización de la cuenca del río Sosa, estamos ante una zona en las que las precipitaciones donde no son características, donde incluso la diferencia en la media entre la zona más baja de la Cuenca como es Monzón, y los puntos más altos de la cabecera no distan en exceso y donde por ello es muy difícil que se forme un curso fluvial que disponga de una aportación importante de caudal continua.

Para elaborar el estudio de la evolución de las precipitaciones se ha elegido el término municipal de Monzón donde se ha escogido una serie de años (como ya se ha citado) que va desde 1936 a 2002.

Los resultados obtenidos con respecto a la evolución de las precipitaciones en el periodo estudiado son las siguientes:

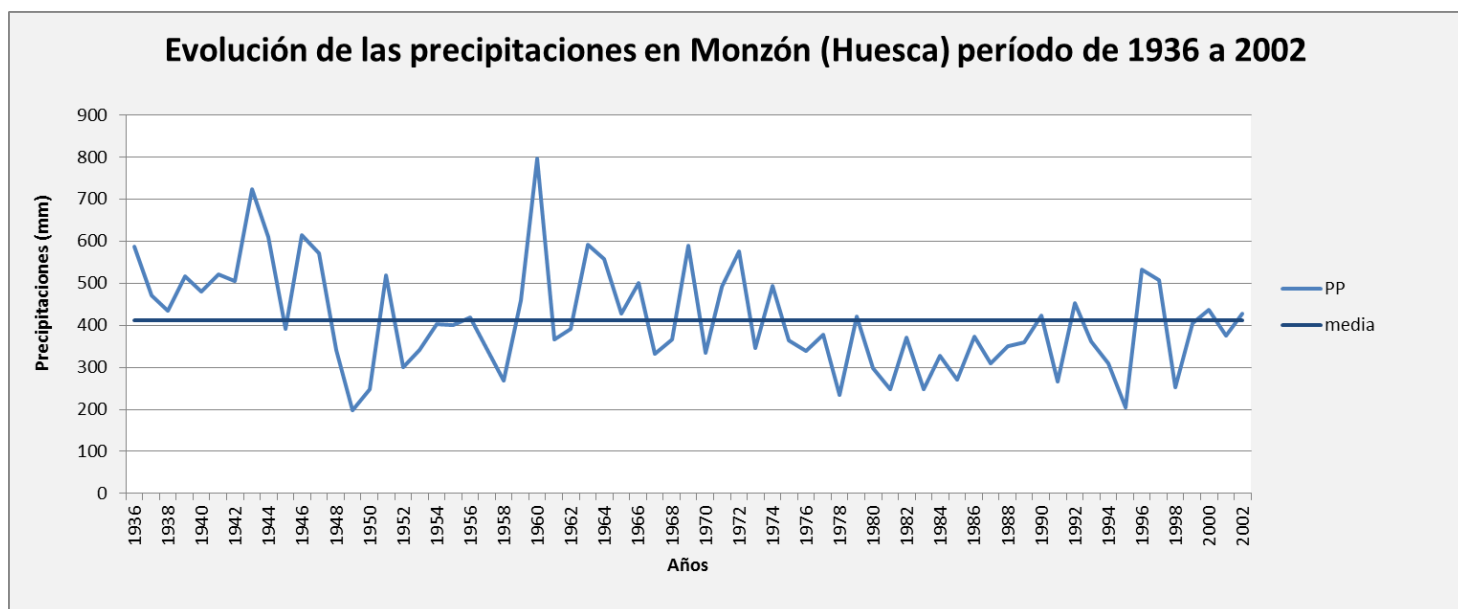


Figura 22

Fuente: Atlas climático de Aragón

Elaboración propia

Como podemos observar, la evolución de las precipitaciones es muy variable, hay alternancia de años húmedos como años secos.

Cabe destacar esencialmente el año 1960 donde se llegaron a alcanzar los 798 mm de precipitación. Se conoce que ese año fue muy húmedo, se acumularon entre el mes de septiembre y octubre casi 340 mm de precipitación cuando lo normal es que se acumulen en torno a unos 90 según los datos que hemos observado.

Sí que puede apreciarse un ligero descenso en la frecuencia de esos máximos pluviométricos excepcionales, sobretodo de los años 70 hasta 2002, donde los años han prestado unos máximos menos irregulares pero también la cantidad recogida ha sido menor, se ha comprobado en valores cuantitativos totales, en los primeros 33 años (del 36 al 69) de la serie cayeron un total de 15599,1 mm de precipitación (también cabe decir que cuenta con tres picos máximos que salen de la normalidad y alteran el resultado) y en los segundos 33 años (70 al 2002) se recogen 12685,7.

Los resultados de la “regularidad de las precipitaciones” que han caído sobre la ciudad de Monzón, muestran que de los primeros 33 años, 22 han estado por encima del valor de

precipitación interpretado como medio (400) mientras que en la segunda serie los años que superan los 400 mm tan solo son 11.

En relación con la dinámica de nuestro curso fluvial, las precipitaciones podemos decir que tienen importancia plena en su funcionamiento, aparte de guardar relación entre los máximos de aguas y los máximos pluviométricos, también hay excepciones que guardan relación con esa variabilidad climática que hemos citado también, donde se da una alternancia entre periodos secos y periodos más húmedos, ni que decir tiene que uno de los ejemplos adjuntos sobre gráfica de estiaje en el primer bloque temático del estudio de los elementos del régimen fluvial corresponde precisamente a un mes donde las precipitaciones medias según los resultados obtenidos tienen un papel destacado.

También, guarda relación, una característica del modo de precipitación con otro fenómeno extremo como es el de las crecidas. Tenemos dos ejemplos de hidrograma de crecida donde se pueden apreciar dos crecidas ordinarias correspondientes a temporales otoñales de carácter mediterráneo, que se desplazan algo más hacia los meses de noviembre y diciembre pero que guardan relación con esos temporales otoñales. Pero, lo que hace a este río poseer ese comportamiento tan agresivo y torrencial que históricamente, como podremos ver en apartados posteriores, ha tenido, son esas tormentas de carácter torrencial, que también suelen darse a lo largo de los meses de estiaje. La última más importante, tiene que ver con una intensa tormenta de lluvia y granizo que descargó sobre toda la cuenca del río Sosa y que dejó en Monzón una cantidad comprendida entre los 90 y 100 litros por metro cuadrado en aproximadamente una hora. Si visualizamos los valores medios de precipitación que puede tener la capital de la comarca medio cinqueña de la provincia de Huesca, podemos observar que en solo una hora y media se recogió una cuarta parte de las precipitaciones correspondientes a todo un año. Poco después de dos horas, tras descargar dicha tormenta por toda la cuenca como ya hemos citado, se produjo una de las avenidas más grandes del río Sosa que se recuerdan.

Los resultados obtenidos con respecto a la media mensual de precipitaciones en el periodo estudiado son los siguientes:

