

Trabajo Fin de Grado

Análisis de las crecidas del río Aragón en su cuenca alta (Alto Aragón).

Analysis of the flooding of the Aragón river in its upper basin (Alto Aragón).

Autor

Marcelo Ramos Saltré

Director

Miguel Sánchez Fabre

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio

Facultad de Filosofía y Letras

Universidad de Zaragoza

Curso 2023/2024

Resumen

Se ha llevado a cabo un análisis de las crecidas del río Aragón en su tramo alto, precedido de una necesaria caracterización de su comportamiento hidrológico. La mayor parte de la zona de estudio se encuentra en Huesca, aunque también abarca parte del territorio de Zaragoza y de Navarra. Utilizando datos de siete estaciones de aforo diferentes —Sigüés en el río Esca, Zuriza y Biniés en el río Veral; Javierregay en el río Aragón Subordán; y Martes, Canfranc y Jaca en el río Aragón— se realizó un análisis exhaustivo de las crecidas del río a lo largo del tiempo para evaluar su tipología y el posible riesgo que han producido y pueden producir en las localidades cercanas. El estudio incluye dos mapas que señalan el área analizada. Finalmente, se presentan una serie de propuestas y sugerencias relacionadas con el elevado número de crecidas existentes y su tipología en esta subcuenca del Alto Aragón (España).

Palabras clave: Estaciones de aforo, hidrología, subcuenca Alto Aragón, crecidas, riesgo, propuesta

Abstract

An analysis of the floods of the Aragón river in its upper stretch has been carried out, preceded by a necessary characterisation of its hydrological behaviour. Most of the study area is located in Huesca, although it also covers part of the territory of Zaragoza and Navarra. Using data from seven different gauging stations - Sigüés on the river Esca, Zuriza and Biniés on the river Veral; Javierregay on the river Aragón Subordán; and Martes, Canfranc and Jaca on the river Aragón - an exhaustive analysis was made of the river's floods over time to evaluate their typology and the possible risk they have produced and may produce in nearby localities. The study includes two maps showing the area analysed. Finally, a series of proposals and suggestions are presented in relation to the high number of existing floods and their typology in this sub-basin of the Upper Aragon (Spain).

Keywords: Gauging stations, hydrology, Alto Aragón sub-basin, floods, risk, proposal

Índice de Contenido

1.	Introducción.....	10
2.	Antecedentes.....	11
3.	Objetivos	12
4.	Metodología	13
4.1.	Fase 1.....	15
4.2.	Fase 2.....	16
4.3.	Fase 3.....	16
4.4.	Fase 4.....	17
4.5.	Fase 5.....	17
5.	Localización del área de estudio.....	17
5.1.	Río Aragón	21
5.2.	Río Aragón Subordán.....	22
5.3.	Río Veral.....	23
5.4.	Río Esca.....	24
5.5.	Medio Humano de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón.....	24
6.	Caracterización del medio natural de la subcuenca del Alto Aragón	26
6.1.	Clima de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón.....	26
6.2.	Topografía y pendientes de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón.....	28
6.3.	Rasgos litológicos de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón	30
6.4.	Usos del suelo y vegetación de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón	31
7.	Caracterización hidrológica de la subcuenca del Alto Aragón	33
7.1.	Disponibilidad de caudal	33
7.2.	Variación estacional del caudal	34
7.3.	Irregularidad interanual.....	42
8.	Fenómenos extremos. Los estiajes	48
9.	Fenómenos extremos. Las crecidas	54
9.1.	Número de días de crecida.....	55
9.2.	Volumen y reparto temporal de las crecidas	58
9.3.	Reparto de las crecidas por meses.....	69
9.4.	Tipología de las crecidas.....	73
9.4.1.	Río Esca	74
9.4.2.	Río Veral.....	77
9.4.3.	Río Aragón Subordán.....	81
9.4.4.	Río Aragón	84

9.4.5.	Crecidas generalizadas en las diferentes subcuencas	90
9.4.6.	Tipificación de las crecidas	96
10.	Conclusiones	96
11.	Bibliografía y recursos utilizados	99
11.1.	Bibliografía	99
11.2.	Recursos utilizados	103
12.	Anexos	105
12.1.	Anexo 1. Excel: Relación de eventos de crecida determinados a partir de los caudales medios diarios	105

Índice de Figuras

Figura 1.	Metodología	14
Figura 2.	Mapa 1 del área de estudio	19
Figura 3.	Mapa 2 del área de estudio	20
Figura 4.	Evolución de la población en la subcuenca del Alto Aragón 1900-2011	25
Figura 5.	Pirámide de población de la subcuenca del Alto Aragón 2022 (izda.) y tabla con la población total y por sexo 2022 (dcha.)	25
Figura 6.	Estructura de empleo en la Subcuenca del Alto Aragón 2023	26
Figura 7.	Diagrama de temperatura (izda.) y climograma (dcha.) de Sigüés en el río Esca	27
Figura 8.	Diagrama de temperatura (izda.) y climograma (dcha.) de Canfranc en el río Aragón	27
Figura 9.	Diagrama de temperatura (izda.) y climograma (dcha.) de Jaca en el río Aragón	28
Figura 10.	Pendientes de la subcuenca del Alto Aragón	29
Figura 11.	Usos del suelo y vegetación de la subcuenca del Alto Aragón	32
Figura 12.	Curva de variación estacional de caudal del río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20)	35
Figura 13.	Curva de variación estacional del caudal del río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20)	36
Figura 14.	Curva de variación estacional del caudal del río Veral en Biniés (1931/32-2019/20)	37
Figura 15.	Curva de variación estacional del caudal del río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20)	38
Figura 16.	Curva de variación estacional del caudal del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20)	39
Figura 17.	Curva de variación estacional del caudal del río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20)	40
Figura 18.	Curva de variación estacional del caudal del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20)	41
Figura 19.	Histograma de irregularidad interanual del río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20)	43
Figura 20.	Histograma de irregularidad interanual del río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20)	44
Figura 21.	Histograma de irregularidad interanual del río Veral en Biniés (1931/32-2019/20)	44
Figura 22.	Histograma de irregularidad interanual del río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20)	45
Figura 23.	Histograma de irregularidad interanual del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20)	46

Figura 24. <i>Histograma de irregularidad interanual del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20)</i>	46
Figura 25. <i>Histograma de irregularidad interanual del río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20)</i>	47
Figura 26. <i>Reparto porcentual de los siete aforos analizados en los tipos de irregularidad interanual</i>	48
Figura 27. <i>Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Sigüés (1930/31-2019/20)</i>	49
Figura 28. <i>Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Zuriza (1933/34-2019/20)</i>	49
Figura 29. <i>Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Biniés (1931/32-2019/20)</i>	50
Figura 30. <i>Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Javierregay (1955/56-2019/20)</i>	51
Figura 31. <i>Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Martes (2004/05-2019/20)</i>	51
Figura 32. <i>Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Canfranc (1991/92-2019/20)</i>	52
Figura 33. <i>Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Jaca (1930/31-2019/20)</i>	53
Figura 34. <i>Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Esca, por intensidad (estación de aforo de Sigüés, 1930/31-2019/20)</i>	55
Figura 35. <i>Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Veral, por intensidad (estación de aforo de Zuriza, 1933/34-2019/20)</i>	55
Figura 36. <i>Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Veral, por intensidad (estación de aforo de Biniés, 1931/32-2019/20)</i>	56
Figura 37. <i>Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Aragón Subordán, por intensidad (estación de aforo de Javierregay, 1955/56-2019/20)</i>	56
Figura 38. <i>Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Aragón, por intensidad (estación de aforo de Martes, 2004/05-2019/20)</i>	57
Figura 39. <i>Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Aragón, por intensidad (estación de aforo de Canfranc, 1991/92-2019/20)</i>	57
Figura 40. <i>Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Aragón, por intensidad (estación de aforo de Jaca, 1930/31-2019/20)</i>	58
Figura 41. <i>Máximos instantáneos mensuales del río Esca en Sigüés (1948/49-2019/20)</i>	60
Figura 42. <i>Máximos instantáneos mensuales del río Veral en Zuriza (1961/62-2019/20)</i>	61
Figura 43. <i>Máximos instantáneos mensuales del río Veral en Biniés (1953/54-2019/20)</i>	62
Figura 44. <i>Máximos instantáneos mensuales del río Aragón Subordán en Javierregay (1956/57-2019/20)</i> .	63
Figura 45. <i>Máximos instantáneos mensuales del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20)</i>	63
Figura 46. <i>Máximos instantáneos mensuales del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20)</i>	64
Figura 47. <i>Máximos instantáneos mensuales del río Aragón en Jaca (1943/44-2019/20)</i>	65
Figura 48. <i>Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Sigüés entre 1930/31 y 2019/20.</i>	66
Figura 49. <i>Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Zuriza entre 1933/34 y 2019/20 .</i>	66
Figura 50. <i>Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Biniés entre 1931/32 y 2019/20..</i>	67
Figura 51. <i>Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Javierregay entre 1955/56 y 2019/20</i>	67

Figura 52. <i>Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Martes entre 2004/05 y 2019/20</i>	68
Figura 53. <i>Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Canfranc entre 1991/92 y 2019/20</i>	68
Figura 54. <i>Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Jaca entre 1930/31 y 2019/20</i>	69
Figura 55. <i>Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20)</i>	70
Figura 56. <i>Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20)</i>	70
Figura 57. <i>Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Veral en Biniés (1931/32-2019/20)</i>	70
Figura 58. <i>Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20)</i>	71
Figura 59. <i>Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Martes (2004/05-2019/20)</i>	71
Figura 60. <i>Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20)</i>	72
Figura 61. <i>Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20)</i>	72
Figura 62. <i>Número de eventos de crecida según estación de aforo (izda.) y según río (dcha.)</i>	74
Figura 63. <i>Ejemplos de crecidas cortas (un pico) en el río Esca</i>	75
Figura 64. <i>Ejemplos de crecidas con dos picos en el río Esca</i>	76
Figura 65. <i>Ejemplo de crecidas con tres picos en el río Esca</i>	76
Figura 66. <i>Ejemplos de crecidas largas y complejas (muchos picos) en el río Esca</i>	77
Figura 67. <i>Ejemplos de crecidas cortas (un pico) en el río Veral</i>	78
Figura 68. <i>Ejemplos de crecidas con dos picos en el río Veral</i>	79
Figura 69. <i>Ejemplos de crecidas con tres picos en el río Veral</i>	79
Figura 70. <i>Ejemplos de crecida larga (cuatro picos) en el río Veral</i>	80
Figura 71. <i>Ejemplos de crecidas largas y complejas (muchos picos) en el río Veral</i>	80
Figura 72. <i>Ejemplos de crecidas cortas (un pico) en el río Aragón Subordán</i>	82
Figura 73. <i>Ejemplos de crecidas con dos picos en el río Aragón Subordán</i>	83
Figura 74. <i>Ejemplo de crecida con tres picos en el río Aragón Subordán</i>	83
Figura 75. <i>Ejemplos de crecidas largas y complejas (muchos picos) en el río Aragón Subordán</i>	84
Figura 76. <i>Ejemplos de crecidas cortas (un pico) en el río Aragón</i>	86
Figura 77. <i>Ejemplos de crecidas con dos picos en el río Aragón</i>	87
Figura 78. <i>Ejemplos de crecidas con tres picos en el río Aragón</i>	88
Figura 79. <i>Ejemplos de crecidas largas y complejas (muchos picos) en el río Aragón</i>	89
Figura 80. <i>Hidrograma de la crecida del 01/06/1979</i>	90
Figura 81. <i>Hidrograma de la crecida del 05/10/1992</i>	90
Figura 82. <i>Hidrograma de la crecida del 06/11/2000</i>	90

Figura 83. <i>Hidrograma de la crecida del 13/11/2000</i>	91
Figura 84. <i>Hidrograma de la crecida del 23/11/2000</i>	91
Figura 85. <i>Hidrograma de la crecida del 04/03/2001</i>	91
Figura 86. <i>Hidrograma de la crecida del 31/10/2003</i>	92
Figura 87. <i>Hidrograma de la crecida del 11/11/2009</i>	92
Figura 88. <i>Hidrograma de la crecida del 22/07/2010</i>	92
Figura 89. <i>Hidrograma de la crecida del 20/10/2012</i>	93
Figura 90. <i>Hidrograma de la crecida del 15/12/2012</i>	93
Figura 91. <i>Hidrograma de la crecida del 08/03/2013</i>	93
Figura 92. <i>Hidrograma de la crecida del 30/03/2013</i>	94
Figura 93. <i>Hidrograma de la crecida del 04/01/2014</i>	94
Figura 94. <i>Hidrograma de la crecida del 25/01/2014</i>	94
Figura 95. <i>Hidrograma de la crecida del 11/01/2016</i>	95
Figura 96. <i>Hidrograma de la crecida del 11/12/2017</i>	95

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Ríos analizados en este estudio</i>	18
Tabla 2. <i>Relación entre las estaciones de aforo y el río en el que se encuentran y la serie de años que abarcan</i>	33
Tabla 3. <i>Cálculo del coeficiente de caudal del río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20)</i>	35
Tabla 4. <i>Cálculo del coeficiente de caudal del río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20)</i>	36
Tabla 5. <i>Cálculo del coeficiente de caudal del río Veral en Biniés (1931/32-2019/20)</i>	37
Tabla 6. <i>Cálculo del coeficiente de caudal del río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20)</i>	38
Tabla 7. <i>Cálculo del coeficiente de caudal del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20)</i>	39
Tabla 8. <i>Cálculo del coeficiente de caudal del río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20)</i>	40
Tabla 9. <i>Cálculo del coeficiente de caudal del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20)</i>	41
Tabla 10. <i>Tipos o niveles de irregularidad interanual</i>	42
Tabla 11. <i>Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20)</i>	43
Tabla 12. <i>Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20)</i>	44
Tabla 13. <i>Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Veral en Biniés (1931/32-2019/20)</i>	45
Tabla 14. <i>Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20)</i>	45
Tabla 15. <i>Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20)</i>	46
Tabla 16. <i>Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20)</i>	47
Tabla 17. <i>Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20)</i>	47

Tabla 18. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Sigüés (1930/31-2019/20)	49
Tabla 19. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Zuriza (1933/34-2019/20).....	50
Tabla 20. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Biniés (1931/32-2019/20).....	50
Tabla 21. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Javierregay (1955/56-2019/20)	51
Tabla 22. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Martes (2004/05-2019/20).....	52
Tabla 23. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Canfranc (1991/92-2019/20)	52
Tabla 24. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Jaca (1930/31-2019/20)	53
Tabla 25. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Sigüés (1930/31-2019/20).....	55
Tabla 26. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Zuriza (1933/34-2019/20)	56
Tabla 27. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Biniés (1931/32-2019/20)	56
Tabla 28. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Javierregay (1955/56-2019/20)	56
Tabla 29. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Martes (2004/05-2019/20)	57
Tabla 30. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Canfranc (1991/92-2019/20)	57
Tabla 31. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Jaca (1930/31-2019/20)	58
Tabla 32. Módulos y grupos para la clasificación de las crecidas por su intensidad para cada una de las siete estaciones de aforo estudiadas	59
Tabla 33. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20)	70
Tabla 34. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20)	70
Tabla 35. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Veral en Biniés (1931/32-2019/20)	71
Tabla 36. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20).....	71
Tabla 37. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Martes (2004/05-2019/20).....	71
Tabla 38. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20).....	72
Tabla 39. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20)	72
Tabla 40. Número de eventos de crecida registrado en las diferentes estaciones de aforo	73

Índice de Fotos

Foto 1. <i>Río Aragón</i>	11
Foto 2. <i>Estación de aforo A282 Río Aragón en Martes</i>	21
Foto 3. <i>Estación de aforo A271 Río Aragón en Canfranc</i>	21
Foto 4. <i>Estación de aforo A018 Río Aragón en Jaca</i>	22
Foto 5. <i>Estación de aforo A061 Río Aragón Subordán en Javierregay</i>	22
Foto 6. <i>Estación de aforo A080 Río Veral en Zuriza</i>	23
Foto 7. <i>Estación de aforo A062 Río Veral en Biniés</i>	23
Foto 8. <i>Estación de aforo A063 Río Esca en Sigüés</i>	24

1. Introducción.

Una cuenca hidrográfica es un fragmento de la superficie terrestre con unos límites que están bien definidos gracias a una divisoria. En su interior se encuentran una gran cantidad de componentes bióticos y abióticos que están relacionados entre sí. En la cuenca, el agua entra de forma natural, principalmente de las precipitaciones, y se redistribuye gracias a la intervención de todos los procesos del ciclo hidrológico, los cuales buscan un punto de salida que es la desembocadura (Sánchez y Moya, 2011). En este trabajo se analizan en profundidad las crecidas producidas en diferentes estaciones de aforo a lo largo del tiempo en la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón, que se encuentra al noroeste de la cuenca hidrográfica del Ebro, como más adelante se verá en el apartado de “localización del área de estudio”.

La cuenca hidrográfica del Ebro es la más extensa de España, abarcando aproximadamente unos 85,550 km², y atravesando diversas comunidades autónomas desde Cantabria hasta Cataluña, terminando en el Mar Mediterráneo (desembocadura). El río Ebro, con 910 km de longitud, es el principal curso fluvial de la cuenca, que incluye numerosos afluentes tanto en la margen derecha como en la margen izquierda, pudiendo diferenciarlos por distintas características generales. Esta región se podría decir que se considera vital para la agricultura, gracias a su sistema de riego extensivo, y para la generación de energía hidroeléctrica entre otras consideraciones. Su diversidad ecológica y paisajística es notable, albergando desde montañas en los Pirineos hasta áreas semiáridas en el valle del Ebro.

Esta subcuenca hidrográfica del Alto Aragón estudiada se ubica en la margen izquierda del río Ebro (en general, los afluentes que provienen de la margen izquierda pirenaica son los más largos y los que mayor caudal aportan al Ebro según Laura F. Zarza, 2021). Una subcuenca hidrográfica se considera una división natural de una cuenca mayor. En el contexto hidrológico, las subcuencas juegan un papel fundamental en la gestión del agua y la predicción de fenómenos hidrológicos, como las crecidas.

La temática central de esta investigación son las crecidas o también denominadas inundaciones fluviales, que son procesos hidrogeomorfológicos esenciales en el funcionamiento del sistema fluvial. Al mismo tiempo, constituyen un riesgo natural debido a las afecciones socioeconómicas que pueden generar procesos como la erosión de las riberas y las inundaciones (Ollero et al. 2020). Las crecidas se analizan como un súbito aumento del caudal en un río, como consecuencia de fuertes precipitaciones y acumulación de agua en un punto determinado (Atlas didáctico del IGN).

Los ríos actúan como arterias del ciclo hidrológico, transportando agua y sedimentos desde las áreas altas hacia las bajas, y desempeñan un papel crucial en la modelación y gestión del recurso hídrico en las cuencas y subcuencas hidrográficas. En este trabajo se realizará un estudio de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón, enfocándose en los ríos Esca, Veral, Aragón Subordán y Aragón. Se analizarán sus caudales y se estudiarán en profundidad sus crecidas utilizando los datos proporcionados por las estaciones de aforo (Sistema de Anuario de Aforos) ubicadas en Sigüés, Zuriza, Biniés, Javierregay, Martes, Canfranc y Jaca en diferentes periodos de tiempo disponibles. Posteriormente, se llevará a cabo un análisis de las tipologías de estas crecidas, se evaluarán de manera general los posibles riesgos asociados a grandes crecidas y se llegarán a algunas conclusiones interesantes.

A lo largo de este trabajo, se presentarán los métodos de recolección y análisis de datos, se describirán las características específicas de cada subcuenca del Alto Aragón (los ríos que pasan por cada una de las estaciones mencionadas) y se discutirán los resultados obtenidos. Asimismo, se explorarán las posibles implicaciones de estos hallazgos para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

Las crecidas en Aragón son fenómenos naturales recurrentes, especialmente en la zona trabajada, las zonas montañosas de los Pirineos (aunque también en el Sistema Ibérico). Estas crecidas, principalmente son impulsadas por lluvias intensas y deshielos primaverales, tal como se irá viendo según avance este proyecto. La frecuencia de estas crecidas varía, con diferentes episodios significativos registrados a lo largo de los años y meses, aunque eventos muy extremos ocurren de manera más esporádica.

La región cuenta con una red de estaciones de aforo (en la que se ha apoyado) para monitorear los niveles de agua y mitigar riesgos, pero las crecidas siguen representando un desafío importante para la gestión de recursos hídricos y, por supuesto, la protección civil.

Tal y como se verá durante este documento, el mayor número de crecidas se concentran en los meses de primavera y otoño, por el contrario, el porcentaje de días con más estiaje se ubican en los meses de verano. Más adelante se explicará el porqué de esta situación.

Destacar que la crecida analizada con mayor caudal registrado en la subcuenca del Alto Aragón según los datos disponibles y las estaciones de aforo examinadas, fue el 20 de octubre de 2012 en el río Aragón en Martes, con 672,2 m³/s de caudal medio diario.



Foto 1. Río Aragón. Fuente: CHE

2. Antecedentes.

El estudio del agua tiene una rica historia que se remonta a civilizaciones antiguas donde se asentaron cerca de ríos y fuentes de agua, y desarrollaron técnicas avanzadas de gestión de esta para la agricultura y la subsistencia. Durante la Edad Media, especialmente en el mundo islámico y China, se produjeron importantes avances en la ingeniería hidráulica. Más tarde, el Renacimiento y la Ilustración trajeron un enfoque más científico al estudio del agua, con figuras como Leonardo da Vinci haciendo contribuciones significativas. En el siglo XIX se sentaron las bases de la hidrología moderna basándose en principios como la ley de Darcy, y, por otro lado, la introducción de nuevas tecnologías como la teledetección y los modelos informáticos en la segunda mitad del siglo XX transformó este campo. Por último, en el siglo XXI, se puede afirmar que la hidrología enfrenta desafíos globales como el cambio climático y la seguridad hídrica, y se deben utilizar tecnologías avanzadas para gestionar y proteger de manera sostenible los recursos hídricos.