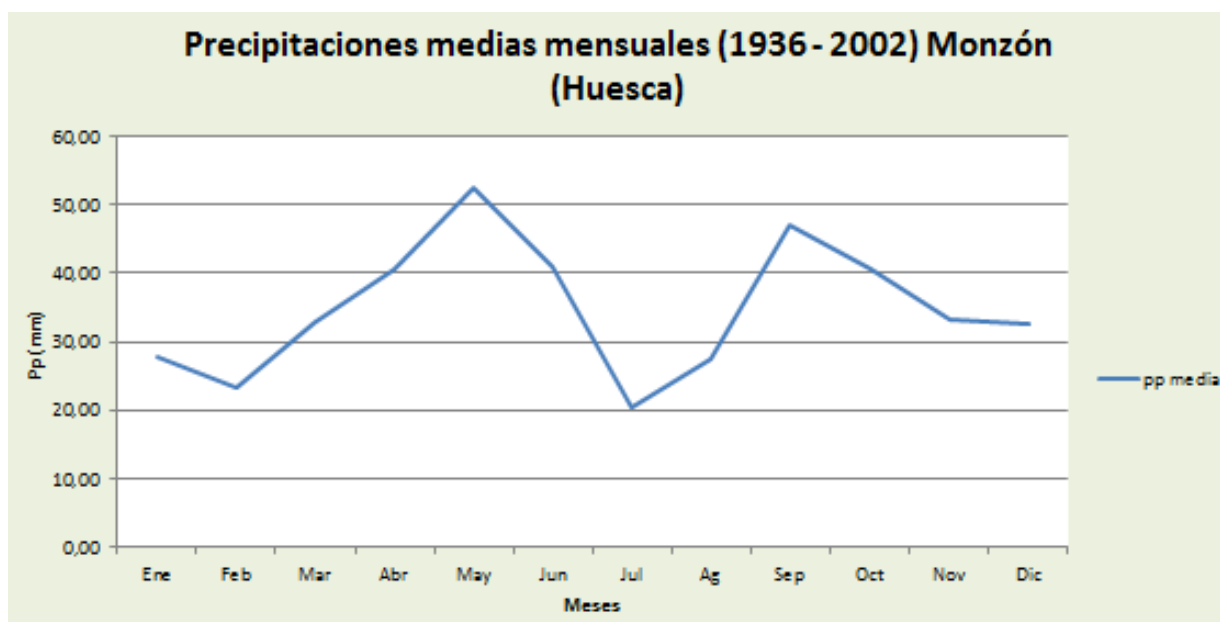


Figura 23

Fuente: Atlas climático de Aragón

Elaboración propia

En la figura 23 podemos ver como los máximos pluviométricos medios se dan en torno los meses de primavera y otoño, lo que es característico de esta zona y de este clima de interior. Se justifica su posición oriental más cercana al mar mediterráneo, que presta casi todos los años en los meses otoñales esos temporales de lluvia y en ocasiones gotas frías que riegan esta zona dejando uno de los máximos destacados de precipitación. Por otro lado también destaca el pico situado entre Abril y Mayo (incluso más cercano a Mayo) donde las denominadas “tormentas primaverales” que se derivan de esa posición favorable de interior que tiene esta zona unida al resto de lluvias que provienen de los distintos frentes primaverales que atraviesan la península por esas fechas, forman ese máximo pluviométrico.

## 6. CAMBIOS EN EL CAUCE Y EN LA LLANURA DE INUNDACIÓN

Como ya hemos citado anteriormente, estamos ante el bloque temático cuya realización ha sido más costosa y ha llevado más tiempo.

Podemos observar a lo largo de diferentes años como ha ido cambiando los distintos elementos de la llanura de inundación y el cauce del curso fluvial objeto de estudio.

Las herramientas cartográficas que muestran los resultados son las siguientes:



# CAUCE DEL RÍO SOSA Y LLANURA DE INUNDACIÓN (46-47)

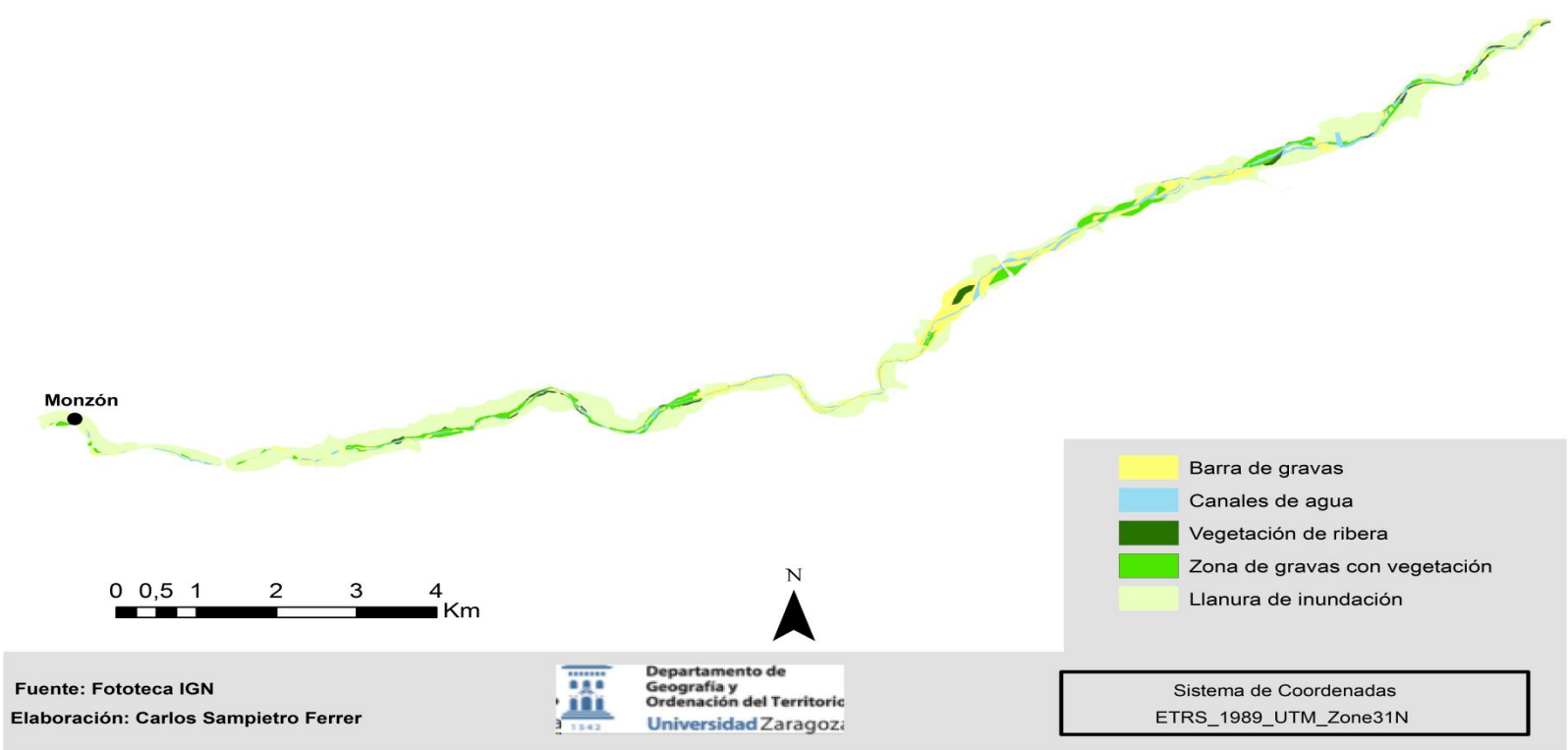


Figura 24

# CAUCE DEL RÍO SOSA Y LLANURA DE INUNDACIÓN (56-57)

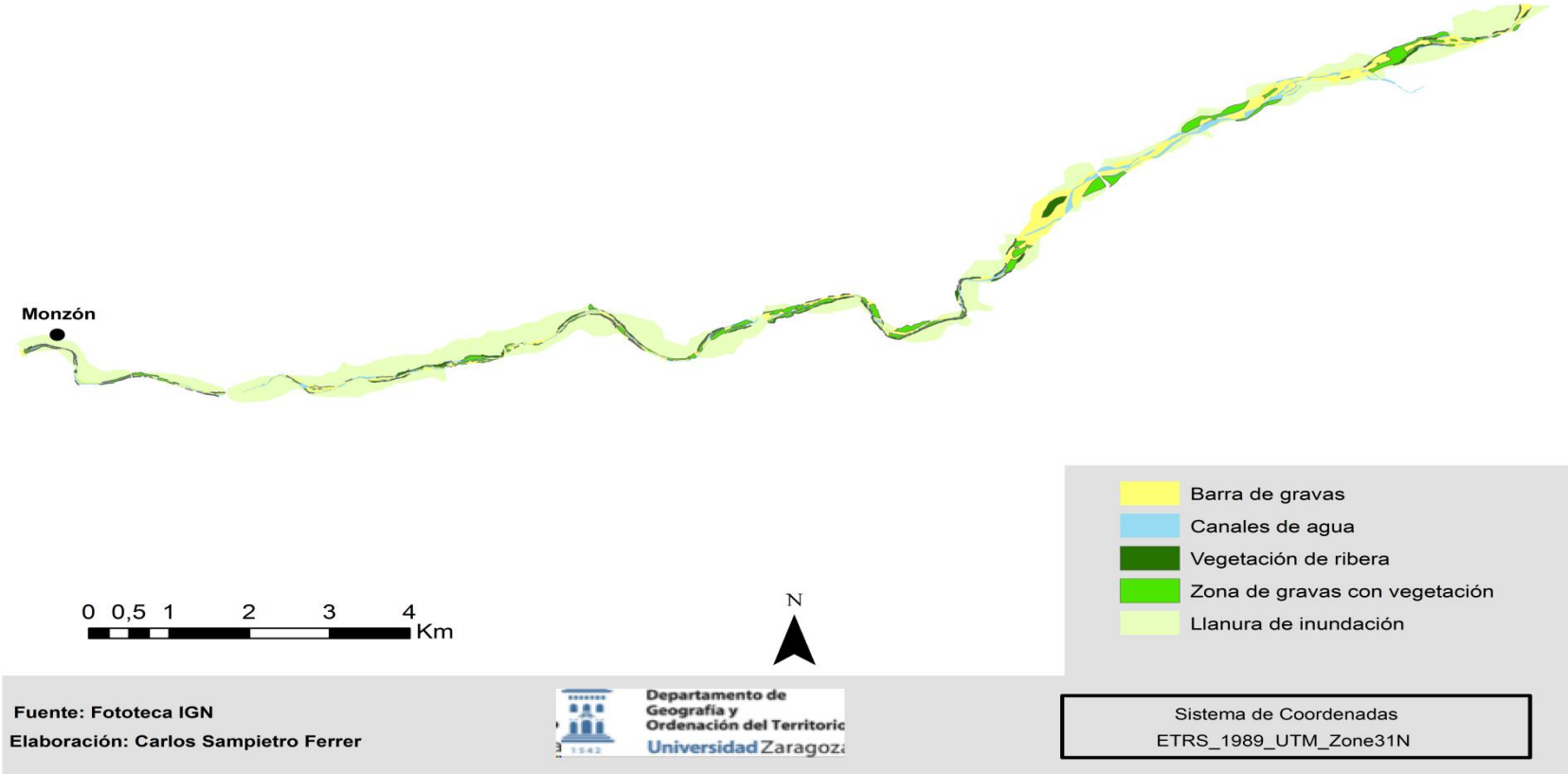


Figura 25

## CAUCE DEL RÍO SOSA Y LLANURA DE INUNDACIÓN (73-86)

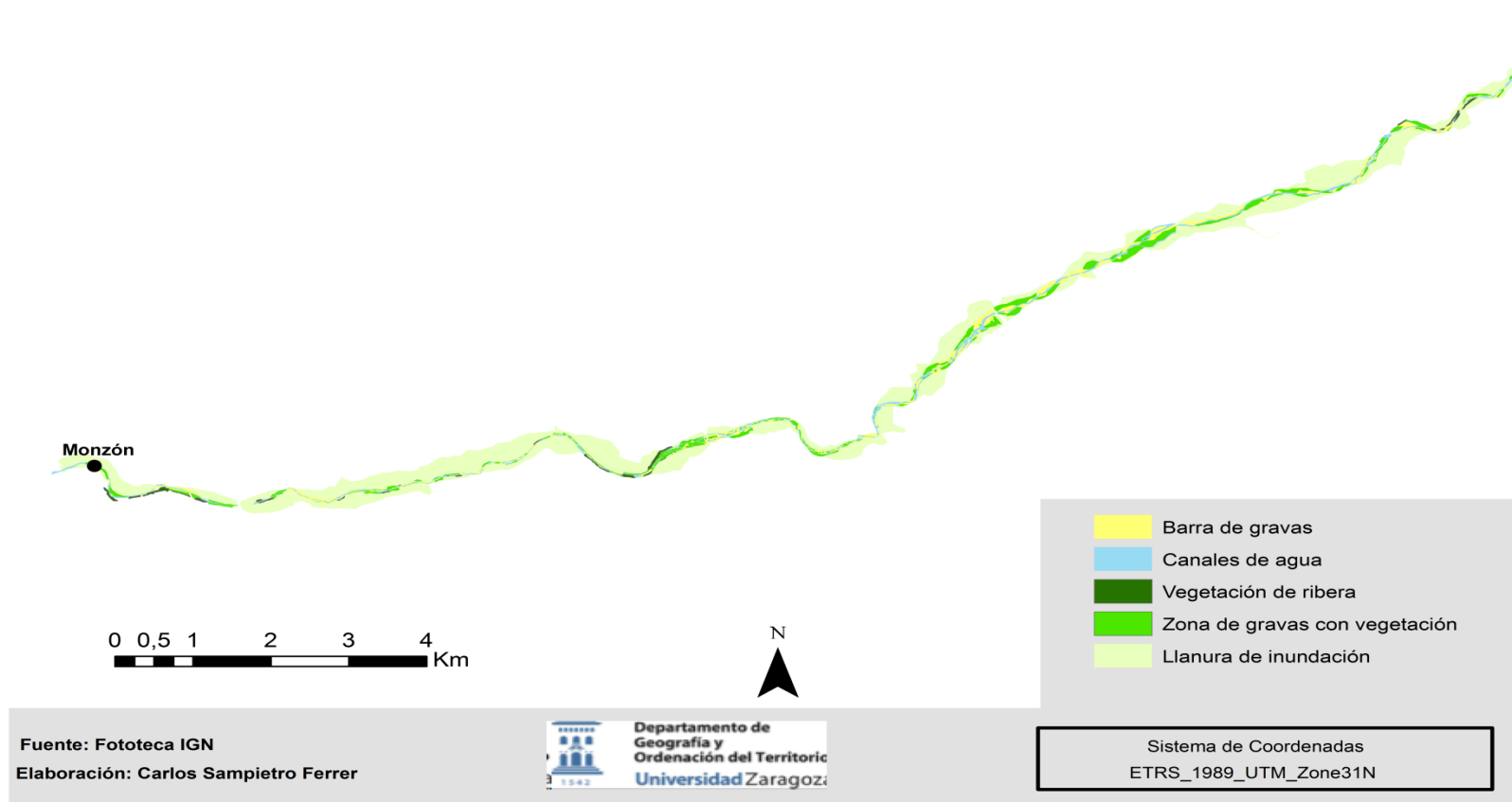


Figura 26

## CAUCE DEL RÍO SOSA Y LLANURA DE INUNDACIÓN 2012

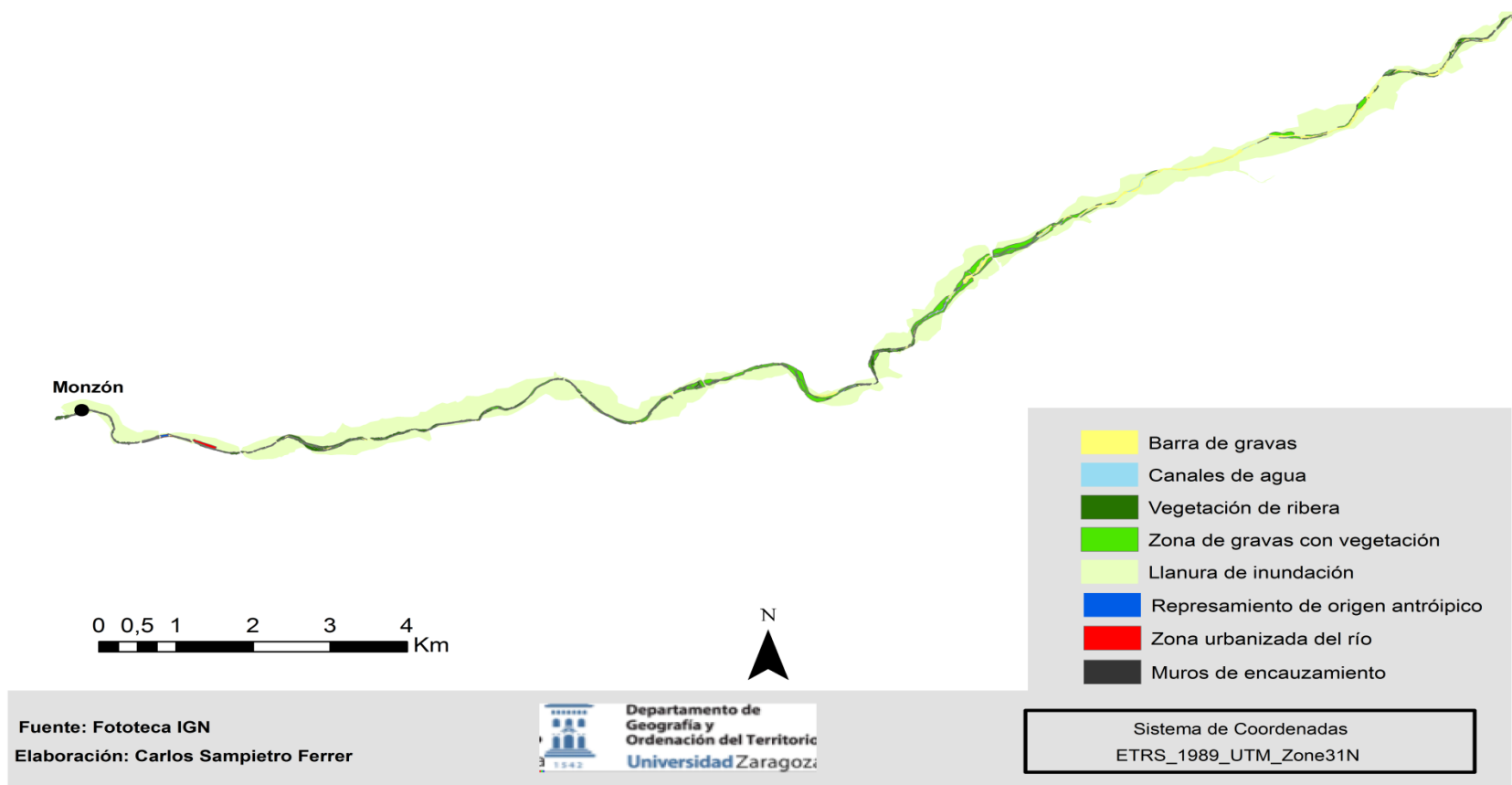
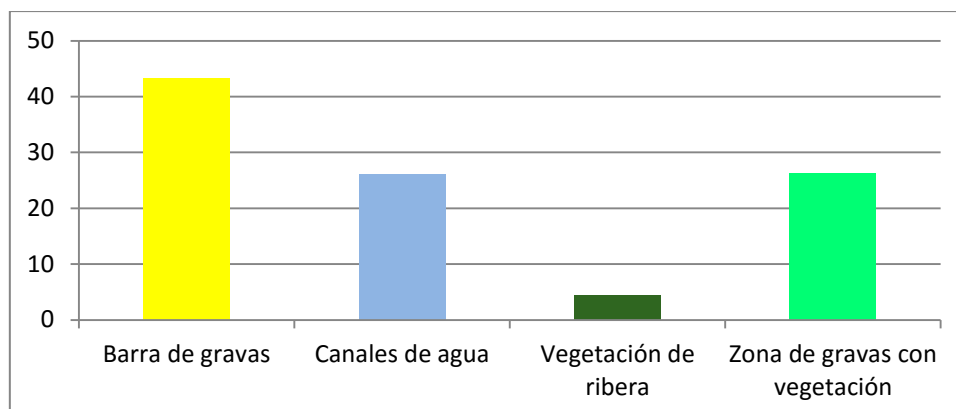