Con todo lo mencionado en el anterior párrafo se puede ver que el agua ha sido un foco de estudio durante miles de años. Los filósofos clásicos exploraban el origen de las fuentes y los mares, hasta la formulación del ciclo hidrológico en el siglo XIX. Este interés dio lugar al desarrollo de la hidrología como una disciplina científica dedicada al análisis del agua.

Desde mediados del siglo XIX, la hidrología ha desempeñado un papel crucial en la organización territorial y la gestión de los recursos hídricos, enfocándose en la relación entre el ser humano y el agua. La necesidad de comprender y manejar el agua ha perdurado a lo largo del tiempo, dando lugar a una abundancia de publicaciones y estudios sobre sus propiedades y su interacción con el entorno.

Así pues, este trabajo, que se centra principalmente en el fenómeno de las crecidas e inundaciones en la subcuenca del Alto Aragón, se ha podido apoyar en la existencia de múltiples estudios en los que, a su vez, se ha podido sacar información de valor para esta investigación. Algunos de los estudios abarcan Europa en su ámbito de trabajo: Zbigniew W. Kundzewicz et al. (2012), Tarasova, L., Lun, D., Merz, R. et al. (2023). Otros se refieren a todo el ámbito mediterráneo: T. Rodríguez Estrella et al. (1992), A.M. Camarasa Belmonte & F. Segura Beltrán (2001), M. C. Llasat et al. (2010), M.C. Llasat et al. (2014), Romero-Díaz (2021), Yves Trambly et al. (2023). Varios de ellos se refieren a ríos de la Península Ibérica: Ollero, A. (2001), Sanchez Fabre et al. (2004), J. I. López-Moreno et al. (2006), González del Tanago del Río (2008), Francesca S. Segura (2009), S. Kotlarski et al. (2012), Alfredo Pérez Morales & Salvador Gil Guirado (2012), Gregorio Castejón Porcel & Asunción Romero Díaz (2016), Sánchez (1993), Olcina, J et al. (2016), D. Pino et al. (2016), Sánchez Fabre, M. (2018), Ollero et al. (2017), Balasch et al. (2019), Ollero et al. (2020), Olcina, J.; Morote, Á.-F.; & Hernández, M. (2022), Sánchez et al. (2022), Oliva, A. & Olcina, J (2023). Y hay algunos que incluyen en su contenido nuestra zona de estudio: García Ruiz et al. (2001), M. Sánchez, A. Ollero y J. del Valle (2004), A. Navas et al. (2008), Roberto Serrano Notivoli et al. (2014). En otros ámbitos geográficos: Mark V Bernhofen et al. (2021), R. Zegait et al. (2022), Penton, D.J., Teng, J., Ticehurst, C. et al. (2023).

Todas estas publicaciones están ampliamente relacionadas con las crecidas y precipitaciones de una forma más general. Como se puede apreciar, existen un gran número de estudios centrados en esta temática.

Las crecidas son procesos hidrogeomorfológicos esenciales en el funcionamiento del sistema fluvial. Al mismo tiempo, constituyen un riesgo natural debido a las afecciones socioeconómicas que pueden generar. Por ello, el conocimiento científico de las inundaciones fluviales es esencial para enfocar y abordar medidas de mitigación del riesgo. En las últimas décadas se ha avanzado en la sustitución de las tradicionales medidas duras de defensa por otras adaptadas a la dinámica fluvial (De Bruijn, 2005; Batia y Gouberville, 2016).

El análisis constante de las cuencas y subcuencas, el comportamiento de los ríos como el fenómeno extremo de las crecidas es fundamental. Es responsabilidad del geógrafo comprender estos factores entre otros para llevar a cabo una planificación territorial adecuada. Estos conocimientos también son fundamentales no solo para prevenir desastres naturales que puedan impactar los asentamientos humanos, sino también para utilizar de manera sostenible este recurso esencial como es el agua.

3. Objetivos.

El objetivo principal de este proyecto es realizar un análisis y caracterización general de la dinámica de las crecidas en la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón, identificando patrones temporales y espaciales a partir de los datos instrumentales recogidos históricamente en diferentes estaciones de aforo o puntos de control (Sigüés, Zuriza, Biniés, Javierregay, Martes, Canfranc y Jaca) y en diferentes periodos de tiempo según la disponibilidad de datos en el Sistema de Anuario de Aforos (CHE).

Así pues, para conseguir este objetivo principal, se plantean estos otros objetivos específicos:

- Estudiar los elementos del medio natural de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón que influyen en el comportamiento hidrológico: clima, pendiente, y usos del suelo y vegetación
- Conocer las características socioeconómicas generales de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón
- Determinar la frecuencia, magnitud y duración de las crecidas en las estaciones de aforo observadas y los ríos que las acogen.
- Analizar los elementos del comportamiento hidrológico, entre los que destacan:
 - El caudal, módulo y caudal específico
 - Curva de variación estacional

- Irregularidad interanual.
- Variación estacional.
- Fenómenos extremos: como ya se ha indicado las crecidas son el objeto esencial de estudio de este trabajo. Pero también se hará referencia a los estiajes, aunque con menos detalle.
- Plantear algunas conclusiones y posibles recomendaciones ante la gran cantidad de crecidas estudiadas y examinar las posibles consecuencias de estas sobre el entorno natural y las infraestructuras humanas.
- Generar información útil para futuras investigaciones sobre hidrología y gestión de recursos hídricos en la región. Aportar datos y análisis que puedan ser utilizados por las autoridades locales y regionales en la planificación y gestión del agua.
- Fortalecer el uso de herramientas de modelado y análisis hidrológico como las utilizadas en este trabajo.
- Fomento de la conciencia ambiental y social mediante los resultados obtenidos en este documento.

Como hipótesis de partida, se establece que en la subcuenca alta del Alto Aragón, desde hace muchos años, las crecidas presentan una alta variabilidad temporal, influenciada principalmente por las precipitaciones estacionales, el deshielo y los eventos meteorológicos extremos entre otros factores. A día de hoy, sigue existiendo un riesgo real de graves daños por fuertes inundaciones, y a partir de situaciones históricas de los registros de caudal del Sistema de Anuario de Aforos, se intentará explorar cómo las diferentes estaciones y eventos extremos afectan el comportamiento de las crecidas en la subcuenca y los distintos tipos de crecidas, proporcionando un análisis detallado.

Todo esto permitirá comprender mejor los factores que influyen en la ocurrencia y magnitud de estos eventos, e incluso podría contribuir en un futuro al desarrollo de estrategias de gestión y mitigación de riesgos asociados a las crecidas en la subcuenca del Alto Aragón.

4. Metodología.

Para la elaboración de este estudio, se han seguido cinco fases distintas (figura 1). El desarrollo de cada una de estas etapas ha sido mediante múltiples metodologías y con diferentes fuentes de información.

- Fase 1: Caracterización de la subcuenca del Alto Aragón.
- Fase 2: Análisis hidrológico de la subcuenca del Alto Aragón.
- Fase 3: Fenómenos extremos: los estiajes.
- Fase 4: Fenómenos extremos: las crecidas.
- Fase 5: Conclusiones.

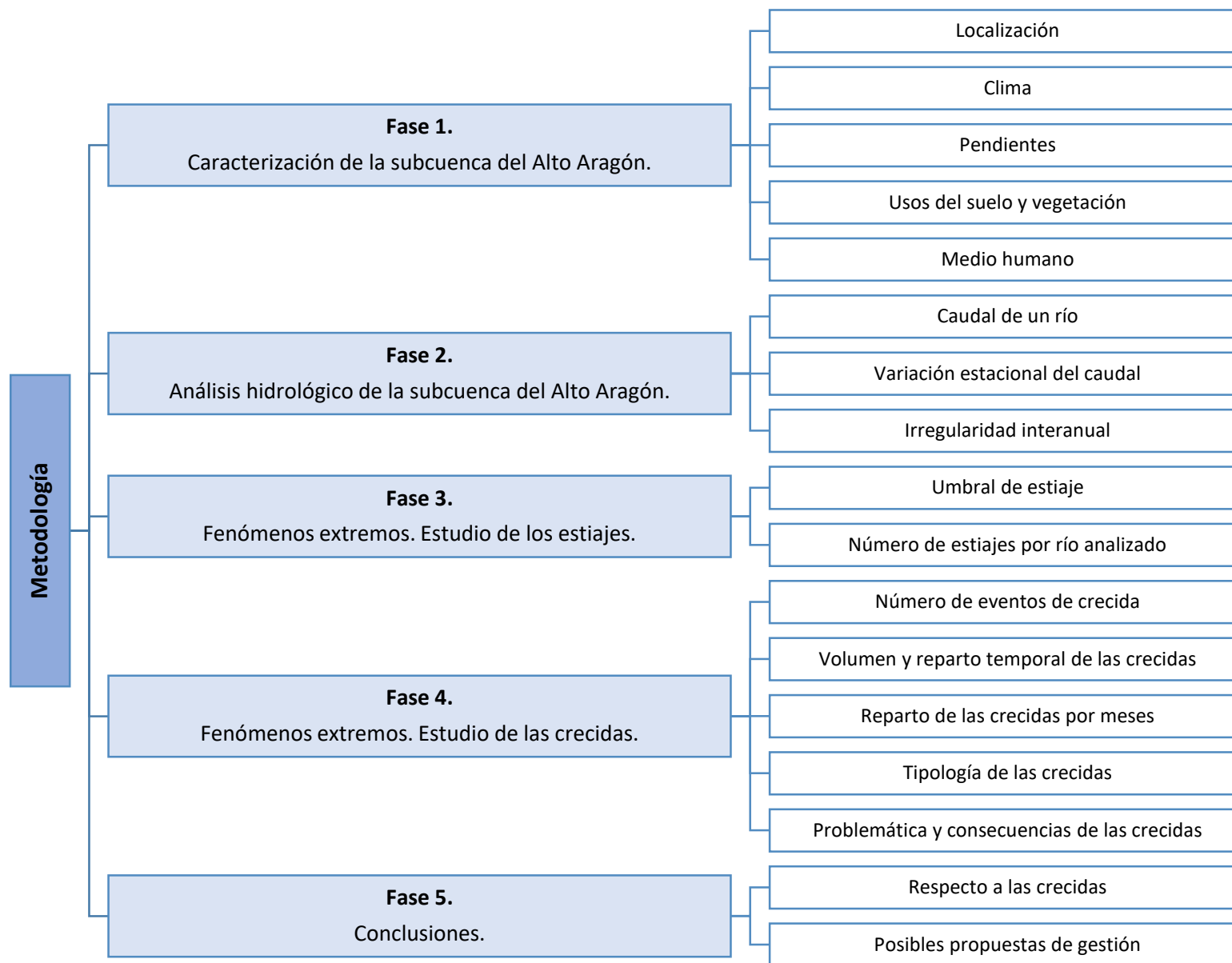


Figura 1. Metodología. Elaboración propia.

4.1. Fase 1.

Esta primera fase sobre la caracterización de la subcuenca del Alto Aragón se ha basado en dos partes fundamentales.

La primera se centra en la descripción adecuada de la localización de nuestra área de estudio, que no sólo se ha explicado con palabras, sino que se han formado dos cartografías de la zona para conocer mejor la ubicación de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón (ver figuras 2 y 3) desde el programa *ArcMap 10.7.1*. Desde Icearagon y el Centro de descargas del Centro Nacional de Información geográfica (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) se han descargado diferentes capas que se han considerado de relevancia para la realización de estos dos mapas, como son: la capa de ríos (que una vez obtenida ha sido recortada dejando solamente los ríos que comprenden este estudio junto a sus afluentes), las capas de división por provincias y por comarcas de España (para situarse mejor en el espacio), la capa de las estaciones de aforo (utilizando solamente las siete analizadas en el Alto Aragón) y, por último, desde el almacén de datos cartográficos de SITEbro, se han descargado las divisorias hidrográficas, con el fin de obtener la demarcación hidrográfica de la subcuenca del Alto Aragón.

La segunda parte que se ha llevado a cabo en esta primera fase ha sido la caracterización de una serie de factores naturales que afectan al funcionamiento hidrológico y determinan ciertos rasgos paisajísticos de la propia subcuenca del Alto Aragón, pero desde una perspectiva general, ya que esta no se considera la temática central de este trabajo. Se han estudiado los rasgos climáticos, las pendientes y los usos del suelo y vegetación de la zona de análisis.

- Para tener conocimiento sobre el clima de la zona de estudio se ha utilizado el Atlas Climático de Aragón. Los datos disponibles son muy variados, pero en este caso solamente se han observado: temperaturas medias, temperaturas medias máximas y mínimas, y precipitaciones medias mensuales. También se han tomado datos del Instituto Aragonés de Estadística (IAEST) y se han utilizado las páginas “Ogimet” y “Climate Data” para una información más enriquecedora.
- Por otro lado, se han realizado dos cartografías que caracterizan parte de los elementos naturales del Alto Aragón, una de ellas sobre la pendiente de la zona y otra sobre los usos del suelo y vegetación (ver figuras 10 y 11).
 - o Mapa de pendientes: El primer paso (una vez obtenida la demarcación hidrográfica del Alto Aragón tras la elaboración de los mapas de localización) ha sido acceder a la Base Topográfica Nacional, escala 1:25000 (BTN-25) y al Modelo Digital de Terreno (MDT05 en este trabajo). Seguido, se han obtenido las hojas MTN25 para nuestra zona de estudio 117, 118, 143, 144, 145, 175, 176, 177, 208 y 209 del Mapa Topográfico Nacional. Una vez obtenidas, desde la herramienta “*Data Management tool > Mosaic to new ráster*” se han unido. A continuación, desde “*Data Management tool > Raster processing > Clip*” se ha recortado el MDT unido en el paso anterior a nuestra zona de estudio. El siguiente paso ha sido “*Spatial analyst > Surface > Slope*”, para obtener la pendiente, que más tarde ha sido reclasificada en 5 grupos distintos para una mejor compresión de la cartografía (ver figura 10). Por último, para decorar el mapa, se han añadido las sombras con la herramienta “*Spatial analyst tool > Hillshade*”, mejorando la visión del relieve y colocándolas debajo de la capa de pendientes (esta última con una transparencia del 30% para que se pudiera ver el relieve). Una vez hecho todo esto, ya sólo quedaba maquetar correctamente el mapa.
 - o Mapa de usos del suelo y vegetación: Se han utilizado los datos del CORINE Land Cover de 2018, descargados del Centro de descargas del Centro Nacional de Información geográfica (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), dentro de la información geográfica temática. Al ser la leyenda muy extensa se ha simplificado, uniendo zonas de carácter similar, con el fin de conseguir una visualización adecuada. En cuanto a las capas, se han utilizado las mismas de información general (ríos analizados, estaciones estudiadas y demarcación hidrográfica del Alto Aragón) que en los mapas de localización y el de pendientes.

- Por último, se han estudiado de manera general la evolución de la población y la estructura de los sectores económicos en la comarca de la Jacetania (comarca que abarca toda la zona de estudio), consultando para ello la información disponible en el Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto Aragonés de Estadística (IAEST) y el Ministerio de Transición Ecológica.

4.2. Fase 2.

Una vez elaborada la primera fase, se pasa a la segunda fase en la que se ha realizado la caracterización hidrológica de la subcuenca del Alto Aragón. Los datos necesarios para estudiar el comportamiento hidrológico se han descargado del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), concretamente de la herramienta del Sistema del Anuario de Aforos. A través de esta herramienta, se han buscado las siete estaciones de aforo de estudio (Sigüés, Zuriza, Biniés, Javierregay, Martes, Canfranc y Jaca) y para cada una se han descargado los siguientes datos:

- Datos de caudal medio diario en m^3/s .
- Datos de caudal medio mensual en m^3/s .
- Datos de caudal medio anual en m^3/s .
- Datos de caudal máximo instantáneo del mes en m^3/s .

Con estos datos descargados, en esta fase 2 se estudia:

- Módulo o caudal medio anual, que posteriormente servirá para determinar los diferentes niveles de intensidad de las crecidas en cada estación de aforo.
- Porcentaje del número de días de crecida por intensidad en cada estación.
- Porcentaje del número de crecidas por mes para cada estación.
- Caudalosidad o abundancia de caudal.
- Curva de variación estacional de caudal.
- Tipo o nivel de irregularidad interanual y coeficiente de irregularidad.
- Fenómenos extremos (hidrogramas de crecida y estiajes) examinados en la fase 3 y 4.
- Umbral de estiaje, tratado en la fase 3.

Para el estudio de las variables nombradas anteriormente y la elaboración de gráficas se utiliza el programa Microsoft Excel, ya que los registros pueden extraerse en este formato (XML) del Sistema del Anuario de Aforos, y el programa permite su posterior tratamiento estadístico y gráfico como es el caso.

En relación a los periodos de tiempo disponibles en el Sistema de Anuario de Aforos son: La estación de aforo de Sigüés, los registros abarcan desde 1948 hasta 2020, para la estación de aforo de Zuriza, los datos cubren el periodo de 1961 hasta 2020, en la estación de aforo de Biniés, se encuentran valores de 1953 hasta 2020, para la estación de aforo de Javierregay, existen cifras desde 1956 hasta 2020, el periodo de años disponible en la estación de aforo de Martes va desde 2004 hasta 2020, en la estación de aforo de Canfranc, los registros se hallan desde 1991 hasta 2020, y, por último, para la estación de aforo de Jaca, los datos van de 1943 hasta 2020.

4.3. Fase 3.

Esta fase 3 se basa en el estudio del porcentaje del número de días de estiaje mensuales y el umbral de estiaje (caudal medio mensual más bajo dividido entre dos) para cada estación de aforo en el rango de tiempo disponible en el Sistema de Anuario de aforos. Los valores han sido obtenidos mediante los datos de caudal medio diario en m^3/s y la elaboración de gráficas muy simbólicas.

Para todo esto se ha manejado la herramienta Microsoft Excel, y una vez obtenido el valor de umbral de estiaje para las siete estaciones, se ha utilizado el filtro de números para observar los días que estaban por debajo del valor de umbral de estiaje.

4.4. Fase 4.

En la cuarta y penúltima fase, una vez realizadas todas las anteriores etapas y teniendo una gran base sobre la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón, se ha hecho un estudio exhaustivo del fenómeno extremo de las crecidas de esta misma zona de análisis. Tal y como se ha mencionado en la fase 2, gracias a los datos obtenidos con herramienta de Anuario de Aforos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) se han podido hacer varios tipos de gráficos relacionadas, con el programa Microsoft Excel.

En cuanto al primer tipo de figuras se realiza con los datos de caudal medio diario en m^3/s y la tabla 32 formada a partir del módulo sobre la clasificación de las crecidas por su intensidad (según si el evento es 3, 5, 10, 25 o 50 veces mayor al módulo). Con estos datos se ha conseguido formar gráficos como el reparto de las crecidas por meses y también por intensidad.

También se han formado una gran cantidad de gráficos lineales (hidrogramas de crecida), también con los datos de caudal medio diario en m^3/s . Estas gráficos creadas muestran múltiples tipos de crecidas, pudiendo observar y estudiar los distintos picos, duraciones e intensidades.

4.5. Fase 5.

Esta fase 5 del trabajo se ha centrado en la elaboración del apartado de conclusiones, utilizando todas las gráficos, tablas y mapas generados a lo largo del estudio. Para este apartado, se ha tomado como referencia los objetivos previamente enumerados, asegurándose de que estas conclusiones estén directamente relacionadas con dichos objetivos.

A su vez, las conclusiones se han intentado redactar de manera extremadamente ordenada y clara, con el fin de garantizar una comprensión precisa y detallada de los hallazgos. Este enfoque meticuloso y sistemático permite presentar los resultados de forma coherente y accesible, facilitando la interpretación de los datos y la validación de los objetivos del trabajo.

5. Localización del área de estudio.

La zona estudiada en este trabajo es la subcuenca del Alto Aragón, ubicada dentro y al norte de la cuenca hidrográfica del Ebro, tal y como se puede observar en los mapas de localización realizados (figura 2 y 3). Esta subcuenca del Alto Aragón reparte su superficie entre la Comunidad autónoma (CC.AA.) de Aragón y la Comunidad Foral de Navarra. La mayor parte de su extensión se localiza en la provincia de Huesca (extremo Noroeste, ocupando la comarca de la Jacetania), siendo menor la superficie incluida en las provincias de Zaragoza (extremo Norte) y Navarra (extremo Noreste), según los datos recogidos a través de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en el estudio 54 sobre la subcuenca del río Aragón tramo superior y la visualización de la propia cartografía elaborada.

La subcuenca analizada limita al este con la subcuenca del río Gállego y al Oeste con la subcuenca del río Irati. Esta zona de estudio se compone de un colector principal, el río Aragón (que más adelante se explicará con mayor detalle)

Las principales localidades en cuyo estudio se ha centrado este trabajo son Canfranc, Jaca, Martes (todas ellas a orillas del río Aragón), Javierregay (en el río Aragón Subordán), Zuriza, Biniés (río Veral) y Sigüés (río Esca). En estos lugares se examinarán las crecidas.

RÍO ESCA		RÍO VERAL	
Longitud del cauce	55,5 km	Longitud del cauce	52,2 km
Altitud del nacimiento	1.767 msnm	Altitud del nacimiento	1.785 msnm
Altitud de la desembocadura	480 msnm	Altitud de la desembocadura	526 msnm

RÍO ARAGÓN SUBORDÁN		RÍO ARAGÓN	
Longitud del cauce	55,3 km	Longitud del cauce	81,13 km
Altitud del nacimiento	2.080 msnm	Altitud del nacimiento	2.127 msnm
Altitud de la desembocadura	600 msnm	Altitud de la desembocadura	488 msnm

Tabla 1. Ríos analizados en este estudio. Fuente: CHE

Para el estudio de la localización de estas estaciones de aforo y sus ríos se han realizado dos cartografías en las que se ha tomado como referencia la división hidrográfica de la cuenca del Ebro (SITEbro). Esta misma capa ha sido modificada adaptándola concretamente al área interesada, es decir, a la subcuenca del Alto Aragón establecida por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), que va desde el nacimiento del río Aragón hasta el entorno del embalse de Yesa.