Figura 27

En una primera instancia, en el año 1943, la superficie ocupada por cada elemento constitutivo del curso o lecho fluvial es la siguiente (Fig.28):

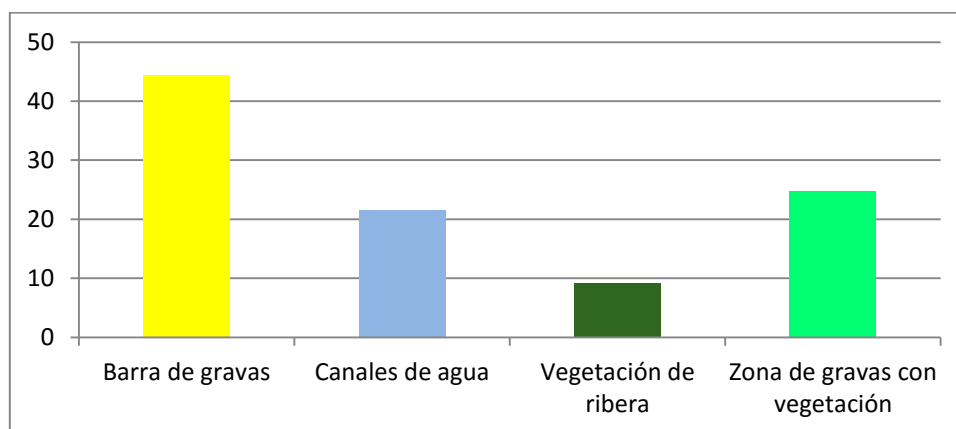


**Figura 28**

**Elaboración: Propia**

Como podemos ver, con respecto a los porcentajes de ocupación de cada atributo dentro del curso fluvial, las barras de gravas ocupan el mayor porcentaje de la superficie, un 43,2%, contrasta con la presencia de vegetación de ribera que tiene muy poca presencia (4,44%). Las zonas de grava que cuentan con vegetación, en este caso ocupan un 26,25%.

En lo que respecta a los años 56-57 los porcentajes de superficie de ocupación se reparten de la manera siguiente (fig. 29):

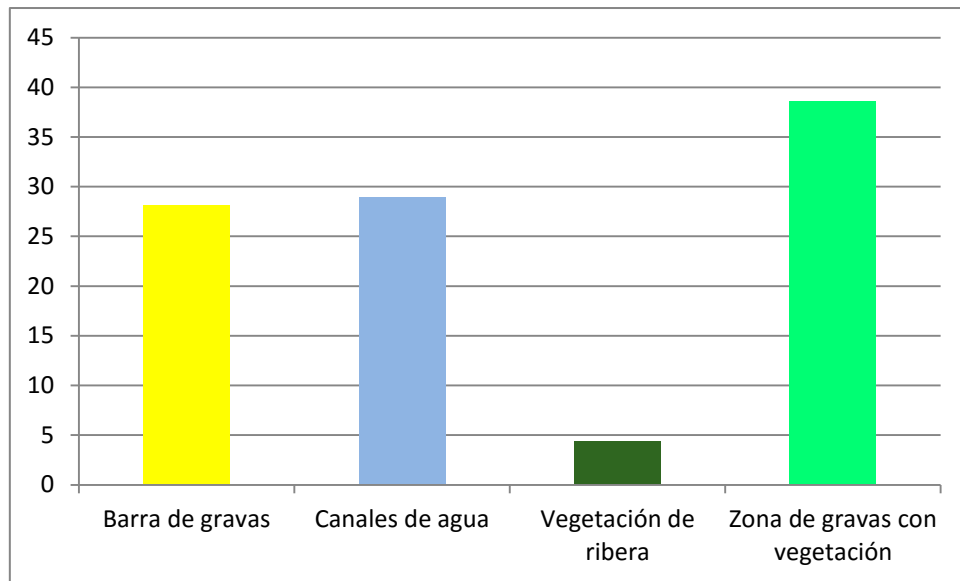


**Figura 29**

**Elaboración: Propia**

En vistas a los resultados obtenidos, podemos ver que las barras de grava permanecen prácticamente intactas con respecto al año anterior (ocupan un 44,4%) y la zona cartografiada de esas gravas colonizadas por vegetación también se mantienen en unos valores similares (24,8%). Con respecto a la vegetación de ribera, podemos ver que aumenta casi un 5% (9,25%).

En el vuelo interministerial del 73-86, los resultados obtenidos son los siguientes (Fig.30), en vista a la figura 26:

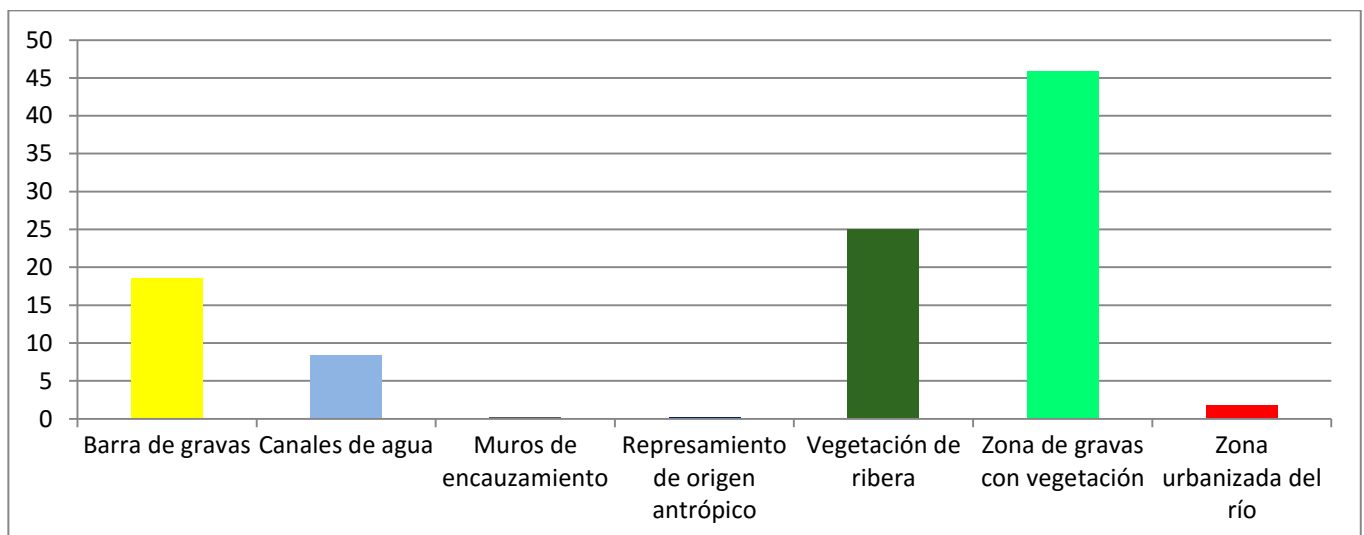


**Figura 30**

**Elaboración: Propia**

La superficie ocupada por barra de gravas desciende hasta el 28%, aumentando la zona de gravas con vegetación, situándose en torno al 38,6%. La vegetación de ribera pierde un poco de valor superficial y pasa a ocupar de nuevo valores en torno al 4,4%

Finalmente, los resultados obtenidos en el año 2012, pertenecientes a la cartografía de las imágenes prestadas por el PNOA se representan en el gráfico siguiente Fig (31):



**Figura 31**

**Elaboración: Propia**

Contraste máximo de los porcentajes con respecto a los resultados vistos hasta ahora, las barras de gravas alcanzan sus mínimos y pasan a ocupar un 18,5%. Crece notablemente el porcentaje de superficie ocupada por la vegetación de ribera (25,05%). De la misma manera, se observa un ascenso evidente de las zonas de gravas que cuentan con vegetación, dominando con casi un 46% (45,8%).

Decir también, que se han introducido otros tres elementos, como podemos observar en la cartografía d) de la figura x, situados en el casco urbano de Monzón. Estos son los muros de encauzamiento, el represamiento de origen antrópico y la zona urbanizada del río. Sus porcentajes superficiales son realmente bajos, pero como veremos posteriormente es importante destacarlos.

En vista a los resultados obtenidos, de manera conjunta, podemos observar de manera evidente como los cambios que se han producido en el cauce del río Sosa han sido muy numerosos. Podemos visualizarlos en la figura 32:

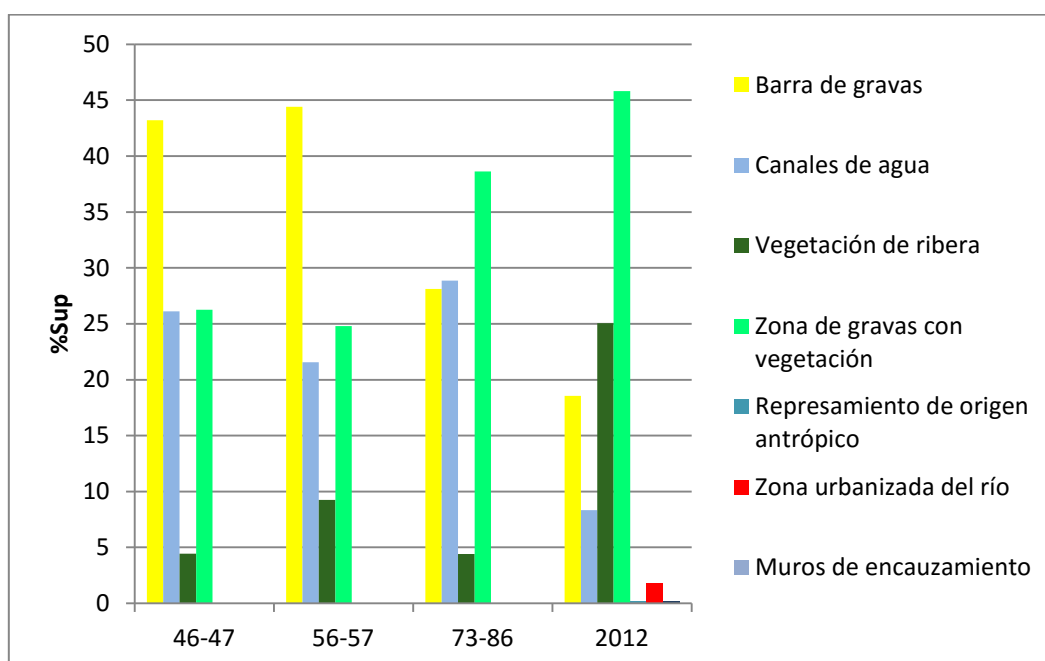


Figura 32

Elaboración: Propia

Destaca principalmente la superficie que en los primeros dos años estudiados ocupaban las barras de gravas, que ha ido descendiendo progresivamente hasta los años más recientes reduciendo su porcentaje a menos de la mitad. A su favor, han aumentado sensiblemente los porcentajes ocupacionales de la vegetación en el mismo cauce debido a ese encajonamiento que se ha producido en el río. Tanto las zonas de gravas con vegetación y la vegetación de ribera ha aumentado intensamente colonizando porcentajes altos de superficie en el cauce.

Estos cambios citados se pueden justificar a partir de varios aspectos:

- Por un lado, una disminución de la superficie de gravas en favor de un aumento de vegetación que coloniza la superficie de la misma, se puede deber esencialmente, como ya hemos citado, a un encajonamiento del río y a una disminución en la dinámica de crecidas. La glera disponible de gravas que tenía el río Sosa en los años 46-47 o 56-57 con la que posee en 2012 no tiene prácticamente nada que ver. Una crecida más o menos habitual, de carácter ordinario cada cierto tiempo puede permitir que esas zonas colonizadas por la vegetación dentro del cauce desaparezcan, se movilice la grava y por tanto la vegetación no se asiente de forma definitiva. Eso es lo que posiblemente se daba de manera más habitual en el pasado y hacía que la glera del Sosa quedara despejada de vegetación. Podemos ver a partir de una fotografía aérea del vuelo americano del 46-47 las dimensiones de glera que el río Sosa a su paso por Monzón dispone.



Fotografía 2

Fuente: Fototeca IGN

Y como en esta imagen del PNOA de 2012 su glera ha desaparecido completamente y en su mayor medida está colonizada por vegetación:





Fotografía 3

Fuente: Visor IBERPIX

De la misma manera podemos ver como parte de esa llanura de inundación del río Sosa ha sido parcialmente urbanizada (es la zona que coincide exactamente con la fotografía x presente en el apartado de riesgos de inundación que muestra los daños que provocó el río Sosa en la crecida de 2006 aguas arriba del centro urbano).

Utilizando un Zoom en las cartografías realizadas, también se puede apreciar la zona de gravas que aparece en la correspondiente al cauce del 46-47 y la correspondiente al cauce en 2012, así como una disminución de su cauce natural, que acompaña a ese decrecimiento de la superficie de la glera del Sosa, que pasa a colonizar la vegetación o incluso a ser urbanizada como podemos ver en algunos puntos de la cartografía realizada:



**Figura 33**

**Fuente: Fototeca IGN**

**Elaboración: Propia**

- Con respecto a los cambios en la ocupación de la superficie de la vegetación de ribera, también guarda mucha relación con el anterior aspecto, la falta de crecidas más

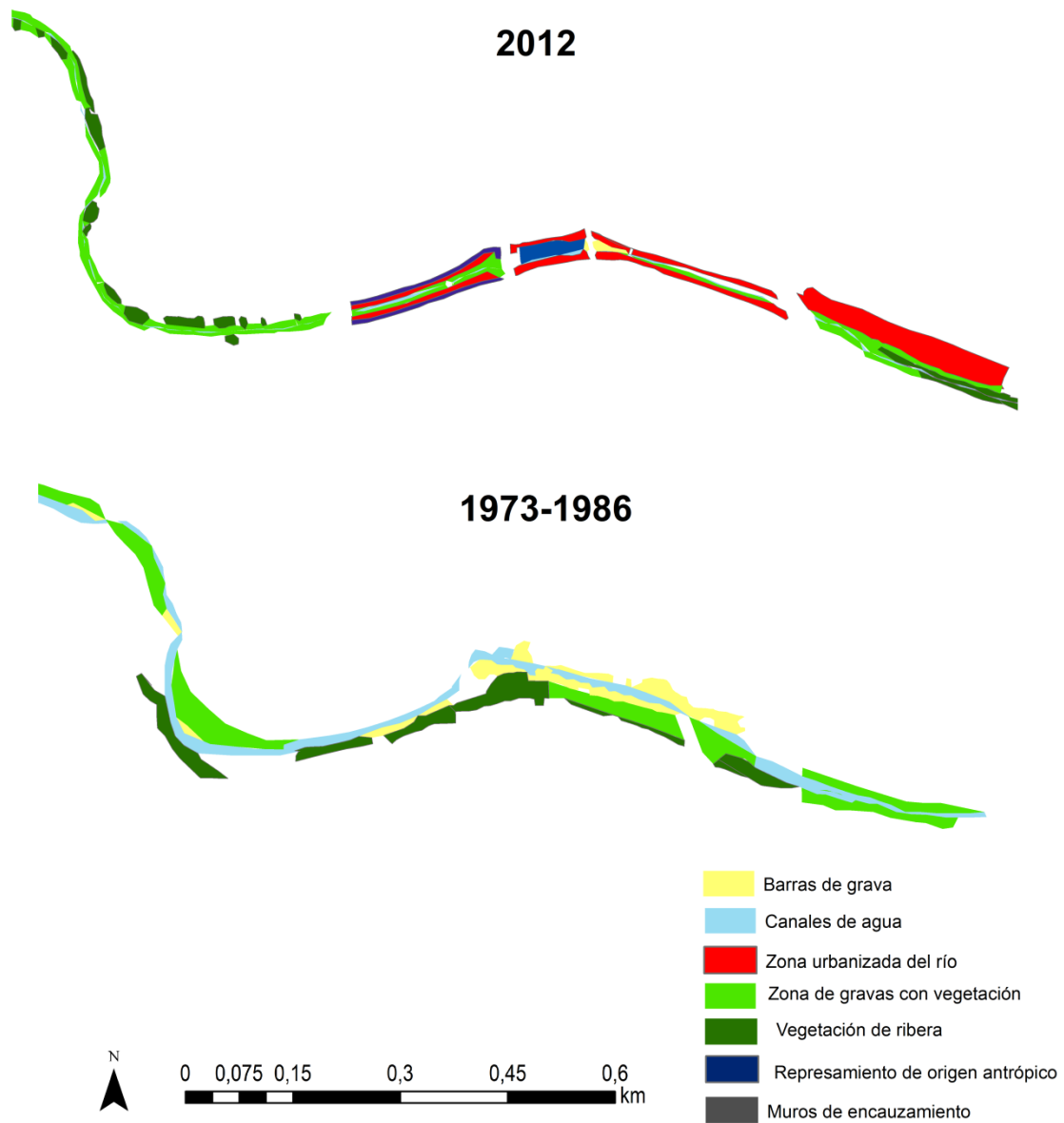
intensas de manera más regular favorece la colonización de estas especies arbóreas en las zonas colindantes del cauce.