En el primer mapa (figura 2) se ve claramente la ubicación de la subcuenca del Alto Aragón con un mapa de Aragón. Gracias a esta figura se ve el territorio que ocupa como ya se ha mencionado anteriormente (Huesca en su mayor parte, ocupando la comarca de la Jacetania, y, en menor medida, Zaragoza y Navarra).

Por otro lado, el segundo mapa (figura 3) muestra tanto la ubicación de la zona de estudio (subcuenca del Alto Aragón) en el mapa de España como en la cuenca hidrográfica del Ebro, y, en mayor detalle, el límite de la propia subcuenca examinada (demarcación hidrográfica del Alto Aragón). Incluye, también, las siete localidades o estaciones de aforo sobre las que se ha analizado el comportamiento hidrológico, los términos provinciales y los principales cursos fluviales analizados y que se van a explicar brevemente a continuación.



Figura 2. Mapa 1 del área de estudio. Fuente: CNIG. Elaboración propia.

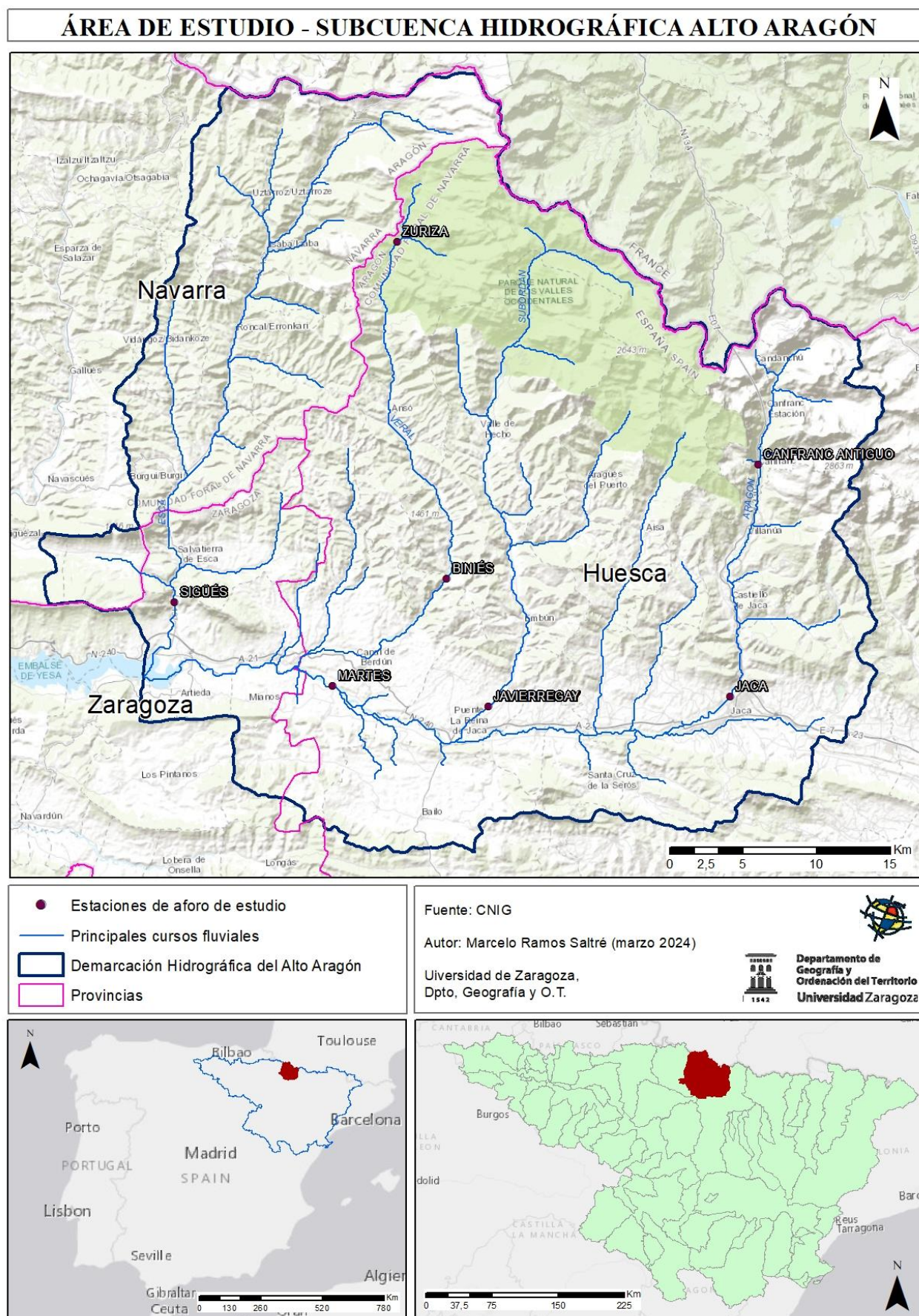


Figura 3. Mapa 2 del área de estudio. Fuente: CNIG. Elaboración propia.

En cuanto a una descripción general del recorrido de los ríos mencionados y de las características de cada uno de ellos se puede decir lo siguiente:

5.1. Río Aragón.

El río Aragón nace en los Pirineos, cerca del Puerto de Somport, uno de los principales puntos de paso del Pirineo Central. Su origen está en las proximidades del enclave de Puerto Astún. En términos generales, la primera parte de su recorrido sigue una dirección marcada de norte a sur hasta acercarse a la ciudad de Jaca. A partir de Jaca, el río atraviesa las tierras de la Canal de Berdún y cambia su dirección hacia el este-oeste hasta el final de la subcuenca, en el embalse de Yesa (que no se analiza en este proyecto). Se encuentra en la margen izquierda de la cuenca del río Ebro, al igual que los demás ríos estudiados, ya que toda la subcuenca del Alto Aragón está situada en esta margen de la cuenca hidrográfica del Ebro.

El río Aragón tiene una longitud de 81,13 km desde su nacimiento hasta la presa del embalse de Yesa según los datos recogidos a través de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en el estudio 54 sobre la subcuenca del río Aragón tramo superior y la visualización de la propia cartografía elaborada.



Foto 2. Estación de aforo A282 Río Aragón en Martes. Fuente: SAIH Ebro.



Foto 3. Estación de aforo A271 Río Aragón en Canfranc. Fuente: SAIH Ebro.



Foto 4. Estación de aforo A018 Río Aragón en Jaca. Fuente: SAIH Ebro.

5.2. Río Aragón Subordán.

El río Aragón Subordán tiene una longitud total de 55,3 km, presentando un desnivel de aproximadamente 1.481 metros, desde su nacimiento a 2.080 metros sobre el nivel del mar hasta los cerca de 600 metros donde se une al río Aragón. La pendiente media del río es de alrededor del 2,7%.

Este río drena una cuenca alargada de 282 km² en dirección norte-sur, limitando al oeste con la subcuenca del río Veral. La mayor parte de su recorrido sigue una dirección norte-sur, aunque en sus primeros kilómetros adopta una dirección sureste-noroeste. El río Aragón Subordán desemboca en el río Aragón, al norte de la localidad de Puente la Reina de Jaca.

La cuenca no está significativamente antropizada, con pocas zonas de cultivo. Sin embargo, en el fondo del valle, donde el terreno es más ancho, se observan áreas agrícolas, principalmente prados de siega y pastos. Hay solo cinco núcleos de población en toda la cuenca: Hecho, con más de 600 habitantes, es el más grande, seguido por Urdués, Javierregay, Embún y Siresa, todos ellos más pequeños.

No existen derivaciones significativas en el cauce del río ni en sus afluentes. La llanura de inundación tampoco muestra impactos destacables, aunque se observan defensas puntuales cerca de las poblaciones o donde las vías de comunicación se acercan al río.

El trazado del río, sus márgenes y su lecho no presentan muchos impactos visibles. El corredor ribereño mantiene una buena continuidad a lo largo de la mayor parte del recorrido. Las actividades agrícolas y ganaderas en el fondo del valle, más notables en áreas donde la morfología lo permite, tienden a reducir la anchura de las zonas ribereñas, aunque generalmente no las eliminan por completo. No se observan alteraciones significativas en la naturalidad de la vegetación ni en su conectividad.

Todos estos datos han sido recogidos a través de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en el estudio 54 sobre la subcuenca del río Aragón tramo superior y la visualización de la propia cartografía elaborada.



Foto 5. Estación de aforo A061 Río Aragón Subordán en Javierregay. Fuente: SAIH Ebro.

5.3. Río Veral.

El río Veral es el último afluente del Aragón que fluye completamente dentro de la Comunidad Autónoma de Aragón. Con un curso que sigue una dirección norte-sur, el río Veral conecta las áreas del alto Pirineo con el fondo de la Canal de Berdún, muy cerca del embalse de Yesa.

La cuenca del río Veral está delimitada al oeste por la del río Esca y al este por la del río Aragón Subordán, ambas pertenecientes a la subcuenca del Alto Aragón.

A lo largo de sus 52,2 km, el río Veral desciende 1.259 metros, desde los 1.785 metros sobre el nivel del mar en su nacimiento hasta los 526 metros donde desemboca en el Aragón. La pendiente media del río es aproximadamente del 2,4%.

Algunos de los núcleos de población ubicados a lo largo de este río son Ansó, Biniés y Zuriza, siendo estas dos últimas donde se ubican las estaciones de aforo seleccionadas para este estudio.

No se han identificado derivaciones significativas ni reservorios de caudales en el cauce principal del Veral ni en su cuenca o afluentes. Las afectaciones generales sobre la llanura de inundación se limitan a las pocas zonas urbanas de la cuenca y a áreas puntuales en contacto con la carretera HU-V-2024, que recorre el valle del Veral.

Tampoco se observan intervenciones importantes en el cauce del río. Las zonas cercanas a núcleos urbanos, donde hay mayor presencia de cultivos, muestran algunos impactos como defensas de margen, vados y puentes.

Las riberas, poco presentes en las zonas altas debido a la altitud y la dureza del clima, van adquiriendo continuidad a medida que el río avanza. Sin embargo, la presencia de prados de siega en el valle frecuentemente reduce su amplitud, una situación que no ocurre en el tramo final del río, donde se ensancha.

Todos estos datos sobre la descripción del río también han sido recogidos a través de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en el estudio 54 sobre la subcuenca del río Aragón tramo superior y la visualización de la propia cartografía elaborada.



Foto 6. Estación de aforo A080 Río Veral en Zuriza. Fuente: SAIH Ebro.



Foto 7. Estación de aforo A062 Río Veral en Biniés. Fuente: SAIH Ebro.

5.4. Río Esca.

La cuenca del río Esca se extiende entre la Comunidad Foral de Navarra y la provincia de Huesca en Aragón. Este río es el último afluente significativo de la subcuenca superior del río Aragón, siendo el único estudiado que desemboca en el embalse de Yesa.

El río y su cuenca siguen una dirección general norte-sur, aunque en su origen y en otros ríos cercanos, el curso tiene una orientación sureste-noroeste durante varios kilómetros.

La cuenca del río Esca está delimitada al norte por la frontera francesa, al este por la cuenca del río Veral y al oeste por la cuenca del río Salazar. La superficie de la cuenca del río Esca es de aproximadamente 515 km², donde se encuentran 10 núcleos de población que suman un poco más de 1.500 habitantes.

El río Esca desciende 1.287 metros a lo largo de sus 55,5 km, desde los 1.767 metros sobre el nivel del mar en su nacimiento hasta los 480 metros en el embalse de Yesa. La pendiente media del río es de aproximadamente 2,3%.

No hay reservorios importantes en su subcuenca, aunque existen derivaciones de caudal puntuales cerca de algunos núcleos de población. La llanura de inundación está poco modificada, y las defensas se limitan principalmente a las áreas urbanas y sus alrededores, cubriendo una mínima longitud en comparación con los más de 55 km del cauce.

El trazado del río muestra algunos desvíos cerca de áreas urbanas o zonas de expansión. Se observan azudes y áreas afectadas por dragados y extracciones de áridos.

El corredor ribereño se ve reducido frecuentemente por campos de pasto y siega cercanos al cauce. A pesar de esto, la continuidad del corredor ribereño es notable. En las zonas donde el cauce está encajado, el corredor ribereño está muy poco alterado, y no se observan afecciones significativas en la naturalidad de la vegetación ribereña.

Al igual que en los anteriores ríos, toda esta información ha sido recogida desde la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en el estudio 54 sobre la subcuenca del río Aragón tramo superior y la visualización de la propia cartografía elaborada.



Foto 8. Estación de aforo A063 Río Esca en Sigüés. Fuente: SAIH Ebro.

5.5. Medio Humano de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón.

Desde la perspectiva demográfica la subcuenca del Alto Aragón ha experimentado una evolución marcada por fluctuaciones a lo largo de los años. Históricamente, su población ha estado sujeta a variaciones debido a factores económicos y migratorios, con períodos de crecimiento y declive.

En las últimas décadas, la tendencia general ha sido de un leve aumento poblacional, impulsado por el desarrollo del turismo y la mejora de infraestructuras (figura 4), aunque persisten desafíos como el envejecimiento de la población y la despoblación rural en algunas áreas (como se ve en la figura 5). En los últimos años, la localidad de Jaca ha jugado un papel central en estabilizar y atraer residentes, sirviendo como núcleo de servicios y actividades económicas. La ciudad de Jaca contiene alrededor del 71% de la población total de la subcuenca.

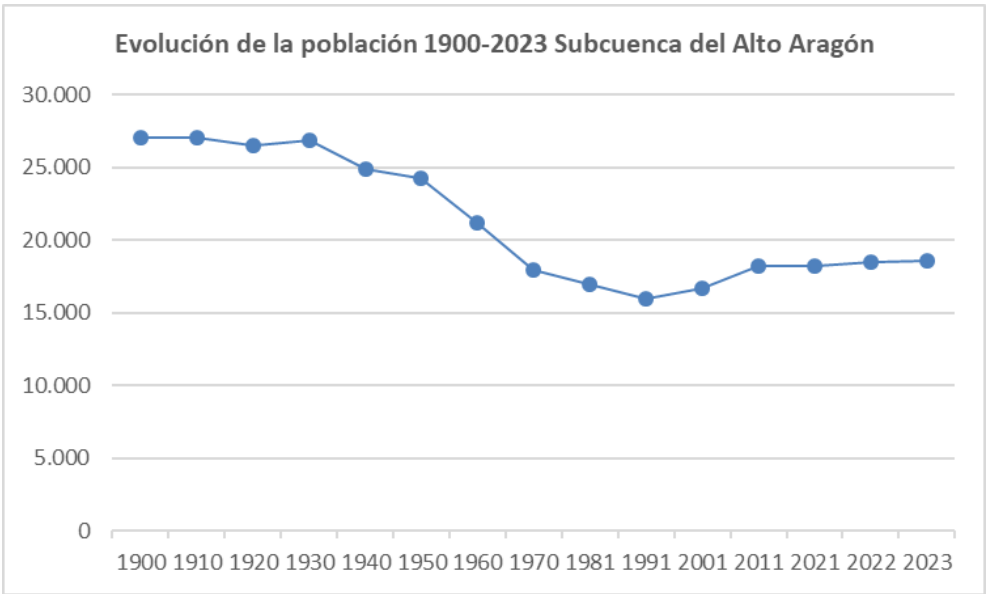


Figura 4. Evolución de la población en la subcuenca del Alto Aragón 1900-2011. Fuente: MTIAE. Elaboración propia.

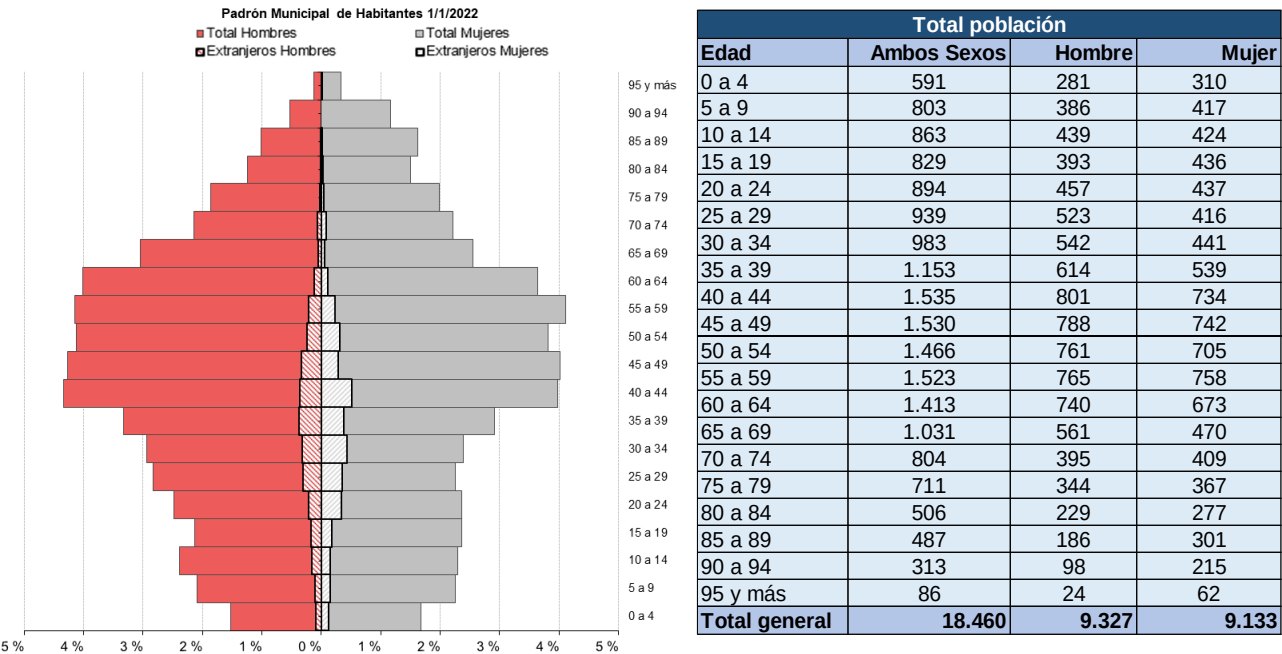


Figura 5. Pirámide de población de la subcuenca del Alto Aragón 2022 (izda.) y tabla con la población total y por sexo 2022 (dcha.). Fuente: IAEST/INE. Elaboración propia.

La estructura económica de la subcuenca del Alto Aragón se caracteriza por una combinación de sectores tradicionales y emergentes. Como se ve en la figura 6, el sector primario, aunque ha disminuido en importancia, sigue presente a través de la agricultura y la ganadería, especialmente en las áreas rurales. El sector secundario es algo más prominente, con algunas actividades industriales y artesanales, y la construcción supone el menor porcentaje. Sin embargo, el sector terciario es el más destacado, impulsado principalmente por el turismo, debido a la riqueza cultural, histórica y natural de la subcuenca, con Jaca como un importante centro turístico.

Además, el comercio, la hostelería y los servicios relacionados con el turismo, junto con los servicios educativos y sanitarios, conforman la mayor parte de la economía del Alto Aragón, atrayendo tanto a visitantes como a residentes.

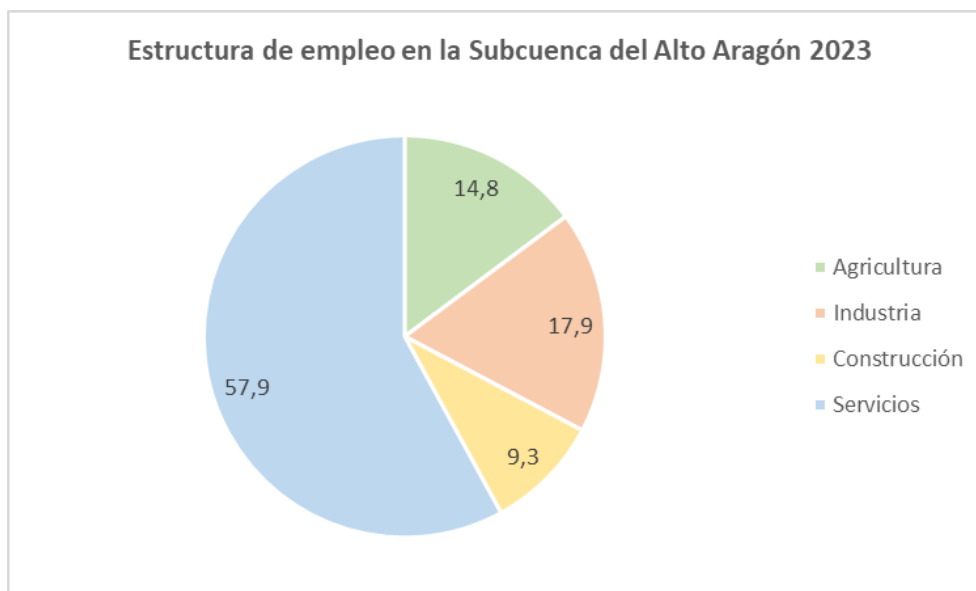


Figura 6. Estructura de empleo en la Subcuenca del Alto Aragón 2023. Fuente: INE. Elaboración propia.

6. Caracterización del medio natural de la subcuenca del Alto Aragón.

La subcuenca hidrográfica del Alto Aragón se caracteriza por su diversidad geográfica y climática, y por su gran valor ecológico y paisajístico, abarcando áreas montañosas y valles que forman parte del Pirineo Aragonés. La altitud varía significativamente desde los picos elevados en los Pirineos hasta las zonas más bajas en los valles, lo que influye en la climatología y la vegetación de la región entre otros factores.

6.1. Clima de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón.

El clima en la subcuenca del Alto Aragón es predominantemente montañoso (sobre todo en su parte norte), con inviernos fríos y veranos suaves, aunque conforme se desciende hacia el sur, el clima va cambiando, se asemeja más al clima mediterráneo continentalizado e incluso al clima oceánico templado. De hecho, según la clasificación climática de Köppen (Climate Data), parte de la Subcuenca del Alto Aragón se incluye en el grupo “Cfb” (clima oceánico templado), como más tarde se podrá comprobar con algún ejemplo. Según el Atlas Climático de Aragón, el clima en la zona de estudio es de transición Mediterráneo-Oceánico.

Las precipitaciones son abundantes, especialmente en las zonas altas, y tienden a disminuir conforme se desciende hacia los valles. Estas precipitaciones se distribuyen a lo largo del año, aunque se intensifican en primavera y otoño, favoreciendo la presencia de caudales significativos en los ríos y arroyos de la región. La nieve es un factor importante en las áreas montañosas, contribuyendo al caudal de los ríos durante el deshielo primaveral. Por otro lado, en relación a las temperaturas, estas son bajas en comparación con el resto de España.

Se pueden ver algunos ejemplos de climogramas y diagramas de temperatura en tres de las estaciones de aforo estudiadas para hacerse a la idea de lo comentado (figuras de 7 a la 9).

En la estación de Sigüés (río Esca) el clima se considera cálido y templado. Como se puede observar gracias al climograma propuesto (figura 7) Sigüés tiene una cantidad significativa de lluvia durante el año, incluso en el mes más seco (los meses de verano julio y agosto). Según Köppen y Geiger, el clima se clasifica como Cfb (clima oceánico templado). La temperatura media anual es 11.2 °C, y hay alrededor de 1.237 mm de precipitaciones.

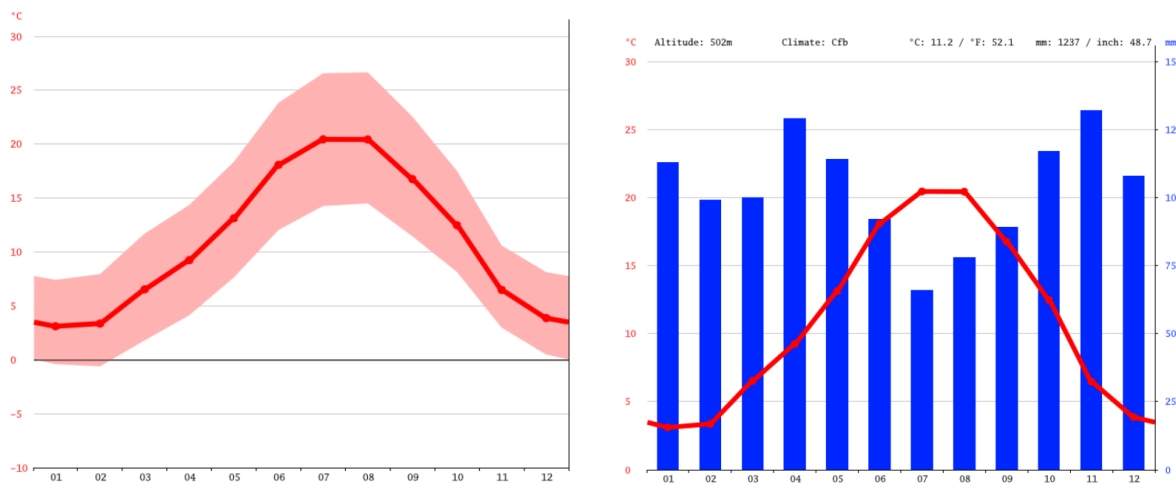


Figura 7. Diagrama de temperatura (izda.) y climograma (dcha.) de Sigüés en el río Esca.

Fuente: <https://es.climate-data.org/>

En cuanto al climograma, se puede observar que, en julio, el nivel de precipitaciones cae en picado hasta 66 mm, dando lugar a un mes bastante seco. Por el contrario, con un promedio de 132 mm, la mayor precipitación se encuentra en noviembre. Por otro lado, según la gráfica de la izquierda (el diagrama de temperatura en Sigüés), el mes con la temperatura más alta es julio, con una temperatura media que alcanza los 20.4°C. En cambio, enero tiene la temperatura promedio más baja del año con 3.1°C.

Otro de los ejemplos posibles que se pueden comentar dentro de las siete estaciones de aforo seleccionadas de la subcuenca de estudio es el caso de Canfranc (figura 8). Al igual que Sigüés, las condiciones climáticas de Canfranc se caracterizan por una atmósfera cálida y templada. Destacan los niveles de precipitación, ya que llueve incluso durante los meses de verano (meses de julio a septiembre). De acuerdo con Köppen y Geiger, el clima también se clasifica como Cfb (clima oceánico templado). La temperatura media anual registrada es de 7.4 °C, según los datos de Climate-Data. Destacar que en un año la precipitación es 1539 mm.

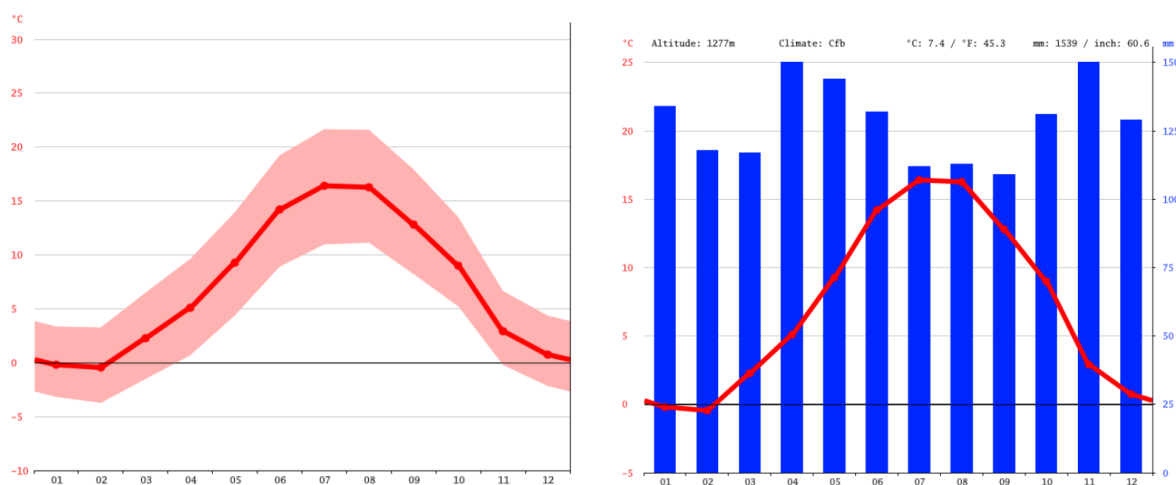


Figura 8. Diagrama de temperatura (izda.) y climograma (dcha.) de Canfranc en el río Aragón.

Fuente: <https://es.climate-data.org/>

En relación al climograma, el mes con los menores niveles de precipitación es septiembre, con un 109 mm de precipitaciones solamente. Sin embargo, el mes de abril alberga la mayor cantidad de precipitaciones, con un valor medio de 150 mm. Por otro lado, según el diagrama de temperatura, de media, el mes de julio contiene la temperatura más elevada, con 16.4 °C de media. Al contrario, el mes de febrero se caracteriza por las temperaturas más bajas, con una media negativa de -0.5 °C.

Jaca es el último de los ejemplos a tratar (figura 9). Al igual que las dos anteriores estaciones de aforo analizadas, el clima en Jaca es cálido y templado, resaltando el tema de las precipitaciones debido a su abundancia durante todo el año en Jaca. Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, el clima de Jaca es considerado Cfb. La temperatura media anual registrada es de 9.4 °C y aproximadamente unas precipitaciones de 900 mm.

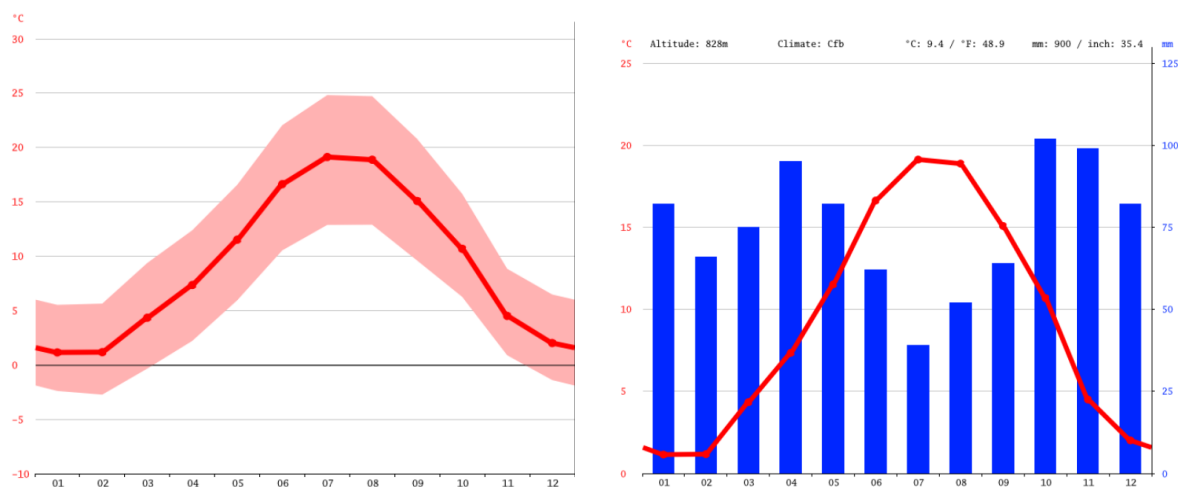


Figura 9. Diagrama de temperatura (izda.) y climograma (dcha.) de Jaca en el río Aragón.

Fuente: <https://es.climate-data.org/>

La gráfica de la derecha (el climograma) muestra que el mes más seco es julio, con 39 mm y el mes con las mayores precipitaciones del año octubre con 102 mm. En cuanto a la gráfica de la izquierda, el mes más caluroso del año con un promedio de 19.1 °C es julio, coincidiendo con las anteriores estaciones. En cambio, enero es el mes más frío del año con un valor medio de 1.1 °C.

6.2. Topografía y pendientes de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón.

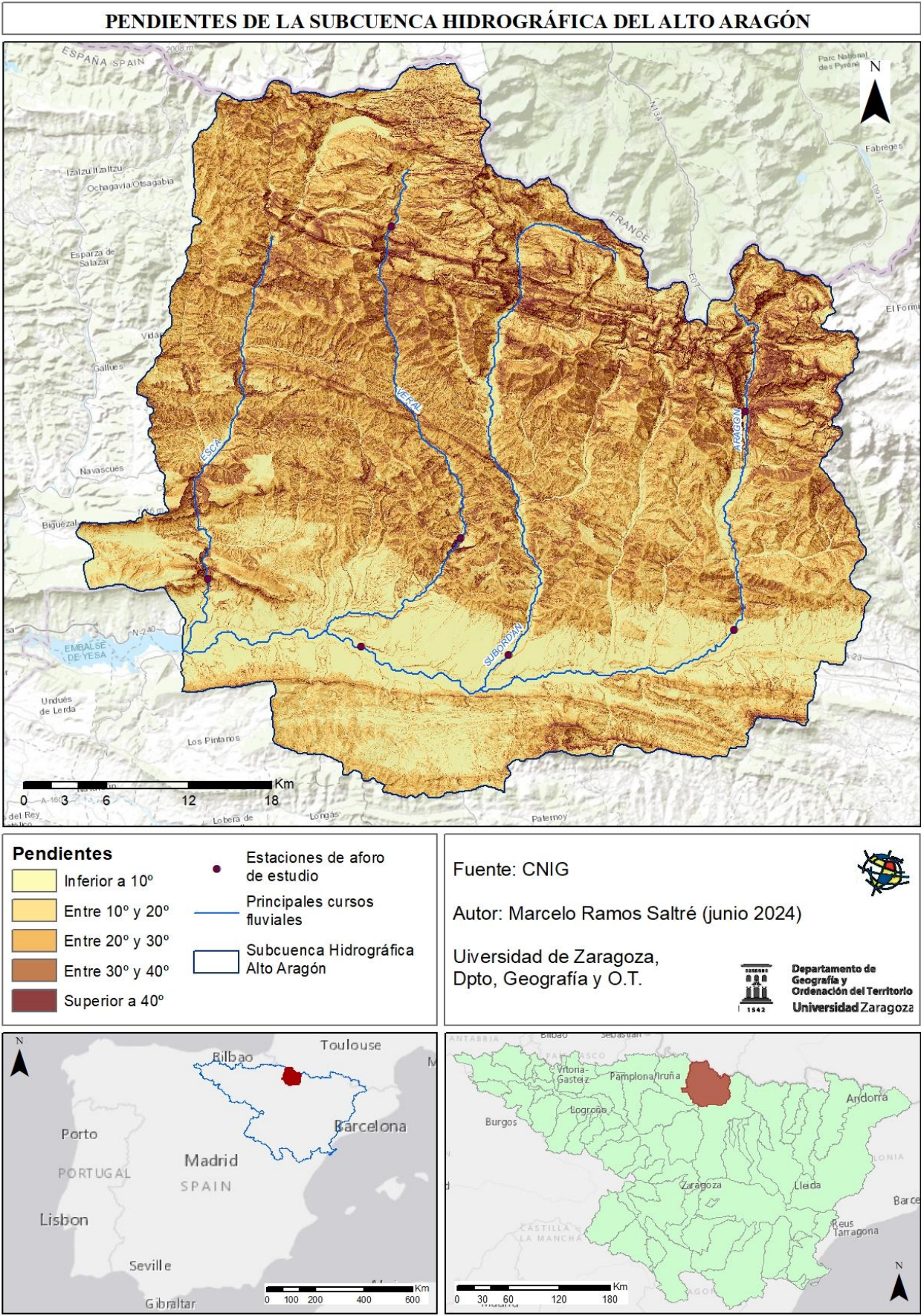
Tal y como se ha mencionado en el punto 4 de la metodología, la realización de esta cartografía (figura 10) ha sido desde el programa *ArcMap 10.7.1*, descargando previamente desde la Base Topográfica Nacional (BTN-25) y el Modelo Digital de Terreno las hojas MTN25 para nuestra zona de estudio, que son: 117, 118, 143, 144, 145, 175, 176, 177, 208 y 209 del Mapa Topográfico Nacional. Una vez obtenidas, y realizados todos los pasos ya indicados en el apartado de metodología, se ha podido observar de manera general las pendientes de la subcuenca del Alto Aragón.

Se parte con la hipótesis inicial de que el área de estudio presenta unas características de alta montaña, es decir, que la subcuenca del Alto Aragón se caracteriza por una topografía montañosa dominada por la cadena de los Pirineos, que presenta elevaciones abruptas y profundos valles.

A mayor detalle, el mapa elaborado (figura 10) muestra las pendientes de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón. Se observa una variación significativa en las inclinaciones del terreno, con las áreas más al norte presentando las pendientes más pronunciadas, superiores a 40°, especialmente cerca de los cursos fluviales principales. A medida que se avanza hacia el sur, las pendientes disminuyen, predominando inclinaciones menores a 10° en la depresión de la Canal de Berdún. Esta cartografía es un recurso clave para la planificación y gestión territorial, reflejando la complejidad geográfica de la subcuenca.

Otro rasgo a destacar es que los ríos quedan encajados, con pendientes fuertes a su alrededor.

Así pues, confirmamos la hipótesis planteada en el segundo párrafo de este apartado, y es que las fuertes inclinaciones son las que predominan en gran parte de la subcuenca del Alto Aragón, facilitando el proceso de escorrentía superficial.



6.3. Rasgos litológicos de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón.

Desde el punto de vista litológico, tomando como referencia el mapa geológico de España 1:50.000 serie MAGNA y el estudio de Soler, M. & Puigdefábregas, C. (1972), aunque no se ha elaborado cartografía litológica al respecto, se aprecian una serie de características que van a tener importantes consecuencias desde el punto de vista hidrológico.

El mapa geológico de España 1:50.000 serie MAGNA proporciona una detallada cartografía geológica que, en este trabajo, se ha utilizado para analizar brevemente las características litológicas de la región específica del río Aragón en su cuenca alta (hojas 117, 118, 143, 144, 175 y 176).

Para diferenciar las principales características litológicas que se pueden encontrar en esta área, se han clasificado según el tipo de rocas existentes:

- Rocas Sedimentarias:

Se encuentran materiales carbonatados comunes en los Pirineos como son las calizas (rocas compuestas principalmente por carbonato de calcio) y dolomías (rocas que contienen también magnesio), formadas en ambientes marinos someros durante el Mesozoico (principalmente el Jurásico y Cretácico).

Por otro lado, destacamos también la presencia de areniscas (de diversas formaciones del Paleozoico y Mesozoico) y conglomerados (depósitos en este caso del Cenozoico), que son rocas clásticas que están formadas por la cementación de granos de arena y fragmentos más grandes respectivamente.

Por último, figuran rocas sedimentarias compuestas por mezclas de arcilla y carbonato de calcio (margas) o predominantemente arcillosas (lutitas), ambas comunes en varias formaciones mesozoicas. Un ejemplo de ubicación de estas últimas sería en la canal de Berdún.

- Rocas Metamórficas

En relación a estas rocas metamórficas, se encuentran tanto esquistos como filitas, que aparecen en ciertas zonas de la subcuenca del Alto Aragón debido a la deformación tectónica y metamorfismo regional. Por otro lado, aunque menos comunes hay gneises y cuarcitas, tras una mayor intensidad de metamorfismo.

- Rocas Ígneas

En este último tipo de rocas, destacan los granitos, que se tratan de rocas ígneas de grano grueso compuestas principalmente por cuarzo, feldespato y mica.

- Depósitos Cuaternarios

Mencionar los depósitos aluviales, es decir, sedimentos relativamente recientes depositados por los ríos de la subcuenca del Alto Aragón, incluyendo gravas, arenas y limos. Estos depósitos forman las conocidas terrazas aluviales y rellenos de valle.

Destacar que las rocas carbonatadas comentadas van a tener una gran permeabilidad, potenciando el funcionamiento de la infiltración y la percolación. También los depósitos detríticos cuaternarios, sobre todo aquellos que están menos compactados, favorecen la acción de esos mismos procesos. En cambio, las zonas de granitos, cuarcitas y pizarras tienen menos permeabilidad, afectando así al comportamiento hidrológico y dejando, en las zonas donde afloran, a la escorrentía superficial como proceso dominante del ciclo del agua.

Esta composición litológica y las estructuras geológicas existentes, dan lugar a unas formas de relieve características de alta montaña con relieves escarpados y fuertes pendientes, como dicen los estudios de Lampre Vitaller (1990), Peña et al. (2002), García Ruiz et al. (2011).

6.4. Usos del suelo y vegetación de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón.

Este apartado sobre los usos del suelo y la vegetación de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón se va a estudiar mediante el mapa formado (figura 11) y apoyándose en las múltiples publicaciones existentes relacionadas con esa temática como la de García, D.G. (2004) titulada “Flora y vegetación de la Jacetania”, al ser la comarca que comprende en su mayoría nuestra zona de estudio. Tal y como se ha indicado en el apartado de metodología (ver punto 4), para la creación de esta cartografía (figura 11) se ha utilizado la información geográfica temática de CORINE Land Cover 2018, pero al ser la variedad de categorías muy amplia, estas se han agrupado en cuatro categorías: superficies artificiales, territorios agrícolas, superficies de agua, y superficies forestales y áreas seminaturales.

A modo de introducción, se puede mencionar que la subcuenca del Alto Aragón se encuentra dentro de la región eurosiberiana, por lo que el clima favorece positivamente el desarrollo de la vegetación, de ahí la rica biodiversidad existente en esta zona de análisis, adaptándose tanto al clima como a la altitud ya vista.

En primer lugar, en las zonas de mayor altitud se encuentran grandes áreas de roquedo (características de las cumbres del Pirineo), junto a extensos pastizales naturales (aprovechados para la ganadería extensiva, una actividad económica tradicional en la región) y espacios con escasa vegetación.

En segundo lugar, en la sección media de la subcuenca, tal y como se ve en la figura 11, la superficie está dominada por superficies forestales y áreas seminaturales, que implica la mayor parte del territorio. Estas áreas incluyen bosques de coníferas (como pinos y coníferas en las áreas más altas de este tramo medio), bosques de frondosas y bosques mixtos (de robles, hayas y otros árboles caducifolios en las áreas más bajas de este tramo medio), junto con vegetación esclerófila y matorrales boscosos de transición. Concretamente, los bosques de coníferas y mixtos son los más predominantes.

En tercer lugar, en la parte baja de la subcuenca del Alto Aragón predominan los territorios agrícolas (representados con tonalidades amarillas y naranjas) y se distribuyen en diferentes tipos: cultivos de secano, cultivos de regadío, praderas y terrenos agrícolas con vegetación natural, todos ellos en áreas llanas y en fondos de valle. Esta parte se ubica en su mayoría en la Canal de Berdún, donde el paisaje cambia drásticamente en comparación con el resto. Predominan los campos de cultivo de secano, aunque también hay áreas de regadío, como se puede apreciar en el mapa (figura 11).

En cuanto a las superficies artificiales, marcadas en rojo, hay mayor cantidad en las localidades de Jaca y Canfranc, y las láminas de agua, representadas en azul, son menos frecuentes, resaltando áreas cercanas a los ríos principales y el embalse de Yesa.