Ni que decir tiene también, que este tipo de vegetación resalta sobre todo en el tramo fluvial más bajo, dónde se encuentra el municipio de Monzón. La colonización tan intensa que se da en 2012, en comparación con los años restantes puede deberse a esa concentración de los cultivos de regadío en esa zona. Como ya vimos en el bloque temático de usos del suelo en esas zonas colindantes al curso fluvial, llega un aporte continuo de humedad a las especies vegetales que crecen hasta una cierta distancia de la orilla del cauce, tanto por sobrantes de riego como desde el caudal temporal del cauce.

Otros aspectos importantes a destacar con respecto a los cambios en el cauce del río Sosa a lo largo del periodo de tiempo estudiado, tienen que ver directamente con la intervención antrópica en el curso fluvial, sobre todo en la zona del casco urbano de Monzón, donde se han llevado a cabo numerosas actuaciones, de algunas de ellas ya mencionadas en otros apartados anteriores (muros de contención fluvial). Y dónde aparecen otras, mostradas en nuestra cartografía y análisis desarrollados en 2012, como pueden ser las zonas urbanizadas del río (instauración de parques infantiles, zonas de paseo, zonas de descanso con bancos, alumbrado público etc...) o represamientos de origen antrópico (denominados también azudes)

Es un tema muy importante a destacar la labor antrópica realizada en el cauce en el río Sosa, ya no en su llanura de inundación sino en el mismo cauce.

Podemos observar en la cartografía siguiente (figura 12) como en los años pertenecientes a las imágenes del vuelo interministerial (73-86) todavía no se había llevado a cabo ningún tipo de actuación antrópica en el cauce, contrastando con la cartografía de 2012 donde ya observamos dichas intervenciones.



**Figura 34.**

**Fuente: Fototeca IGN**

**Elaboración: Propia**

La urbanización del cauce del río Sosa supone la construcción de diversas infraestructuras en el mismo cauce del río que ante una avenida se pueden ver seriamente dañadas, incluso desaparecer. El riesgo que supone urbanizar dentro del cauce de un río no es nuevo ni solo pasa en nuestra área de estudio.

Por otro lado, la creación de los muros de encauzamiento que como en algunos medios de comunicación, se mantuvo que salvaron al casco urbano de una inundación “sin precedentes”, en la riada de 2006, también tienen su parte negativa. Ya que su canalización, presta un modo de respuesta ante una crecida también muy perjudicial, encauzando las aguas y acelerando la velocidad de las mismas en dicho tramo y potenciando su destrucción aguas abajo de la infraestructura.

El azud que también aparece en 2012 supone una retención continua de sedimentos que tendrían que rellenar y nutrir las zonas de cauce que se encuentran aguas abajo de dicha infraestructura hidráulica de origen antrópico, lo que favorece el encajamiento aún más claro del curso fluvial e impide el relleno de las zonas colindantes a los canales de agua. Esta incisión y encajamientos se producen porque el río, al no tener que gastar energía en transportar sedimentos, la emplea toda en profundizar e incidir en el fondo del cauce.

A continuación, se pueden apreciar los cambios producidos en el cauce tratados anteriormente, a través de imágenes fotográficas antiguas (facilitadas por Ernesto Baringo) y actuales tomadas por el autor de este trabajo:



Fotografía 4 .Puente viejo del río Sosa en el año 2016

Elaboración: Carlos Sampietro Ferrer



Fotografía 5. Puente viejo del río Sosa en la década de 1920

Fuente: Ernesto Baringo

En estas dos primeras fotografías se pueden apreciar los intensos cambios que se han producido en la zona del curso fluvial del Sosa que atraviesa el casco urbano de Monzón.

Podemos ver como a día de hoy, la glera que en la imagen de la década de 1920 pertenecía al río Sosa ha sido intensamente transformada en una zona de tránsito y paseo dónde se han creado pequeñas infraestructuras como ese puente que permite cruzar el canal de agua que discurre. Es visible la superficie de gravas que en aquel entonces el río Sosa disponía. En ella, no hay rastro de vegetación, lo que puede dar una pista de la dinámica de crecidas que se daban en aquel entonces, que limpiaba el caudal de toda vegetación que pudiera colonizarlo.

Aún si cabe, se hace más visible el cambio en este aspecto, en las siguientes dos imágenes:



Fotografía 6. El río Sosa en la zona del puente del ferrocarril en los años 20. Fuente: Ernesto Baringo



Fotografía 7. El río Sosa en la zona del puente del ferrocarril en el año 2016.

Elaboración: Carlos Sampietro Ferrer

En la primera foto, también suministrada por Ernesto Baringo, podemos observar la totalidad del cauce del río Sosa dominado por las gravas fluviales. En cambio a día de hoy, se puede visualizar en la misma zona un encajamiento del curso fluvial, con una serie de barras de grava que lo rodean pero con una dimensión claramente inferior a las que podemos observar en los años 20.

Esa superficie de la antigua glera del Sosa es colonizada por la vegetación como podemos observar, lo que hace que podamos ver a pie de campo lo que muestran nuestros estudios y datos realizados con respecto a los cambios que se han dado en el cauce del río y a partir de ahí poder establecer hipótesis sobre su actual dinámica y comportamiento.

## 7. RIESGO DE INUNDACIÓN

Como se ha ido citando a lo largo del proyecto, en un principio se tenía como objetivo centrar todos los estudios realizados en la dinámica de crecidas y el análisis de las mismas del curso fluvial del río Sosa. Pero, debido a la insuficiencia de fuentes que prestaran información sobre las mismas no se pudo completar.

Por otra parte, sí que se puede estudiar el riesgo de inundación, debido a la existencia de fuentes que representan información sobre dicho suceso.

Concretamente, como ya hemos citado se va a establecer un estudio de los riesgos de inundación que posee Monzón, donde se sitúa el curso más bajo del río estudiado.

Multitud de núcleos urbanos, no sólo Monzón, se sitúan en áreas que presentan riesgos de inundación, pero estamos, ante uno de los ejemplos más destacables en el contexto de Aragón (Domenech et al., 2008).

Como hemos podido ir observando, en su tramo más alto, el curso fluvial atraviesa un valle muy estrecho con fuerte pendiente, en el tramo medio contamos con una zona donde toman protagonismo las gravas, donde los 100 metros de anchura que dicha glera alcanza en algunas zonas nos dan pistas de la cantidad de agua que puede llevar dicho río en periodos de crecida. En la zona cercana a Monzón hemos visto el predominio en el apartado de usos del suelo de la labor agrícola y diversos brotes mananciales que nutren de agua al curso en la tramo más bajo.

Hasta hace muy poco como ya hemos citado, se ha caracterizado por recoger el drenaje de una cuenca no aforada, lo que dificulta no sólo el conocimiento de la dinámica de las crecidas, sino la toma de decisiones para mitigar sus efectos. Tras la crecida de 2006 se comenzó a avanzar y a poner en práctica las tecnologías y sistemas de innovación que permiten obtener información hidrológica y para periodos de tiempo reducidos (horas, datos quinceminutales). Esto es posible gracias al Sistema Automático de Información Hidrológica SAIH- Ebro

Tras haber analizado la relación tan directa que existe entre la distribución temporal de los caudales del río Sosa y las precipitaciones de su cuenta, podemos decir, sin temor a equivocarnos que una crecida del río Sosa, suele provocarse por fenómenos de precipitaciones torrenciales e intensas.

El término municipal de Monzón, en la crecida que aconteció en 2006, tuvo serios problemas, como algunos medios cuentan, se libró de una inundación sin precedentes por la existencia de unos muros de contención construidos de manera reciente y por la apertura del tercer ojo del puente viejo que hasta fechas próximas, permaneció cerrado.

El río Sosa no llegó a sobrepasar dichos muros, aunque no estuvo muy lejos de hacerlo pero causó importantes daños, lo que llevó a Domenech et al. (2011) a realizar un trabajo para estimar el caudal máximo alcanzado por el río en dicho evento, estableciendo el mismo en  $236 \text{ m}^3/\text{seg}$ .