Los usos del suelo y vegetación tienen una gran importancia en los procesos hidrológicos de la subcuenca de estudio. La presencia de vegetación (ya sean bosques o matorrales) hace que el agua de la lluvia tarde en llegar más al suelo y menos cantidad, promoviendo una mayor infiltración, ya que la cubierta vegetal retiene parte del agua que después cae al suelo, y otra parte la absorbe por interceptación. En cambio, en las zonas sin vegetación se reduce la infiltración y aumenta el proceso de escorrentía, como en las áreas de roquedos. Gracias a esta figura 11 se ha podido obtener una visión general de cómo se distribuyen los distintos usos del suelo y tipos de vegetación en la subcuenca del Alto Aragón, siendo una herramienta esencial para la planificación y gestión del territorio.

Por último, destacar que la presencia de áreas protegidas y parques naturales subraya la importancia ecológica de la región. Estos espacios no solo son refugios para especies autóctonas, sino también destinos turísticos importantes, añadiendo un valor socioeconómico a la conservación del medio natural.

A modo de recapitulación, esta región se caracteriza por una topografía montañosa, dominada por la cadena de los Pirineos, que presenta elevaciones abruptas y profundos valles. El clima montañoso de la cuenca alta del río Aragón se distingue por inviernos fríos y nevados y veranos suaves, con una alta variabilidad en las precipitaciones a lo largo del año, y existe una gran diversidad de cobertura vegetal.

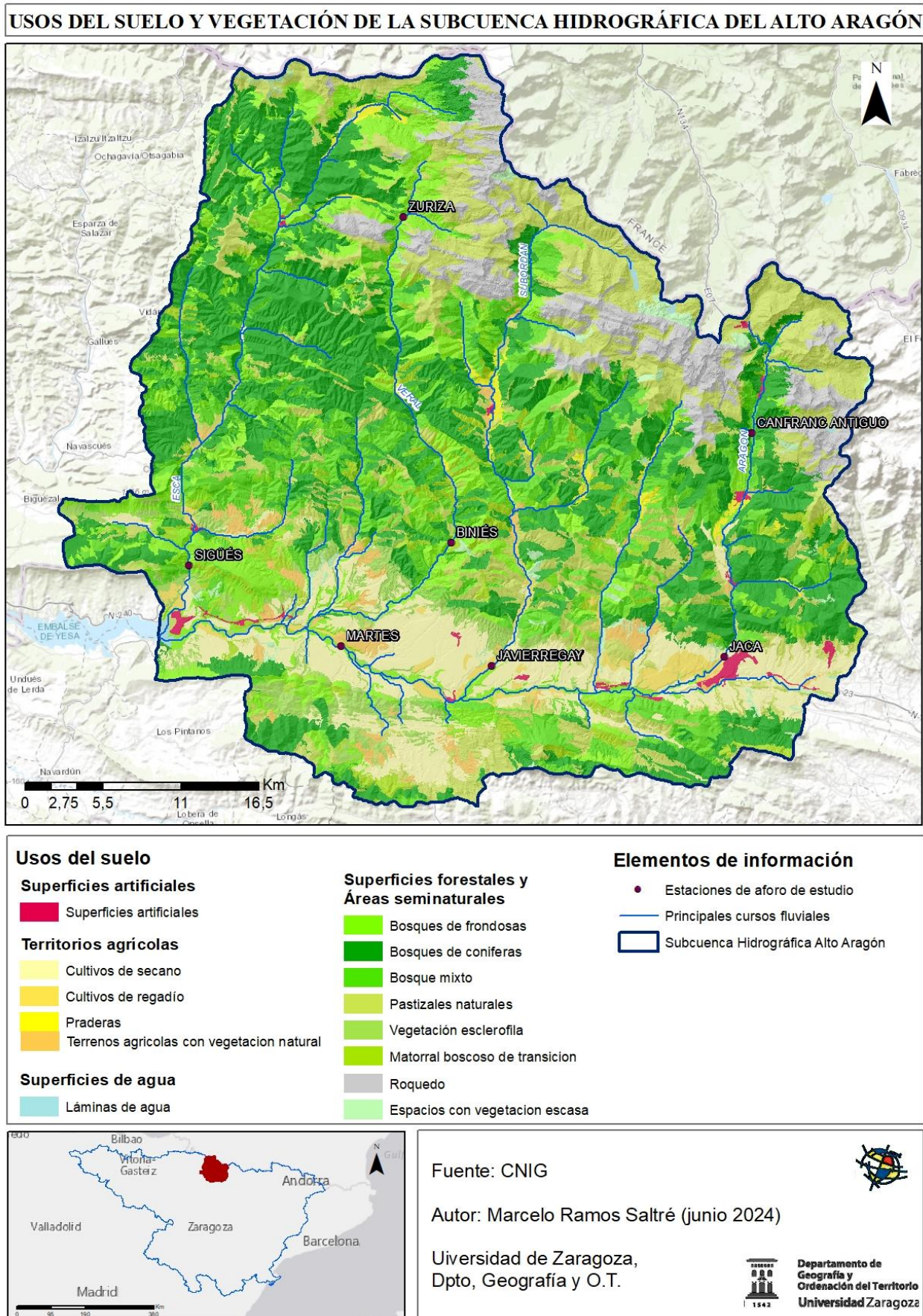


Figura 11. Usos del suelo y vegetación de la subcuenca del Alto Aragón. Fuente: CNIG. Elaboración propia.

7. Caracterización hidrológica de la subcuenca del Alto Aragón.

7.1. Disponibilidad de caudal.

Se encuentran múltiples estudios anteriores relacionados con esta temática y en los apoyarse para hacer este trabajo, tales como Ollero et al. (2004), Beguería et al. (2003), Samanes, A. F. (1976), Fabre, M. S., Ojeda, A. O., & Tena, M. V. L. (2008) y Gil Olcina, A. (2006) entre otros.

Para realizar esta caracterización hidrológica se ha contado, tal como ya se ha señalado con anterioridad, con series históricas de datos en siete estaciones históricas. Son las siguientes con su adscripción a los diferentes cursos fluviales (ver tabla 2):

Estaciones de Aforo	Cursos fluviales	Serie de Años
Sigüés	Esca	1930/31-2019/20
Zuriza	Veral	1933/34-2019/20
Biniés	Veral	1931/32-2019/20
Javierregay	Aragón Subordán	1955/56-2019/20
Martes	Aragón	2004/05-2019/20
Canfranc	Aragón	1991/92-2019/20
Jaca	Aragón	1930/31-2019/20

Tabla 2. Relación entre las estaciones de aforo y el río en el que se encuentran y la serie de años que abarcan.

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Un aspecto esencial para empezar a tratar de realizar una adecuada caracterización hidrológica de la subcuenca del Alto Aragón es el estudio del término denominado caudalosisidad, que es la cantidad de agua que transportan los ríos. Esta se mide utilizando diversos parámetros, tales como el caudal absoluto, el módulo o caudal medio anual y el caudal específico. Entre estos, este último es el que mejor representa la idea de caudalosisidad, ya que es la relación entre el caudal medio anual (el módulo), o los caudales medios mensuales, y la superficie de la cuenca fluvial (expresado en l/s/km²).

En primer lugar, el caudal es la cantidad de agua por unidad de tiempo que fluye por una corriente de un río o arroyo en un lugar determinado. Se mide generalmente en (m³/s) en las estaciones de aforo (Atlas didáctico del IGN).

En segundo lugar, en cuanto al módulo o caudal medio anual (ver tabla 32), es el valor medio del caudal de un río a lo largo de un periodo amplio de años (como es en todos los casos de este estudio). Así pues, este dato se ha obtenido desde el Sistema de Anuario de Aforos, en el apartado de estadísticas de caudales de la serie histórica (caudales medios), siendo el valor de caudal medio anual (m³/s).

Los valores de módulo para cada estación de aforo analizada en este proyecto son:

- Módulo Sigüés: 10,804 m³/s
- Módulo Zuriza: 1,761 m³/s
- Módulo Biniés: 4,264 m³/s
- Módulo Javierregay: 11,11 m³/s
- Módulo Martes: 18,461 m³/s
- Módulo Canfranc: 2,419 m³/s
- Módulo Jaca: 6,647 m³/s

En tercer y último lugar, el caudal específico o relativo de cada estación y los cálculos realizados para obtenerlo son los siguientes:

- Caudal específico Sigüés: 10.804 l/s / 506 km² = 21,352 l/km²/s
- Caudal específico Zuriza: 1.761 l/s / 47 km² = 37,468 l/km²/s
- Caudal específico Biniés: 4.264 l/s / 161 km² = 26,484 l/km²/s
- Caudal específico Javierregay: 11.110 l/s / 348 km² = 31,925 l/km²/s
- Caudal específico Martes: 18.461 l/s / 1.083 km² = 17,046 l/km²/s
- Caudal específico Canfranc: 2.419 l/s / 101 km² = 23,950 l/km²/s
- Caudal específico Jaca: 6.647 l/s / 238 km² = 27,929 l/km²/s

El procedimiento que se ha llevado a cabo para obtener el valor del caudal específico han sido en primer lugar el paso del módulo que está en m^3/s a l/s (multiplicar el valor del módulo o caudal medio anual $\cdot 1.000$), y el segundo paso ha sido la búsqueda del dato de la cuenca receptora en km^2 (para conocer la superficie de recepción de cada una las subcuencas de las estaciones de aforo examinadas). Este último número se ha conseguido desde el Sistema de Anuario de Aforos, en la identificación de cada estación.

Analizando estos caudales relativos o específicos, se puede observar que son similares, destacando el valor más alto en Zuriza y el menor en Martes. En general son datos que indican una disponibilidad de caudal elevada. Estamos en una zona de cabecera de ríos montañosos donde la precipitación es elevada y eso queda reflejado en estos valores de caudal específico.

7.2. Variación estacional del caudal.

La variación estacional de caudal es el cambio en la cantidad de agua que fluye a través de un río en las diferentes épocas del año, es decir, a lo largo de los doce meses. Esta se ve afectada por factores climáticos como la precipitación (tanto líquida como sólida), el deshielo y la evapotranspiración entre otros procesos. A rasgos generales, el caudal aumenta significativamente durante la temporada de lluvias o deshielo (meses de otoño y primavera) y disminuye durante la temporada seca (meses de verano). Destacar también que las actividades antrópicas como el riego y el uso industrial, entre otros factores, también afectan este caudal.

Los ríos pueden presentar una fuerte estacionalidad, con aguas altas en determinadas épocas y caudales más bajos en otras, lo cual es fundamental para la ecología y las actividades humanas que dependen del agua.

Gracias a los datos recogidos del Anuario de Aforos se han podido formar las siguientes gráficas (figuras de la 12 a la 18) en las que se muestran la curva de variación estacional del caudal del río Esca en Sigüés (figura 12), del río Veral en Zuriza (figura 13) y en Biniés (figura 14), del río Aragón Subordán en Javierregay (figura 15) y del río Aragón en Martes (figura 16), en Canfranc (figura 17) y en Jaca (figura 18), que son todas las estaciones de aforo analizadas en este documento.

Todas estas gráficas que se verán a continuación y que muestran la curva de variación estacional de las siete estaciones de aforo ya comentadas han sido creadas mediante el cálculo del coeficiente de caudal (por meses). Este cálculo se ha llevado a cabo a través de los datos de caudal medio mensual en m^3/s para estaciones de aforo en ríos, del caudal medio anual de cada uno de los años estudiados (diferente periodo de años en cada una de las estaciones de aforo, en función de la disponibilidad de datos), de la media de cada uno de los meses de la serie temporal y de la media del caudal medio anual. Una vez obtenidos estos datos medios de las series, se produjo la división de cada una de las medias mensuales entre la media del caudal medio anual del periodo analizado, dando como resultado simplificado las tablas de la 3 hasta la 9, con el coeficiente de caudal de cada mes y para cada una de las estaciones de aforo estudiadas.

Este estudio de la variación estacional del caudal mediante el coeficiente de caudal permite comparar los regímenes fluviales de ríos en diferentes contextos geográficos y con caudales muy variados, es decir, hace que las figuras sean más comparativas entre sí. La curva del coeficiente de caudal representa la relación entre el caudal promedio mensual y el módulo anual calculado a partir de una serie de años, como ya se ha comentado en el anterior párrafo. Los valores obtenidos en cada una de las gráficas oscilan entre 0,1 y 3. Un valor inferior a 1 señala que el caudal mensual medio está por debajo del módulo anual, mientras que un valor superior a 1 indica que el caudal mensual supera el módulo. Cuando el valor es superior a 2, el caudal mensual duplica el módulo anual (que en este caso solamente se da en los meses de mayo del río Aragón en las estaciones de aforo de Canfranc y Jaca).

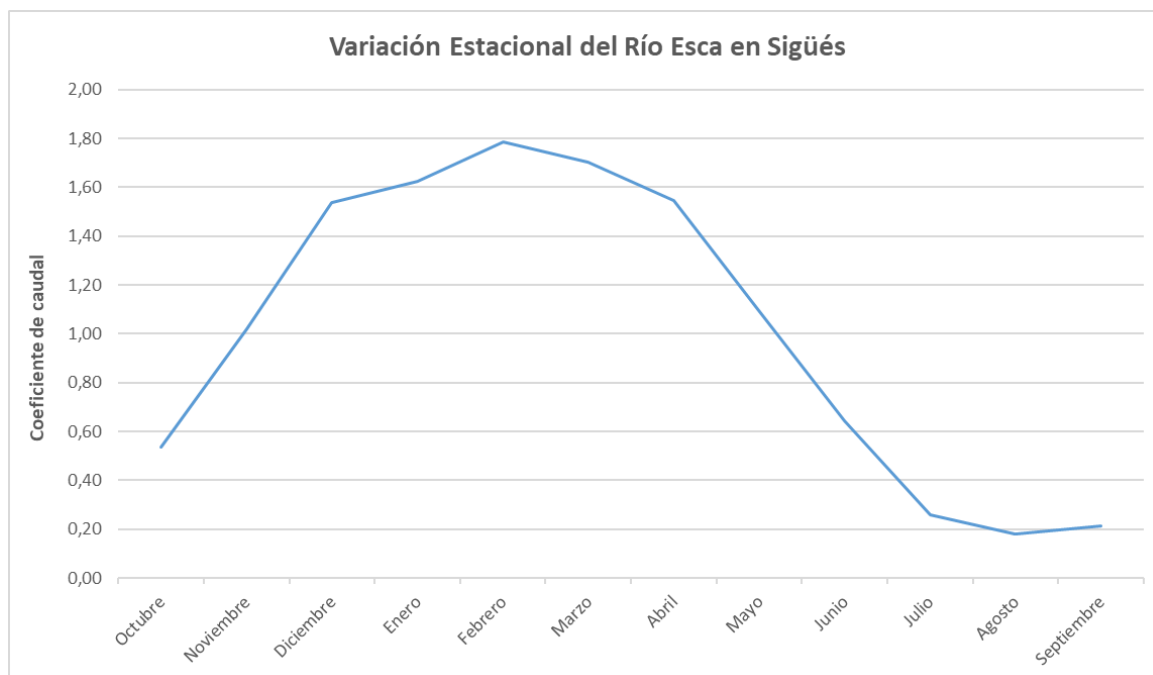


Figura 12. Curva de variación estacional de caudal del río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Esta figura 12 muestra la variación estacional del caudal del río Esca en Sigüés a lo largo de los años desde 1930/31-2019/20, expresada en valores de coeficiente de caudal. Se observa un incremento progresivo del caudal desde octubre, alcanzando el periodo de aguas altas en febrero con aproximadamente 1,8 de coeficiente de caudal. Posteriormente, el caudal comienza a disminuir gradualmente desde marzo hasta abril, seguido de una caída más pronunciada en los meses de mayo, junio y julio. Los meses de agosto y septiembre presentan el periodo de aguas bajas, rondando los 0,2. Esta variación se podría decir que se debe principalmente al impacto de las precipitaciones y el deshielo durante los meses de invierno y primavera, y la reducción del caudal durante el verano debido a menores precipitaciones y mayor evapotranspiración por la temperatura.

Esta estación de aforo presenta la curva de variación estacional de caudal más diferente a las siguientes que se va a analizar debido a la mayor cercanía al océano atlántico, por lo que, tiene un régimen más oceánico, con el periodo de aguas altas adelantado (en febrero) en comparación con las figuras posteriores.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO ANUAL (m^3/s)	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80	10,80
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (m^3/s)	5,78	11,04	16,60	17,52	19,29	18,41	16,68	11,78	6,95	2,78	1,96	2,32
COEFICIENTE DE CAUDAL	0,54	1,02	1,54	1,62	1,79	1,70	1,54	1,09	0,64	0,26	0,18	0,21

Tabla 3. Cálculo del coeficiente de caudal del río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

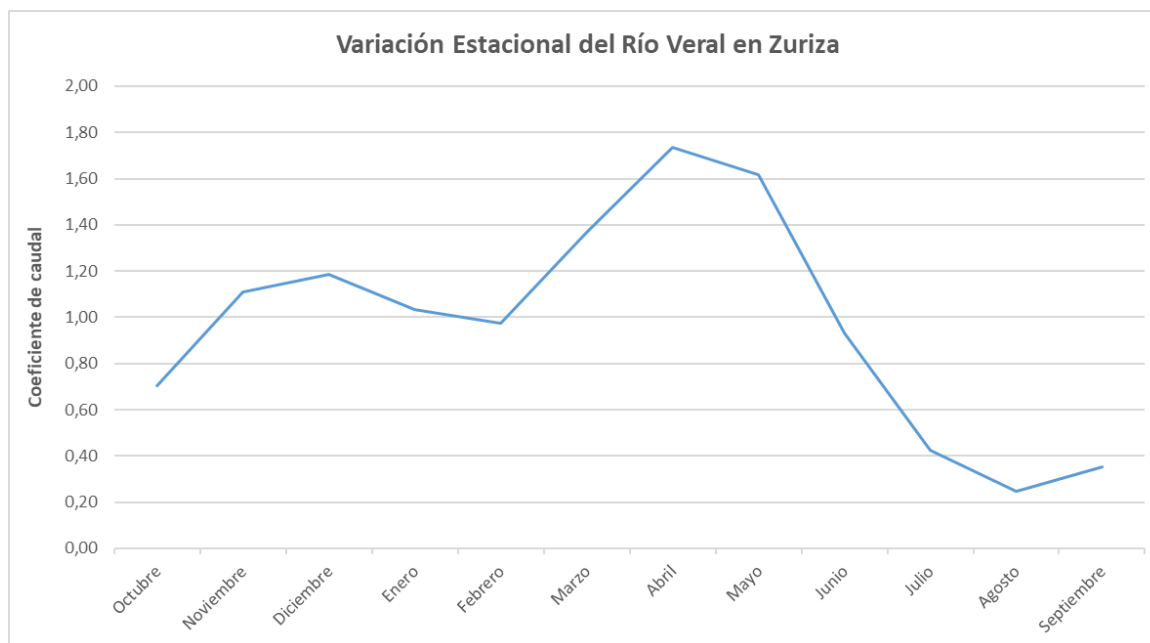


Figura 13. Curva de variación estacional del caudal del río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Esta otra figura 13 también señala la variación estacional, pero esta vez del caudal del río Veral en Zuriza en el periodo de años de 1933/34-2019/20, y expresada en valores de coeficiente de caudal como la anterior.

El caudal aumenta progresivamente desde octubre, alcanzando un primer periodo de aguas altas (no el máximo o principal) en diciembre, y después se aprecia un descenso leve del caudal en febrero. Luego, se observa un aumento significativo en marzo, alcanzando el periodo de aguas altas principal en abril y mayo con 1,74 y 1,62 de coeficiente de caudal respectivamente. A partir de ahí, el caudal disminuye de manera pronunciada en junio y julio, llegando a los valores más bajos en agosto y septiembre, alrededor de 0,2 (como en la anterior figura 12). Comparando con la gráfica del río Esca en Sigüés, los ríos presentan patrones algo distintos pero similares en líneas generales de variación estacional, encontrando en este caso los periodos de aguas altas en los meses de otoño y primavera debido a las precipitaciones en estado líquido y el deshielo principalmente, y mínimos en los meses de verano por la menor cantidad de precipitaciones, mayor evapotranspiración y altas temperaturas. El río Veral muestra un aumento más marcado en abril y mayo, mientras que el río Esca alcanza su pico máximo antes, en febrero. Gracias a estas figuras se puede valorar con claridad el ritmo de los caudales y establecer el tipo de régimen fluvial de la subcuenca del Alto Aragón en las zonas concretas.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO ANUAL (m^3/s)	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (m^3/s)	1,24	1,95	2,08	1,82	1,72	2,41	3,06	2,85	1,64	0,75	0,43	0,62
COEFICIENTE DE CAUDAL	0,70	1,11	1,18	1,03	0,98	1,37	1,74	1,62	0,93	0,43	0,25	0,35

Tabla 4. Cálculo del coeficiente de caudal del río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

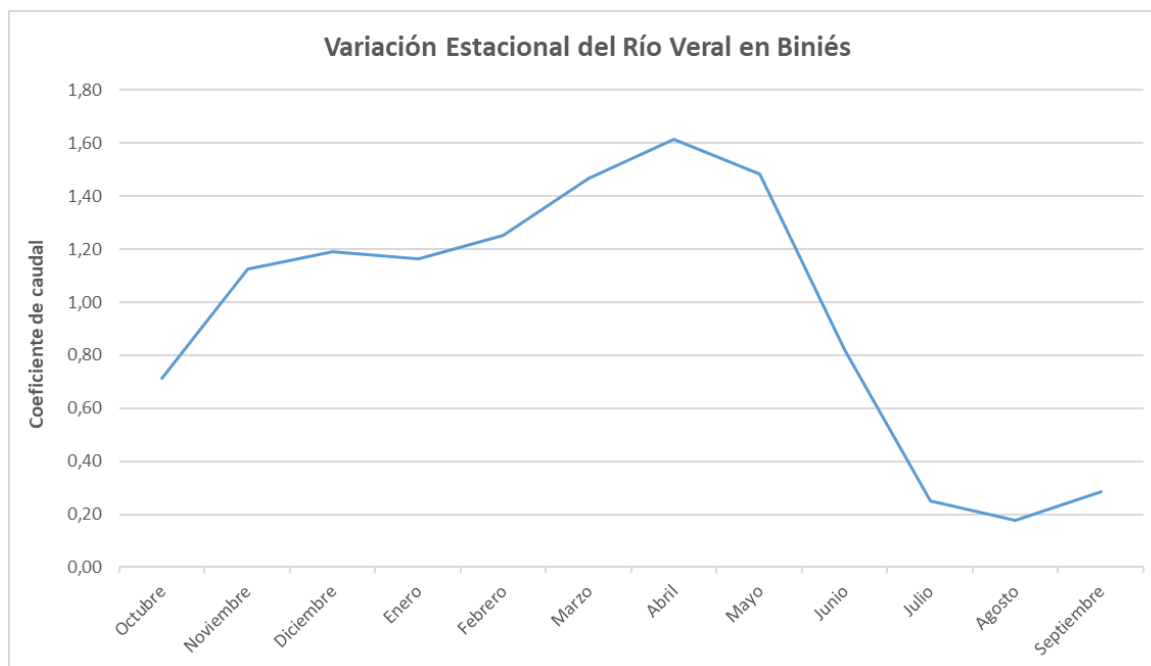


Figura 14. Curva de variación estacional del caudal del río Veral en Biniés (1931/32-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Una vez presentadas las figuras 12 y 13, y relacionada con esta figura 14, se puede comentar que, dentro del territorio aragonés, como ya se ha mencionado, la presencia del régimen pluvial oceánico queda reducida a los afluentes más occidentales del tramo alto del río Aragón (como son el caso de las figuras 12 a la 14, en los ríos Esca y Veral, sobre todo en sus tramos bajos como Sigüés y Biniés). En la figura 14 (1931/32-2019/20) este tipo está representado por la curva de variación estacional de caudal correspondiente al río Veral en Biniés. En ella se aprecia la existencia del periodo de aguas altas desde noviembre hasta mayo, con el máximo en abril, que en un régimen pluvial oceánico más puro debería de estar en el invierno, desplazado hacia finales de invierno o inicio de la primavera quizás por una influencia de la innivación que va a marcar el comportamiento de los ríos situados más al este. En el verano (meses de agosto y septiembre) se ve un descenso muy significativo de los caudales por la falta de lluvias y la temperatura más elevada (con un coeficiente de caudal de 0,18 y 0,28 respectivamente como se aclara en la tabla 5).

Así pues, explicadas estas tres primeras gráficas (figuras 12, 13 y 14) y relacionándolas, en la primera (río Esca en Sigüés) no hay dos periodos de aguas altas y dos de aguas bajas, en cambio, en las otras dos sí, pero en esta tercera (río Veral en Biniés), que refleja mayor influencia oceánica que la anterior, la diferencia de caudal entre los dos periodos de aguas altas es menor y, además, hay ese adelanto que ya se ha comentado.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO ANUAL (m³/s)	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26	4,26
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (m³/s)	3,03	4,79	5,07	4,96	5,33	6,26	6,88	6,32	3,50	1,06	0,76	1,21
COEFICIENTE DE CAUDAL	0,71	1,12	1,19	1,16	1,25	1,47	1,61	1,48	0,82	0,25	0,18	0,28

Tabla 5. Cálculo del coeficiente de caudal del río Veral en Biniés (1931/32-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

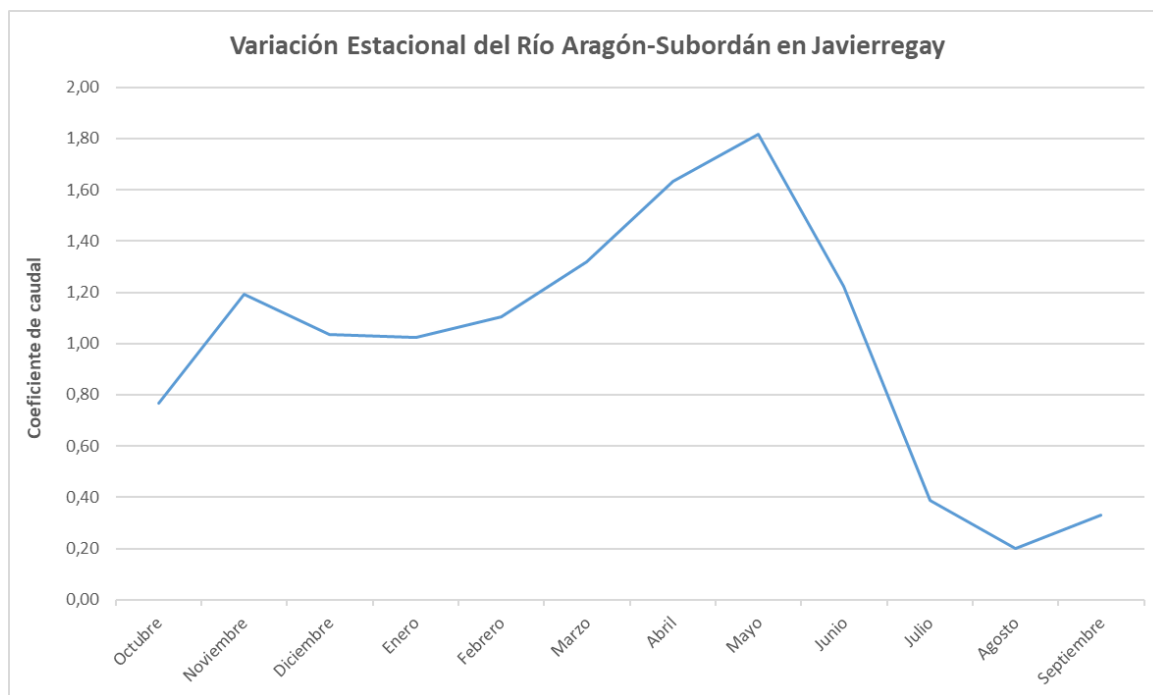


Figura 15. Curva de variación estacional del caudal del río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Esta figura 15 diferencia la curva de coeficiente de caudal del río Aragón Subordán en Javierregay entre los años 1955/56-2019/20.

Se distingue claramente el periodo de aguas altas principal en el mes de mayo debido a la aportación del deshielo al caudal de este río y a las lluvias de primavera, y un segundo periodo de aguas altas en noviembre debido a las lluvias de otoño.

En cuanto al periodo de aguas bajas, el mínimo principal se halla en agosto debido a la poca precipitación junto con las elevadas temperaturas y, por otro lado, ya que no existe aporte al caudal por deshielo. El mínimo secundario del periodo de aguas se ubica entre los meses de invierno, de diciembre a febrero, ya que las precipitaciones están en estado sólido (en forma de nieve al estar en una zona de montaña).

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO ANUAL (m^3/s)	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (m^3/s)	8,51	13,22	11,50	11,35	12,27	14,65	18,14	20,18	13,56	4,30	2,24	3,65
COEFICIENTE DE CAUDAL	0,77	1,19	1,04	1,02	1,11	1,32	1,63	1,82	1,22	0,39	0,20	0,33

Tabla 6. Cálculo del coeficiente de caudal del río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.



Figura 16. Curva de variación estacional del caudal del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Este gráfico (figura 16) sobre la variación estacional del caudal del río Aragón en Martes está elaborado con un menor periodo de tiempo (entre los años 2004/05-2019/20), aunque está expresado también en valores de coeficiente de caudal. Según los datos del Sistema de Anuario de Aforos y como se puede observar, el caudal aumenta poco a poco desde octubre, se mantiene estable de noviembre a febrero y comienza a aumentar de manera más vertiginosa en marzo. El caudal alcanza el periodo de aguas altas en abril, con 1,73 de coeficiente de caudal tal y como se aprecia en la tabla 7. Luego cae de manera leve en mayo (1,58) y abruptamente en junio y julio, alcanzando un claro periodo de aguas bajas en agosto y septiembre de aproximadamente 0,2. Al igual que en todos los investigados, el periodo de aguas bajas se concentra en los meses de verano (julio, agosto y septiembre).

Tanto esta figura como las de los ríos los Esca y Veral muestran ciertos patrones estacionales similares, con valores máximos en primavera debido al deshielo y las precipitaciones, y valores mínimos en verano debido a la reducción de las precipitaciones y al aumento de la evapotranspiración y la temperatura. Sin embargo, el caudal del río Aragón crece de forma más significativa en mayo, al igual que el río Veral, mientras que el río Esca alcanza su máximo a principios de febrero como ya se ha mencionado por esa influencia más oceánica.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO ANUAL (m^3/s)	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45	18,45
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (m^3/s)	13,25	18,97	19,44	19,83	19,95	25,82	31,93	29,19	23,23	7,27	3,74	4,87
COEFICIENTE DE CAUDAL	0,72	1,03	1,05	1,07	1,08	1,40	1,73	1,58	1,26	0,39	0,20	0,26

Tabla 7. Cálculo del coeficiente de caudal del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.



Figura 17. Curva de variación estacional del caudal del río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

La gráfica (figura 17) muestra la variación estacional del caudal del Río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20), expresada en valores de coeficiente de caudal. Se observa una clara tendencia estacional en el flujo del río. Desde final de noviembre hasta marzo se encuentra el mínimo secundario, debido a que muchas de las precipitaciones en dicha localidad son en forma sólida y quedan retenidas en las zonas más altas del valle. A partir de marzo, el caudal comienza a aumentar progresivamente, alcanzando el periodo máximo de aguas en mayo, con valores superiores a 2 (2,15 concretamente), y esto se debe a las abundantes precipitaciones primaverales y, principalmente, al deshielo de la nieve acumulada en los meses de invierno. Después de mayo, el caudal disminuye bruscamente, llegando al periodo de aguas más bajo en agosto, con valores por debajo de 0,5, evidenciando la inexistencia de aportes del deshielo y donde las precipitaciones en forma de lluvia son escasas. En noviembre se encuentra un periodo de aguas altas secundario debido a las lluvias de otoño, pero el caudal sigue siendo bajo en comparación con los meses de primavera. Así pues, esta variación estacional refleja un patrón típico de los ríos alimentados por el deshielo de nieve en las montañas, con máximos caudales en primavera y mínimos en verano, y destacando también las lluvias de otoño.

Este tipo de curva de variación estacional se asocia a regímenes nivo-pluviales.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO ANUAL (m^3/s)	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (m^3/s)	5,37	7,63	5,66	5,43	5,59	7,29	10,18	14,31	11,21	4,02	2,09	2,92
COEFICIENTE DE CAUDAL	0,81	1,15	0,85	0,82	0,84	1,10	1,53	2,15	1,69	0,61	0,31	0,44

Tabla 8. Cálculo del coeficiente de caudal del río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

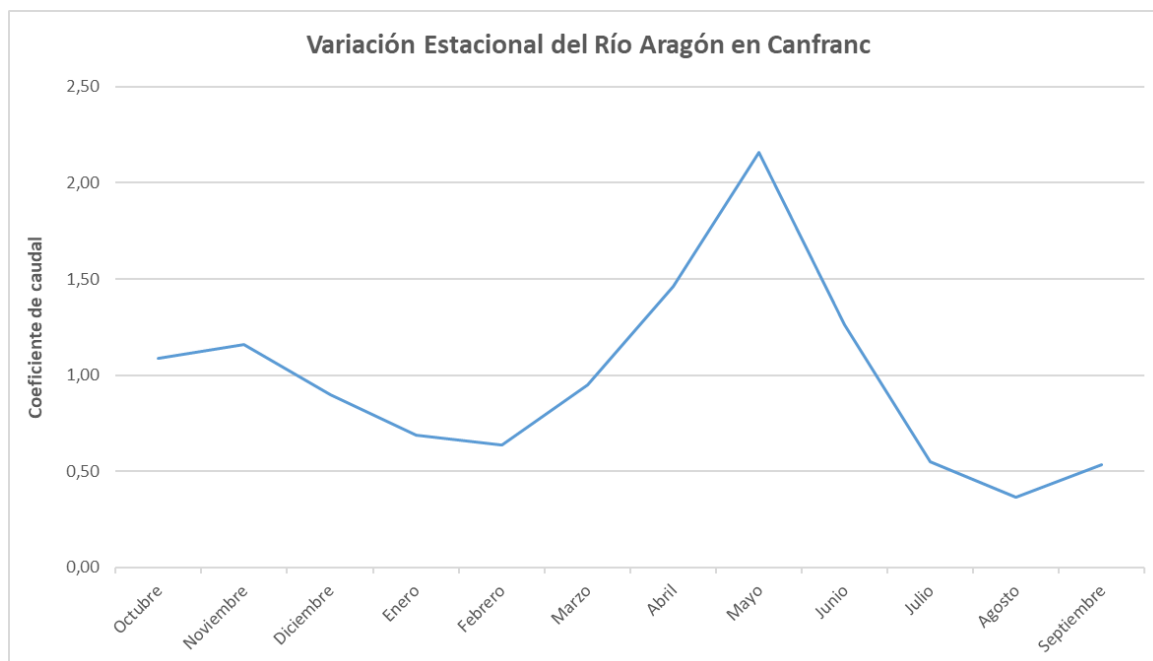


Figura 18. Curva de variación estacional del caudal del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Las figuras 17 (de Jaca) y 18 (de Canfranc, entre los años 1991/92-2019/20) se puede observar que sus curvas de variación estacional son prácticamente iguales. En ambas gráficas el periodo de aguas altas principal se encuentra en mayo y el secundario en noviembre por las precipitaciones de otoño. Los meses de diciembre, enero y febrero no superan el módulo, formando así el mínimo secundario, y, por último, el periodo de aguas bajas principal se encuentra en los meses de agosto y septiembre, a causa de las pocas precipitaciones y las altas temperaturas como ya se ha nombrado a lo largo del trabajo.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO ANUAL (m^3/s)	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
MEDIA DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL (m^3/s)	2,63	2,80	2,18	1,66	1,54	2,30	3,53	5,22	3,05	1,32	0,89	1,29
COEFICIENTE DE CAUDAL	1,09	1,16	0,90	0,69	0,64	0,95	1,46	2,16	1,26	0,55	0,37	0,53

Tabla 9. Cálculo del coeficiente de caudal del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Explicados todos estos, según la clasificación establecida por la CEH-CEDEX (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) y en base a la distribución de las precipitaciones y la mayor o menor importancia de la nieve, la zona de estudio se considera del tipo de régimen fluvial mixto (propio de aquellos ríos cuyo caudal depende significativamente de ambos tipos de precipitación, por lo que su caudal muestra el efecto combinado de la lluvia y el deshielo de la nieve), viendo un máximo y un mínimo principal y otro secundario.

Concretamente se habla de regímenes nivo-pluviales según García Ruiz et al.,2001. Se tratan de áreas de montaña, el agua del deshielo aporta más al caudal que la lluvia.

7.3. Irregularidad interanual.

La irregularidad interanual se refiere a los cambios en el caudal de los ríos de un año a otro, y en este trabajo se ha expresado mediante el coeficiente de irregularidad. Calculado con los datos de caudal medio anual en m^3/s de cada una de las estaciones de aforo de estudio en sus respectivos ríos, se ha buscado y seleccionado el valor más alto, y se ha dividido entre el valor más bajo de los caudales medios anuales en m^3/s , como se puede ver en las tablas realizadas de la 11 a la 17. La fórmula sería la siguiente: $Ci = C_{\text{max}} / C_{\text{min}}$ (Coeficiente de irregularidad = Caudal máximo / Caudal mínimo medio anual en m^3/s en el rango de años disponible y examinado en cada estación).

Una vez obtenidos los valores del coeficiente de irregularidad, para clasificar el tipo o nivel de irregularidad interanual en los aforos, se ha seguido la siguiente clasificación (ver tabla 10) propuesta por Sánchez Fabre, M. (2018):

Tipo o nivel de irregularidad interanual	Subtipos	Coeficiente de irregularidad	Desviación típica
Regular		< 4,00	< 0,33
Irregularidad baja		4,01 - 6,00	< 0,45
Irregularidad intermedia	<i>Irregularidad intermedia</i>	6,01 - 12,00	< 0,45
	<i>Irregularidad intermedia +</i>	6,01 - 12,00	> 0,45
Irregularidad alta	<i>Irregularidad alta</i>	12,01 - 20,00	0,4 - 0,6
	<i>Irregularidad alta +</i>	12,01 - 20,00	> 0,6
Irregularidad máxima	<i>Irregularidad máxima</i>	> 20,01	0,6 - 0,7
	<i>Irregularidad máxima +</i>	> 20,01	> 0,7

Tabla 10. Tipos o niveles de irregularidad interanual. Fuente: Sánchez Fabre, M. (2018).

Los cambios en el caudal de los ríos de un año a otro pueden verse influenciados por una variedad de factores climáticos, hidrológicos y antropogénicos, como cambios en las precipitaciones, sequías, eventos extremos (inundaciones), cambios en el uso de la tierra y cambios en las prácticas de gestión del agua. Las elevadas irregularidades interanuales indican que los caudales de los ríos pueden variar significativamente de un año a otro, lo que puede complicar la planificación y gestión de los recursos hídricos.

Según Sánchez Fabre, M. (2018), la irregularidad interanual es una de las principales características que definen el comportamiento de los ríos. En este trabajo se ha tenido en cuenta esta magnitud para una adecuada gestión de los caudales de los cursos fluviales.

La irregularidad interanual en este trabajo ha sido representada a través de gráficas de columnas (figuras de la 19 a la 25) donde el eje de abscisas muestra los años hidrológicos disponibles para cada estación de aforo, y el eje de ordenadas representa los valores de caudal medio anual en m^3/s . Aclarado esto, las barras azules representan el caudal en m^3/s para cada año, mientras que la línea verde punteada muestra la tendencia polinómica del caudal.

Además de esto comentado, se ha añadido el módulo anual calculado para cada una de las estaciones de aforo, que aparece representado mediante una línea recta gruesa de color naranja, pudiendo así guiarse mejor (que nos ayuda a ver cómo se distribuye el caudal anualmente según los valores de cada año se sitúen por encima o por debajo del módulo).

A modo de resumen, la irregularidad interanual en la subcuenca del Alto Aragón se ha calculado a partir de datos de series históricas que van desde 1930/31 a 2019/20 en el caso de Sigüés en el río Esca y Jaca en el río Aragón, de 1933/34 a 2019/20 en el caso de Zuriza en el río Veral, de 1931/32 a 2019/20 en la estación de Biniés también en el río Veral, de 1955/56 a 2019/20 con respecto a Javierregay en el río Aragón Subordán, de 2004/05 a 2019/20 en el caso de Martes en el río Aragón (periodo de tiempo analizado más corto debido al limitante de la disponibilidad de datos) y, por último, de 1991/92 a 2019/20 en la estación de aforo de Canfranc en el río Aragón.

En la representación de los histogramas de la figura 19 a la 25, también se ha considerado importante la introducción de una línea polinómica para facilitar la visión sobre la evolución del caudal medio anual (m^3/s) a lo largo de los años.