Fotografías 8 y 9. Los muros de contención del río el día 15 de Agosto de 2006 en la crecida

Fuente: Ernesto Baringo

Dichos muros de contención fluvial, se levantan 2 metros por encima de las calles circundantes, lo que su inexistencia hubiera supuesto una inundación importante de parte del casco urbano de Monzón en ese punto.

En otras zonas de la ciudad sí que ocasiono numerosos daños, tanto aguas arriba del centro urbano como aguas abajo:



**Fotografía 10. Zona de entrada del río Sosa en Monzón tras la crecida de 2006**

**Fuente: Javier Bordes**

Tales fueron los daños, que poco después Monzón fue declarada zona catastrófica, la riada ocasiono numerosos destrozos y pérdidas agrícolas y arrasó con todo a su paso debido a la gran cantidad de caudal que arrastraba unida a la carga del mismo (sedimentos, materiales, coches, masa vegetal)

Según los datos del SAIH, estamos, ante una riada cuyo periodo de retorno es de 100 años, ya que la cantidad de caudal que ha de registrarse según dicho sistema para que se trate de una crecida de dichas características es de  $238 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Podemos observar gracias al mapa de peligrosidad y de riesgo de inundación del MAGRAMA y su visor cartográfico del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) como afecta el río con una crecida de estas características al núcleo urbano:



Figura 35. Mapa de peligrosidad y riesgos de inundación (periodo de recurrencia de 100 años)

Fuente: MAGRAMA

Con todo lo sucedido, las zonas urbanas cercanas al río se han urbanizado, se han reformado y se han establecido zonas de paseo y parques que podrían ser fácilmente derruidos con una avenida (tal y como hemos visto en el bloque temático de usos del suelo).

Cabe destacar, que una riada como la sucedida no sobrepasó dichos muros, pero si la riada se tratara de una avenida excepcional, que aún con poca probabilidad, puede producirse, las zonas edificadas próximas al río se verían seriamente afectadas. Como podemos ver a continuación, esta sería la afección de una crecida del río Sosa en Monzón, con un periodo de retorno de 500 años y con un caudal (según datos SAIH) de  $351 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Fig.36)



Figura 36. Mapa de peligrosidad y riesgos de inundación (periodo de recurrencia de 500 años)

Fuente: MAGRAMA

Cabe decir de igual manera, que se dispone del Mapa de peligrosidad y riesgos de inundación correspondiente al periodo de recurrencia de 50 años (fig. 27), pero no afecta de manera tan intensa al casco urbano. Debido a ello, no se incluye la correspondiente al periodo de recurrencia de 10 años, que también recoge el mencionado SNCZI



Figura 37. Mapa de peligrosidad y riesgos de inundación (periodo de recurrencia de 50 años)

Fuente: MAGRAMA

La inexistencia de fuentes que muestren las crecidas que han tenido lugar en Monzón, quizás no conciencie a la población del peligro que tiene dicho curso fluvial, pero a lo largo de la historia ha sufrido muchos eventos de crecida que solo los grupos de edad más avanzada recuerdan y que son los que tachan de “incoherente” el uso que se hace del curso del río en la ciudad, ya que según ellos “con el Sosa no se juega”.

Como se ha citado, se cuenta con información fotográfica de eventos de crecida que se han sucedido a lo largo de los años, que no están registrados en ningún medio pero que evidencian su existencia, además con relativa frecuencia.

La foto siguiente muestra una crecida que experimentó el río Sosa en la década de 1930:



**Fotografía 10.**

**Fuente: Ernesto Baringo**

A continuación, podemos observar, en la década de 1950, una foto tomada desde el mismo sitio que la anterior, donde se muestra otra crecida del curso fluvial:



**Fotografía 11**

**Fuente: Ernesto Baringo**

Y finalmente, contamos con una fotografía de la riada que tuvo lugar en Monzón en el año 1964, la única que en los últimas décadas se equipara a la sucedida el 15 de agosto de 2006.



Fotografía 12

Fuente: Ernesto Baringo

## 8. CONCLUSIONES

Puesto que en este trabajo se ha analizado una gran cantidad de información relativa a aspectos muy diversos, hemos podido llegar a una amplia serie de conclusiones.

Antes de abordar las conclusiones relativas al contenido del trabajo merece la pena remarcar algunas en lo relativo a la metodología:

- Para un conocimiento detallado y fiable del comportamiento de los cursos fluviales es imprescindible contar con estaciones de aforo que dispongan de series de datos prolongadas en el tiempo, recogidas en el Sistema del Anuario de Aforos.
- Los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y los documentos cartográficos del Corine Land Cover son imprescindibles para poder analizar los cambios en los usos del suelo durante las últimas décadas.
- La existencia de diferentes series de fotografías aéreas y más recientemente de ortofotos, son claves para estudiar los cambios en los cauces fluviales y en su dinámica hidromorfológica.
- El uso de los Sistemas de Información Geográfica, que pueden dar cabida a todos los documentos cartográficos señalados, facilita el análisis de las interacciones entre diferentes elementos del medio natural

Entrando ya en la parte del contenido, en relación con la caracterización de la cuenca del río Sosa destacan las siguientes conclusiones:

- En un primer lugar la **pendiente** acusada que presenta la cuenca del río Sosa sobretodo en la zona de sus cabeceras, que justifica el desnivel que salva el curso en pocos kilómetros. Esta pendiente repercutirá muy directamente en el comportamiento no sólo hidrológico del curso fluvial, sino también en el geomorfológico, otorgando al río un enorme poder erosivo. Esa pendiente, en las zonas donde no haya cobertura vegetal uniforme, favorecerá la acción de la escorrentía y, por tanto, una mayor llegada del caudal hasta el río
- Por otro lado, **las formaciones litológicas** que presenta nuestra cuenca objeto de estudio, también repercuten en el comportamiento del curso fluvial. En las zonas de la cabecera podemos ver como el material del sustrato permite procesos de infiltración que favorecen el alimento del freático. Además, la litología existente en los tramos más bajos en las zonas cercanas a Monzón, permite instaurar la instalación de zonas de regadío, ya que favorece la fertilidad.
- Entre los **caracteres climáticos** sobresalen una fuerte evapotranspiración y la escasez de precipitaciones de lo que se deduce que en general hasta el río habrá poca agua disponible para llegar. Como consecuencia podremos esperar que el río disponga de poca cantidad de agua pero que en los momentos de precipitaciones intensas con pendientes y vegetación de amplios sectores de la cuenca favorecen la escorrentía superficial, las crecidas pueden tomar protagonismo.

En lo que respecta al **comportamiento hidrológico**, mencionando una vez más que la disponibilidad de datos existente hace que las conclusiones deban ser revisadas en el futuro, los rasgos esenciales son la escasez de caudal, la gran irregularidad interanual y la posibilidad de crecidas de gran volumen. El régimen fluvial es complejo original con dos periodos de aguas altas, el principal de finales en primavera y el secundario en invierno, y dos periodos de aguas bajas, uno principal muy acentuado en verano y otro secundario a comienzos de primavera. Respecto a las crecidas cabe señalar que las más recientes se han producido esencialmente a finales de otoño y han llegado a alcanzar magnitudes relevantes.

De la **evolución de las precipitaciones** destacan cuatro rasgos. Por un lado su ya comentada escasez. En segundo lugar su también aludida irregularidad, con fuertes variaciones del volumen de precipitación anual. En tercer lugar podemos ver que estas han sido menos regulares y ligeramente menos abundantes en el último periodo de años analizado, esencialmente desde los años 80 del siglo XX. Y, finalmente el registro ocasional de precipitaciones de gran intensidad que se va a asociar a las crecidas fluviales, puesto que es el factor que directamente las determina. Un ejemplo muy significativo de este rasgo fue la riada de 2006 generada como respuesta a una intensa tormenta

Los **usos del suelo de una cuenca fluvial** tienen una gran transcendencia en el funcionamiento prioritario de los diversos procesos del ciclo hidrológico. Por ello, se ha analizado su evolución desde los años 80 hasta nuestros días y se ha plasmado en cartografía. Lo más destacable de estos cambios de uso es:

- La pérdida de superficie de los cultivos de secano, a pesar de que sigue siendo el uso dominante en la cuenca. Esta reducción no es progresiva sino que ha sufrido oscilaciones.
- La importancia de los bosques de frondosas que, tras reducirse casi a la mitad desde 1980 a 2000, han recuperado parte de su superficie.
- La progresiva desaparición del bosque mixto.
- El mantenimiento del porcentaje de superficie cubierta por matorrales y vegetación esclérfila.