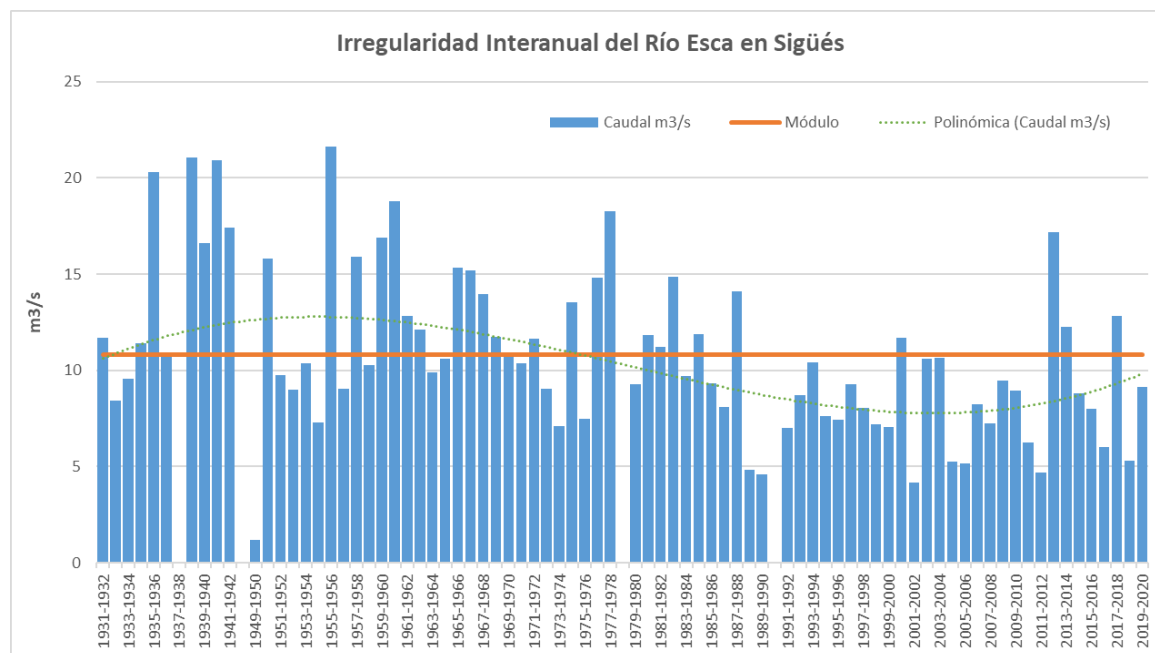


Figura 19. Histograma de irregularidad interanual del río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Min. (1949-1950)	1,17 m^3/s
Max. (1955-1956)	21,64 m^3/s
Irregularidad interanual	18,50
Irregularidad interanual alta	

Tabla 11. Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

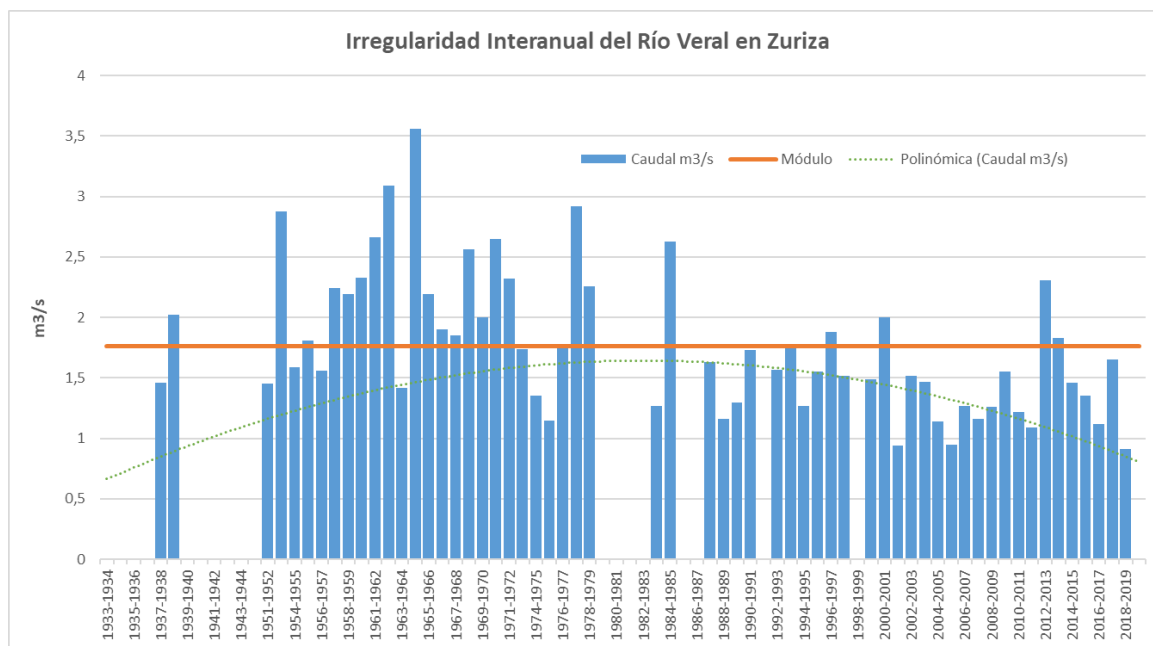


Figura 20. Histograma de irregularidad interanual del río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Min. (2018-2019)	0,91 m ³ /s
Max. (1964-1965)	3,56 m ³ /s
Irregularidad interanual	3,91
Irregularidad interanual regular	

Tabla 12. Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

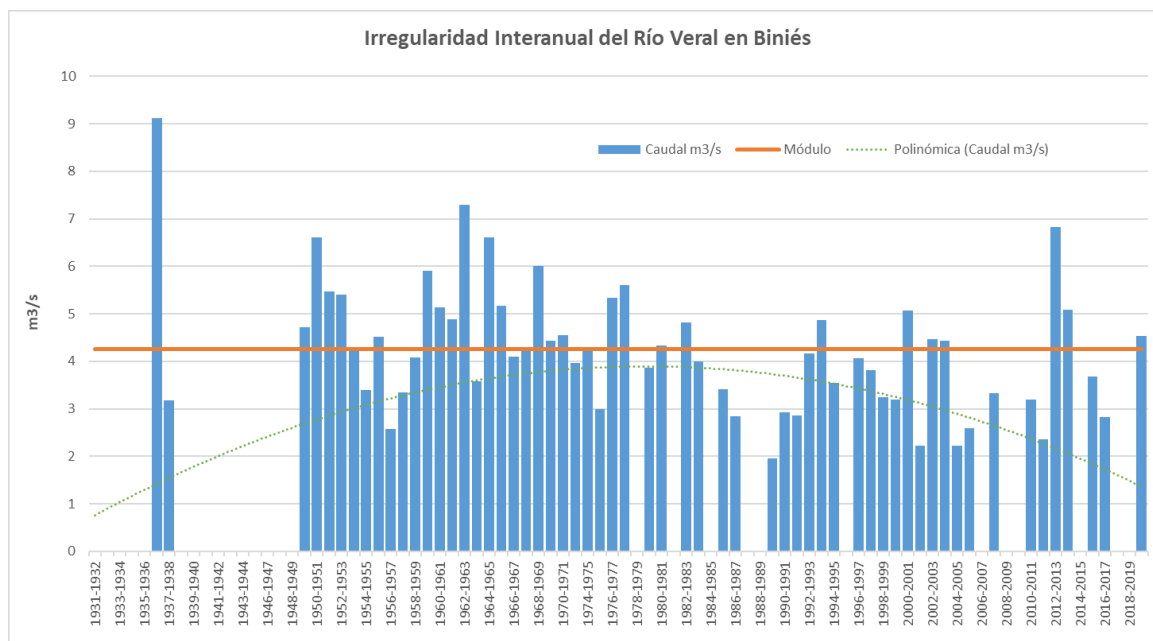


Figura 21. Histograma de irregularidad interanual del río Veral en Biniés (1931/32-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Min. (1989-1990)	1,96 m ³ /s
Max. (1936-1937)	9,11 m ³ /s
Irregularidad interanual	4,65
Irregularidad interanual baja	

Tabla 13. Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Veral en Biniés (1931/32-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

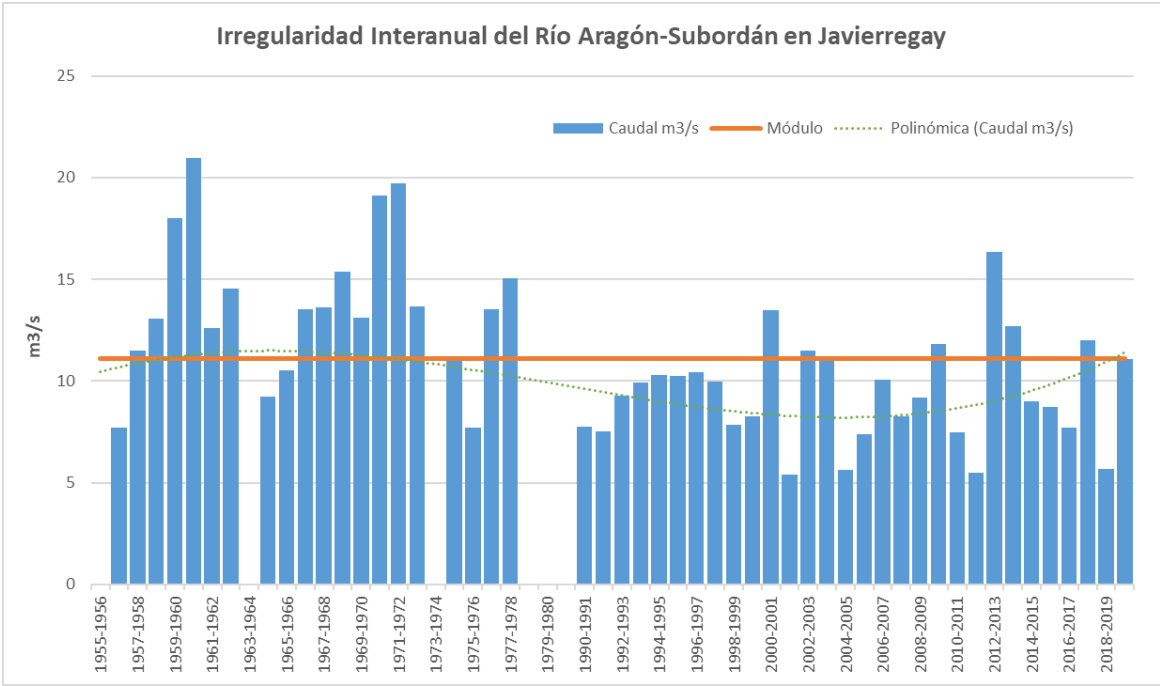


Figura 22. Histograma de irregularidad interanual del río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Min. (2001-2002)	5,42 m ³ /s
Max. (1960-1961)	20,98 m ³ /s
Irregularidad interanual	3,87
Irregularidad interanual regular	

Tabla 14. Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

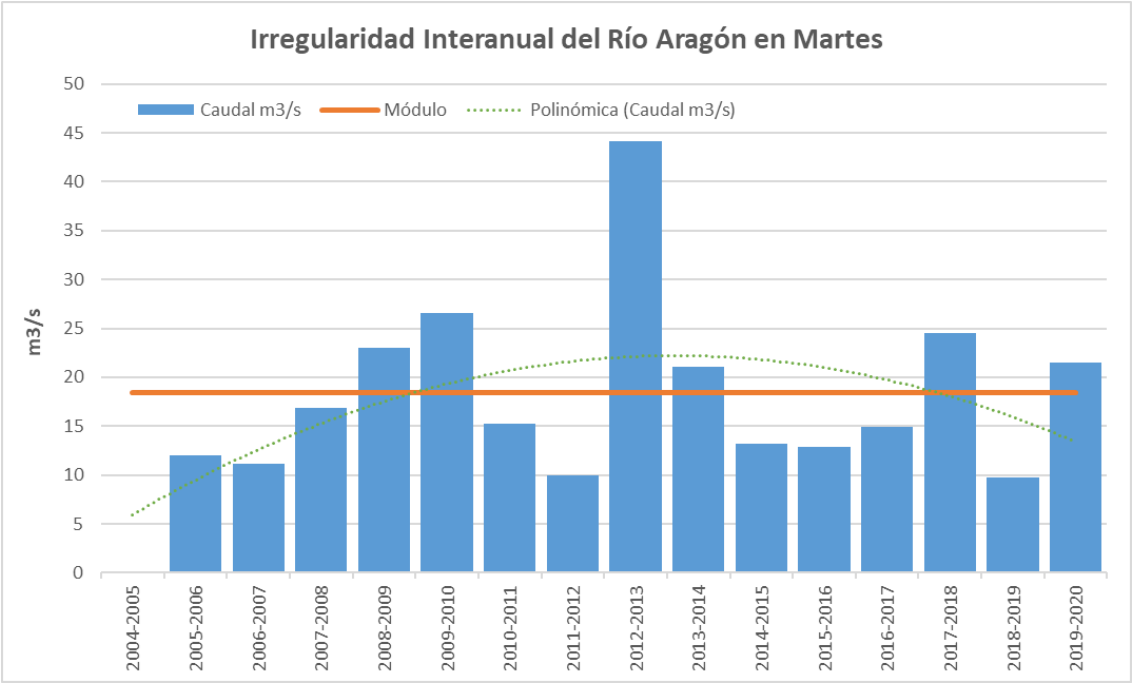


Figura 23. Histograma de irregularidad interanual del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Min. (2018-2019)	9,79 m ³ /s
Max. (2012-2013)	44,18 m ³ /s
Irregularidad interanual	4,51
Irregularidad interanual baja	

Tabla 15. Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

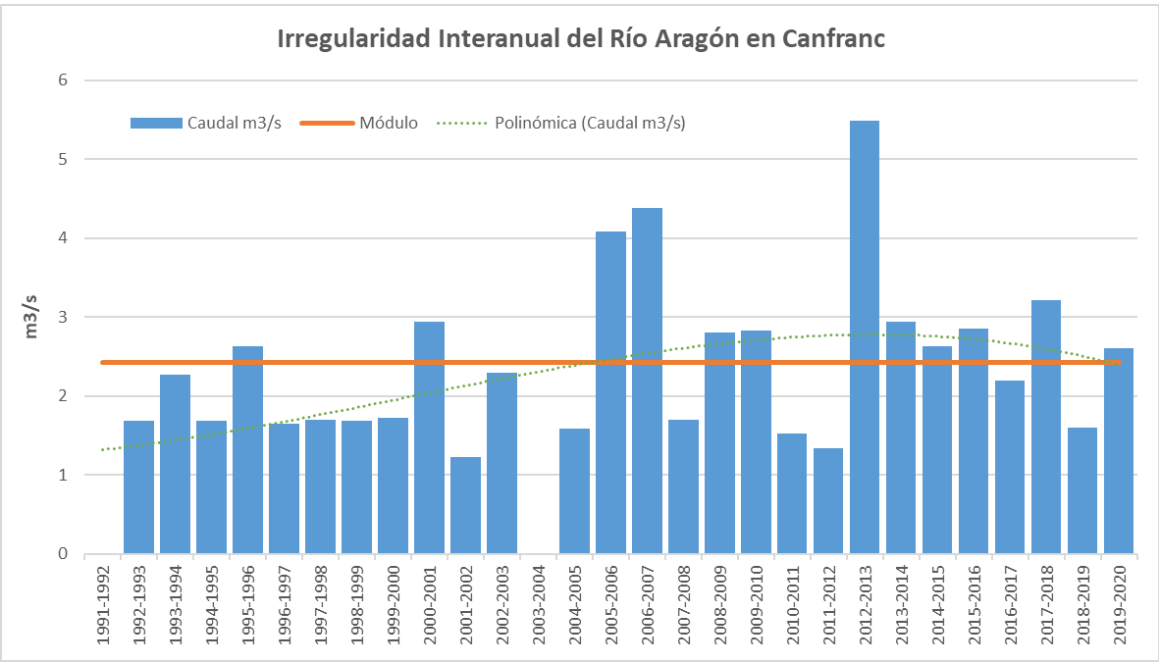


Figura 24. Histograma de irregularidad interanual del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Min. (2001-2002)	1,23 m ³ /s
Max. (2012-2013)	5,49 m ³ /s
Irregularidad interanual	4,46
Irregularidad interanual baja	

Tabla 16. Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

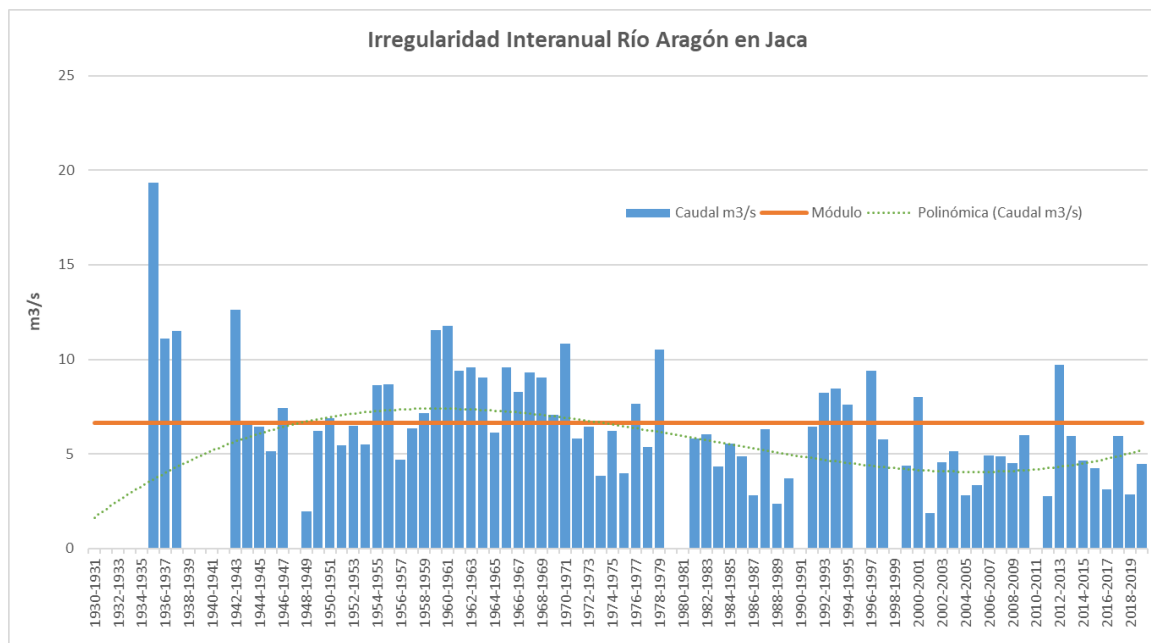


Figura 25. Histograma de irregularidad interanual del río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Min. (2001-2002)	1,87 m ³ /s
Max. (1935-1936)	19,34 m ³ /s
Irregularidad interanual	10,34
Irregularidad interanual	

Tabla 17. Cálculo del nivel de irregularidad interanual del río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Los resultados que nos encontramos sobre estos coeficientes de irregularidad son en su mayoría bajos o regulares en los siete puntos de aforo tomados de la subcuenca del Alto Aragón, tal y como se ha podido comprobar con las figuras y tablas anteriores y con la figura 26 que se muestra a continuación.

Esta irregularidad interanual baja es propia de los ríos pirenaicos en zonas altas como es el caso, excepto en Sigüés y Jaca, que tienen un coeficiente de irregularidad más elevado, y, curiosamente, son las dos estaciones de aforo con el mayor periodo de tiempo analizado (1931-2020) y también se encuentran ambas a los dos extremos Oeste y Este respectivamente de la subcuenca de estudio.

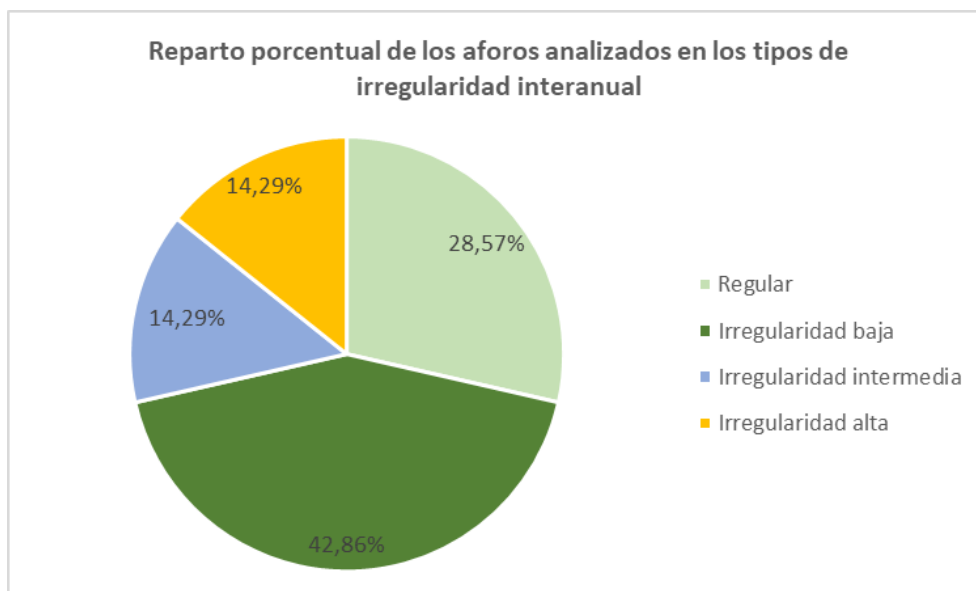


Figura 26. Reparto porcentual de los siete aforos analizados en los tipos de irregularidad interanual. Fuente: Sistema de Anuario de aforos. Elaboración propia.

Con esta gráfica (figura 26) sobre el reparto porcentual de las estaciones de aforo analizadas en los tipos de irregularidad interanual se puede ver mejor la distribución de este factor.

8. Fenómenos extremos. Los estiajes.

Los fenómenos extremos denominados estiajes podemos definirlos como el período durante el cual los ríos y arroyos alcanzan su caudal más bajo (Atlas didáctico del IGN).

Partimos de la hipótesis de que, en España, la mayor cantidad de eventos de estiaje suelen coincidir con los meses de verano.

A continuación, se analizan los porcentajes del número de días de estiaje por meses en cada una de las siete estaciones de aforo estudiadas (Sigüés, Zuriza, Biniés, Javierregay, Martes, Canfranc y Jaca) para comprobar si esta hipótesis es cierta o no.

Para la realización de las siguientes figuras (de la 27 a la 33), ha sido necesario medir el umbral de estiaje para cada estación de aforo, calculado mediante el caudal medio mensual más bajo dividido entre dos. Así pues, los datos obtenidos son los siguientes:

- Umbral de estiaje del río Esca en Sigüés: 0,98 m³/s.
- Umbral de estiaje del río Veral en Zuriza: 0,215 m³/s.
- Umbral de estiaje del río Veral en Biniés: 0,38 m³/s.
- Umbral de estiaje del río Aragón Subordán en Javierregay: 1,12 m³/s.
- Umbral de estiaje del río Aragón en Martes: 1,87 m³/s.
- Umbral de estiaje del río Aragón en Canfranc: 0,445 m³/s.
- Umbral de estiaje del río Aragón en Jaca: 1,045 m³/s.

Estos valores muestran un umbral de estiaje muy bajo, lo que implica que el flujo de agua durante los períodos de sequía puede ser extremadamente limitado. Esto puede tener varias consecuencias importantes no sólo de ámbito hidrológico sino también económico (riego) y social (abastecimiento doméstico). También se relacionan a la zona de estudio este tipo de umbrales de estiaje.