El **cauce del río Sosa** evidencia un gran dinamismo hidromorfológico durante la segunda mitad del siglo XX y los inicios del XXI. Se ha realizado su seguimiento a partir de fotogramas aéreos y ortofotos correspondientes a cuatro momentos: 1944-47, 1956-57, 1973-86 y 2012. Los cambios más significativos que se aprecian son:

- La enorme disminución del espacio ocupado por barras de grava. Desde ocupar más del 40% del lecho fluvial a menos del 20%.
- El enorme incremento de la zona de gravas colonizadas por vegetación. Aproximadamente desde el 25% a más del 45% del cauce.
- El aumento de la vegetación de ribera, especialmente entre los años 70 y la actualidad, pasando de cubrir apenas el 4% de la zona a un 25%.
- La reducción, esencialmente en las dos últimas décadas, del sector de lecho fluvial cubierto por lámina de agua (canales de agua). Esto tiene mucho que ver con el encauzamiento artificial realizado en parte del recorrido del río Sosa.

Este conjunto de cambios son expresivos de una enorme variación en la dinámica fluvial, evidentemente asociada a los cambios de usos del suelo y a las variaciones de la dinámica de las precipitaciones. Sin duda, estos cambios demuestran la interacción de estos tres componentes (evolución de las precipitaciones, cambios de usos en la cuenca y evolución hidromorfológica del cauce) señala en nuestro objetivo principal del trabajo.

Aunque han faltado registros de datos hidrológicos e información documental sobre la actuación y efectos de las crecidas e inundaciones, se puede afirmar que existe un marcado **riesgo de inundación**, que podría generar numerosos daños en la población de Monzón, afectando a su casco urbano y a numerosas infraestructuras y viviendas. La gran intervención antrópica realizada en el mismo cauce fluvial durante los últimos años quizás protege parcialmente a Monzón pero no garantiza una seguridad total. Esta afirmación está basada en el análisis de la cartografía del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables que muestra como las crecidas con un periodo de retorno superior a 50 años inundan sectores de la ciudad de Monzón y sus áreas circundantes.

Aunque pueda resultar reiterativo, cabe cerrar estas conclusiones insistiendo en que tanto la evolución de los usos del suelo como la dinámica de las precipitaciones han marcado cambios en la evolución hidrogeomorfológica del cauce y en el riesgo de crecidas ya que mostrar esto



era el objetivo fundamental de nuestro trabajo. Entre los más significativos de dichos cambios podríamos marcar la pérdida de naturalidad del río, que se aprecia por la disminución de la glera, el encajamiento del cauce que pierde energía para transportar materiales y entonces excava, estabilización de gravas y aumento de inundaciones, ya que estas crecidas se siguen produciendo como corresponde a la dinámica del río y se encuentran con un cauce mucho más estrecho y con menos espacio lo que incrementa el riesgo de inundación.

## 9. BIBLIOGRAFIA

### Artículos y monografía

Acín, V., Ballarín Ferrer, D., Brufao Curiel, P., Domenech Zueco, S., Espejo Gil, F., González Hidalgo, J.C., Granado García, David, González de Matauco, A.I., Marcén Albero, C., Mora Mur, D., Nadal Romero, E., Ollero Ojeda, A., Saz Sánchez, M.Á. & Serrano Notivoli, R. 2012, "Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos". *Geographicalia* (61), pp. 101 – 128.

Barrera, M. (1999). Las aguas del Ebro. *Zaragoza: ACESA*.

Camarasa, A. & Mateu, J. (2000). "Las inundaciones en España en los últimos veinte años: una perspectiva geográfica". *Serie Geográfica* (9), pp. 11-15.

Del Valle, J., Ollero, A. & Sánchez Fabre, M. (2007). Atlas de los ríos de Aragón" *Zaragoza:Ed. Prames*.

Domenech Zueco, S., Espejo Gil, F., Ollero Ojeda, A. & Sánchez Fabre, M. (2011). "Peligrosidad por inundaciones en una cuenca no aforada: el río Sosa en Monzón (Huesca) y el evento de agosto de 2006". *Geographicalia*, pp.9-60,95-108.

Espejo Gil, F., Domenech Zueco, S., Ollero Ojeda, A. & Sánchez Fabre, M. (2008). "La crecida del Ebro de 2007: procesos hidrometeorológicos y perspectivas de gestión del riesgo". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (48), pp. 129 – 154.

Frutos, L.M. & Ollero, A y Sánchez, M. (2004). "Caracterización del Ebro y su cuenca y variaciones en su comportamiento hidrológico". En A. Gil Olcina (coord.). *Alteración de los regímenes fluviales peninsulares*. Murcia: Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia y Fundación CajaMurcia, pp. 233-280.

García Ruiz, J.M., Beguería, S. & Lorente, A. (2000). "Eventos hidrológicos de baja frecuencia en el pirineo central español y sus efectos geomorfológicos". *Serie geográfica*(9), pp 163 – 176.

García Ruiz, J.M., Beguería, S., López, J.I., Lorente, A. & Seeger, M. (2001). Los recursos hídricos superficiales del Pirineo Aragonés y su evolución reciente. *Logroño: Geofoma ediciones*.

García Ruiz, J.M., White, S., Martí, C., Valero, B., Errea, M.P. & Gómez Villar, A. (1996). La catástrofe del barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal. *Zaragoza: Instituto Pirenaico de Ecología*.

López-Moreno, J.I., Beguería, S. & García-Ruiz, J.M. (2006). "Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factor or to land-use change?". *Hydrological Sciences Journal*, (51), pp. 1039 – 1050.

Losada García, J.A., Montesinos Aranda, S., Margeli Omedas, M., García Vera, M.A. & Galván Plaza, R. (2004). "Cartografía de las inundaciones del río Ebro en febrero de 2003:

Trabajos de fotointerpretación, teledetección y análisis SIG en el GIS-EBRO". En C. Conesa, Y. Alvarez & J.B. Martínez (Eds.). *Medio ambiente, recursos y riesgos naturales*, (Vol.2). Murcia: Universidad de Murcia, pp. 207-218.

Morell, J. (2001). "El factor de la precipitación en la formación de avenidas en la cuenca alta del Turia.". *Geographicalia*(Nº40), pp. 47-74.

Ollero, A. & Pellicer, F. (1991). "Middle Ebro river channel and floodplain: geomorphology, recent changes, risks and management on a fluvial system of free meanders.". En M. Sala, J.M. Rubio & J.M. García Ruiz (Eds.). *Soil erosion studies in Spain*. Logroño: Geofoma, pp. 203-210

Ollero, A. (2006). "Inundaciones y ordenación del territorio fluvial en la cuenca del Ebro" En G. Chastagnaret, A. Alberola y A. Gil (Coords.). *Riesgo de inundaciones en el Mediterráneo occidental*, Madrid: Casa de Velázquez, pp. 239 - 272

Ollero, A. (2011). "The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: updated versión. *Limnetica*,30 (Nº2), pp. 255-262.

Ollero, A., Echeverría, M.T., Sánchez Fabre, M., Auría, V. Ballarín, D. & Mora, D. (2003). "Metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicación de la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE)", *Geographicalia*, (44), pp. 7-25.

Sala, M. & Fargell, J. (2002). "Exportación de agua y sedimento en dos pequeñas cuencas bajo diferentes usos del suelo", *Revista de la Sociedad Española de Geomorfología*,16 (1-4),pp. 97-109.

Sánchez Fabre, M., Ballarín Ferrer, D., Mora Mur, D., Ollero Ojeda, A. & Serrano Notivoli, M.A. (2015). "Las crecidas del Ebro medio en el comienzo del siglo XXI". En J. de la Riva, P. Ibarra, R. Montorio & M. Rodrigues (Eds.). *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza – AGE, pp. 1853-1862.

Serrano Notivoli, Roberto, Mora Mur, Daniel, Ollero Ojeda, A., Sánchez Fabre, M. & Saz Sánchez, M.Á. (2014). "Respuesta hidrológica al evento de precipitación de junio de 2013 en el pirineo central". *Investigaciones geográficas* (62), pp. 5-21.

### **Sitios Web**

Anciles.aragon.es. (2016). [online] Available at:  
<http://anciles.aragon.es/AtlasClimatico/tools.htm> [Accessed. 2016].

Centrodedescargas.cnig.es. (2016). *Centro de Descargas del CNIG (IGN)*. [online] Available at: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Accessed 2016].

Ign.es. (2016). *IBERPPIX. Ortofotos y cartografía raster*. [online] Available at:  
<http://www.ign.es/iberpix2/visor/> [Accessed 2016].

Magrama.gob.es. (2016). *Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables - Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) - Gestión de los riesgos de inundación - Agua - magrama.es*. [online] Available at:  
<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/> [Accessed 2016].

Sig.magrama.es. (2016). *Sistema de Información del Anuario de Aforos*. [online] Available at: <http://sig.magrama.es/aforos/> [Accessed 2016].