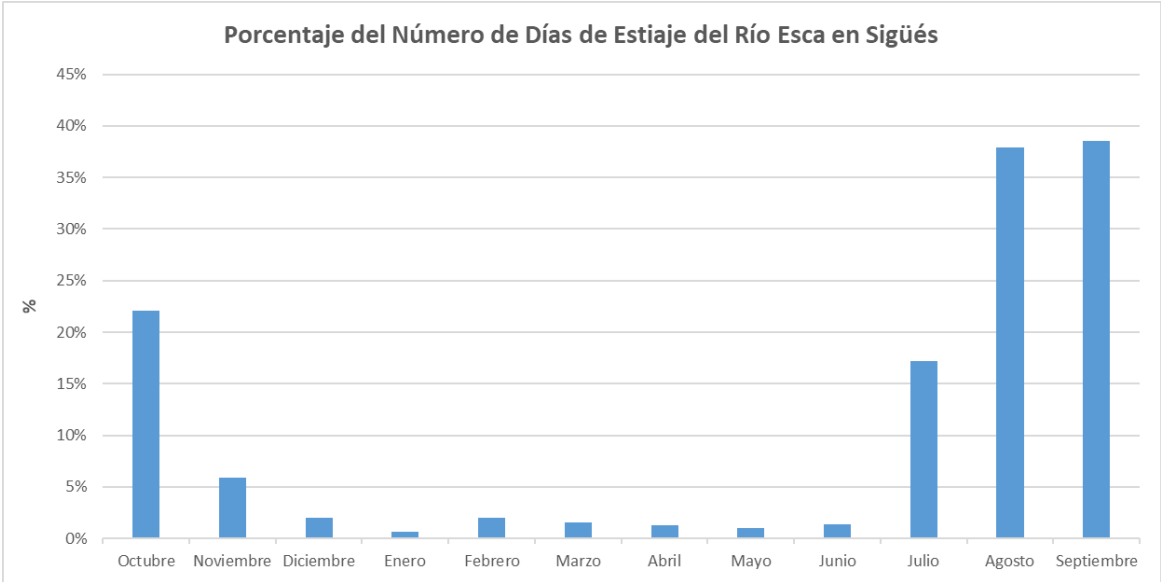


Figura 27. Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Sigüés (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En esta figura 27 se observa que agosto y septiembre son los meses con el mayor porcentaje de días de estiaje, alcanzando casi el 40% (37,91% y 38,53% respectivamente), seguido de julio y octubre con aproximadamente el 20% (17,23% y 22,04%). Noviembre presenta un porcentaje ya muy bajo, alrededor del 5% (5,94%). En contraste, los meses de diciembre a junio tienen el menor porcentaje de días de estiaje, casi inexistente. Esta distribución indica una mayor influencia oceánica, haciendo que esta estación de aforo sea diferente a las siguientes, donde los periodos de menor caudal del río se concentran también principalmente en los meses de verano y principios de otoño.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Nº. DÍAS	497	130	46	15	41	36	28	22	30	390	858	843
TOTALES	2255	2190	2253	2253	2062	2261	2190	2259	2190	2263	2263	2188
%	22,04%	5,94%	2,04%	0,67%	1,99%	1,59%	1,28%	0,97%	1,37%	17,23%	37,91%	38,53%

Tabla 18. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Sigüés (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

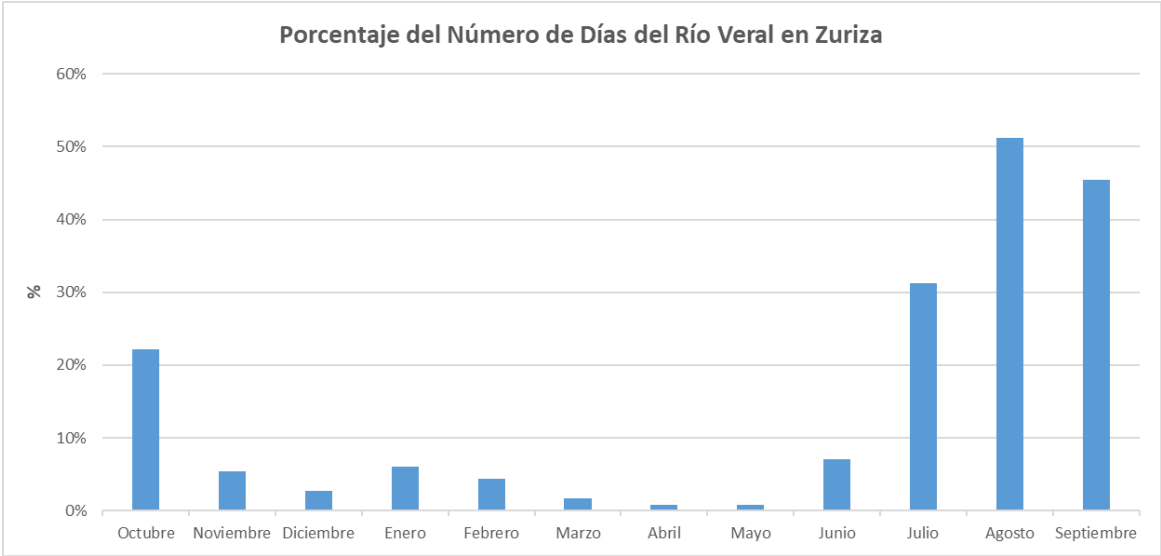


Figura 28. Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Zuriza (1933/34-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En la figura 28 se percibe que agosto es el mes con el mayor porcentaje de días de estiaje, superando el 50% (51,16%), seguido muy de cerca septiembre con el 45,41%. Julio también presenta un porcentaje significativo, superior al 30% (31,18%) y el mes de octubre un porcentaje de número de días de estiaje por encima del 20% (22,12%). Por el contrario, los meses entre noviembre y mayo presentan un porcentaje bajo de días de estiaje, por debajo del 10%. De estos últimos meses mencionados, abril y mayo son los meses con el porcentaje más pequeño, con 0,85% y 0,78% respectivamente. Con esta distribución se ve que los periodos de menor caudal del río Veral en Zuriza se encuentran también en su mayoría en los meses de verano, debido a las altas temperaturas y a la falta de lluvias.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Nº. DÍAS	469	109	58	125	84	36	17	16	141	638	1055	921
TOTALES	2120	2036	2102	2061	1893	2084	2007	2055	1983	2046	2062	2028
%	22,12%	5,35%	2,76%	6,07%	4,44%	1,73%	0,85%	0,78%	7,11%	31,18%	51,16%	45,41%

Tabla 19. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Zuriza (1933/34-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

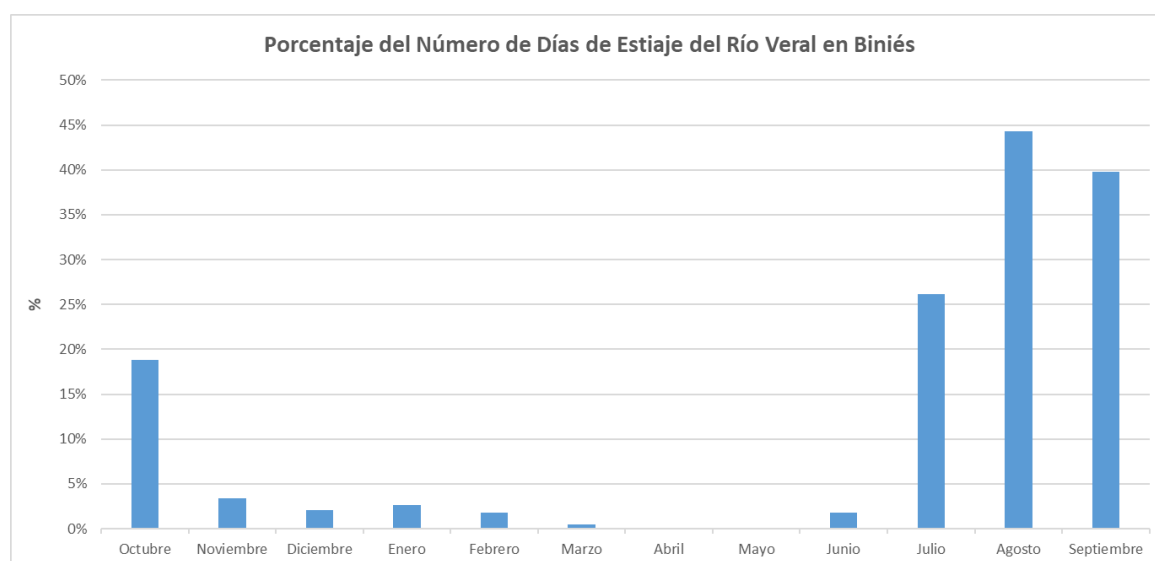


Figura 29. Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Biniés (1931/32-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Esta figura 29 es muy similar a la figura 28 anteriormente tratada sobre el río Veral en Zuriza. También se observa en la figura 29 que agosto es el mes con el mayor porcentaje de días de estiaje, cerca del 45% (44,34%), seguido muy de cerca septiembre con aproximadamente el 40% (39,77%). Julio también presenta un porcentaje significativo, superior al 30% (26,14%) y el mes de octubre un porcentaje de número de días de estiaje cerca del 20% (18,83%). Por el contrario, los meses entre noviembre y mayo presentan un porcentaje incluso más bajo de días de estiaje, por debajo del 5%. De estos últimos meses mencionados, llaman la atención abril y mayo, con prácticamente un valor de porcentaje inexistente, con 0,05% y 0,00% respectivamente. Así pues, se ve definida también esa distribución donde los periodos de mayor estiaje en el río Veral en Biniés se hallan en los meses de verano, debido a las altas temperaturas y a la falta o inexistencia de precipitaciones en forma líquida.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Nº. DÍAS	423	73	45	57	35	10	1	0	39	588	1003	869
TOTALES	2246	2166	2212	2183	2000	2203	2159	2217	2193	2249	2262	2185
%	18,83%	3,37%	2,03%	2,61%	1,75%	0,45%	0,05%	0,00%	1,78%	26,14%	44,34%	39,77%

Tabla 20. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Biniés (1931/32-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

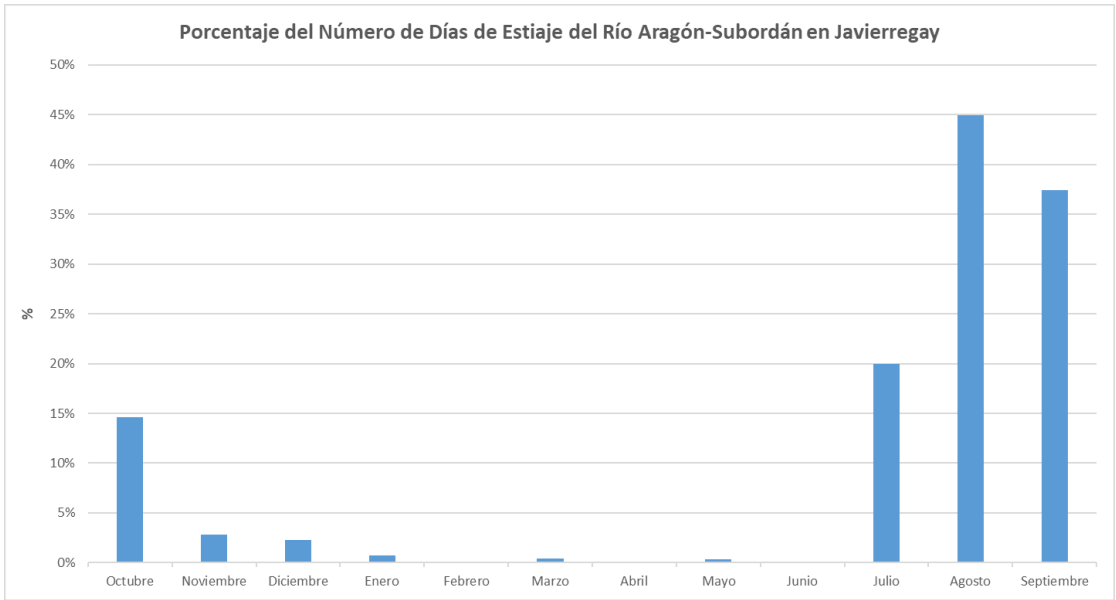


Figura 30. Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Javierregay (1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Al igual que las dos estaciones de aforo estudiadas previamente en el río Veral (Zuriza y Biniés), en la figura 30 se observa el mismo patrón, con agosto siendo el mes con el mayor porcentaje de días de estiaje, alcanzando casi el 45%, seguido de septiembre con casi el 40% (37,38%). Julio y octubre también presentan un porcentaje significativo con un 20% y un 15% respectivamente. Al contrario, los meses de noviembre a junio tienen el menor porcentaje de días de estiaje, casi inexistente (sobre todo en los meses de febrero a junio, ya que casi no hay días cuyo caudal esté por debajo del umbral de estiaje). Esta distribución indica también un menor caudal del río en los meses de verano, reflejando una evidente estacionalidad en los días de estiaje del río Aragón Subordán en Javierregay.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Nº. DÍAS	245	48	38	12	0	7	1	6	0	333	749	603
TOTALES	1678	1678	1652	1647	1502	1647	1594	1647	1586	1671	1666	1613
%	14,60%	2,86%	2,30%	0,73%	0,00%	0,43%	0,06%	0,36%	0,00%	19,93%	44,96%	37,38%

Tabla 21. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Javierregay (1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

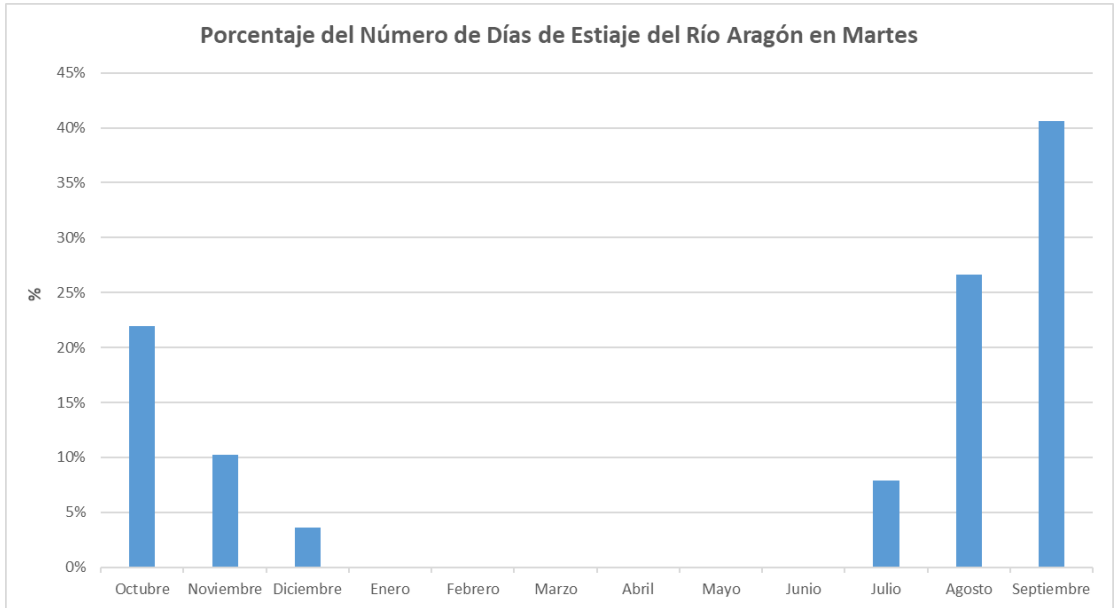


Figura 31. Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Al igual que las anteriores figuras, en esta figura 31 se puede comprobar que se sigue la misma línea en lo tocante al porcentaje del número de días de estiaje por meses, aunque se perciben algunos cambios. En la estación de aforo de Martes en el río Aragón, septiembre pasa a ser el mes con el mayor porcentaje de días de estiaje, superando levemente el 40% (40,63%), seguido de agosto y octubre con entorno al 25% (26,61% y 21,94% respectivamente). En esta figura 31 el mes de noviembre tiene un porcentaje algo superior a las anteriores figuras, con un 10,25% de días de estiaje. Julio (7,86%) y diciembre (3,63%) presentan un porcentaje bajo. Al contrario, llama mucho la atención los meses de enero a junio, con ningún día de estiaje en cada uno de los meses. Pese a las diferencias encontradas, la distribución sigue siendo parecida con mayores estiajes en verano y también principios de otoño en el río Aragón en Martes.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Nº. DÍAS	102	49	18	0	0	0	0	0	0	39	132	195
TOTALES	465	478	496	496	452	496	480	496	480	496	496	480
%	21,94%	10,25%	3,63%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	7,86%	26,61%	40,63%

Tabla 22. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

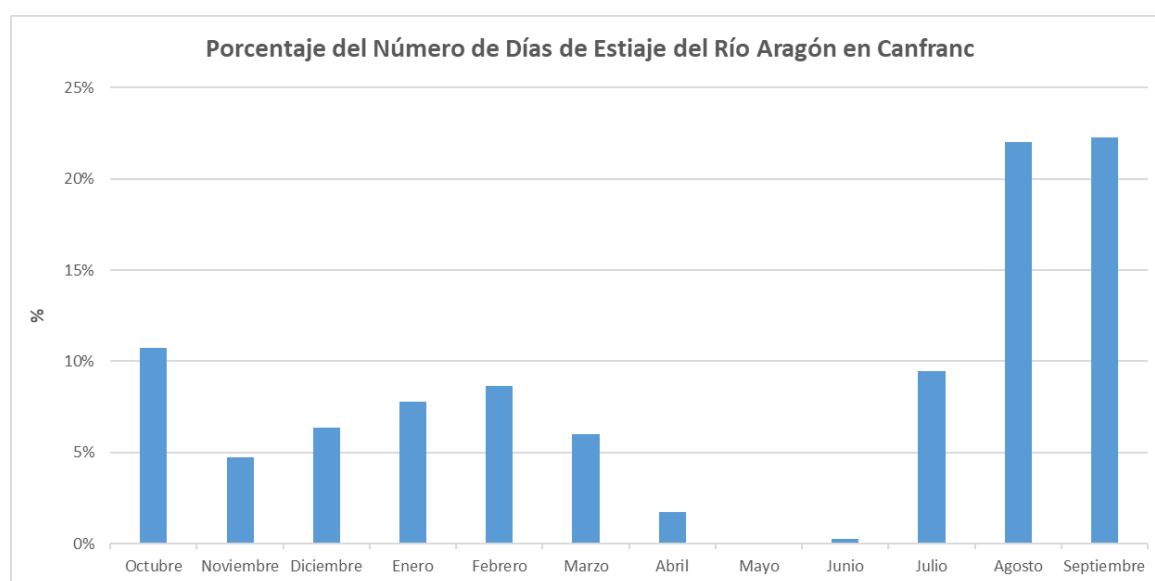


Figura 32. Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Ambas figuras 32 y 33 de Canfranc y Jaca respectivamente en el río Aragón presentan unas gráficas de estiaje más diferentes a las anteriores. Esto se debe principalmente a que hay una mayor existencia de días de estiajes en los meses de noviembre a marzo (sin llegar a ser los máximos), superando en casi todas el 5%.

Agosto y septiembre todavía son los meses con el mayor porcentaje de días de estiaje, pero con un valor porcentual sensiblemente menor, entorno al 20% (22,01% y 22,30% respectivamente). Julio y octubre también presenta un porcentaje algo significativo, cercano al 10%. Por otro lado, los meses de mayo y junio tienen el menor porcentaje de días de estiaje, casi 0,00%.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Nº. DÍAS	94	41	57	70	71	54	15	0	2	85	198	194
TOTALES	876	870	899	899	820	899	870	892	870	899	899	870
%	10,73%	4,71%	6,34%	7,79%	8,66%	6,01%	1,72%	0,00%	0,23%	9,45%	22,02%	22,30%

Tabla 23. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

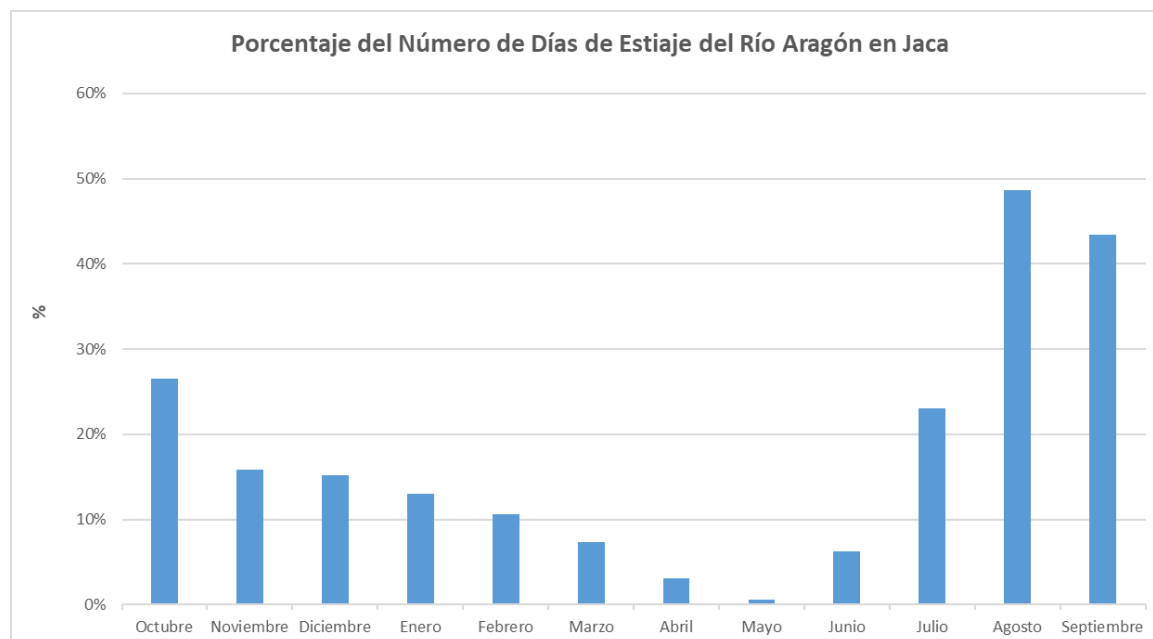


Figura 33. Porcentaje del número de días de estiaje por meses en Jaca (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Con la figura 33 se observa que agosto es el mes con el mayor porcentaje de días de estiaje, alcanzando casi el 50% (48,63%), seguido de septiembre con aproximadamente el 40% (43,45%). Julio también presenta un porcentaje significativo, cercano al 20%. A diferencia, los meses de mayo y junio tienen el menor porcentaje de días de estiaje, prácticamente inexistente. Octubre y noviembre muestran porcentajes moderados, alrededor del 20% y 10% respectivamente, mientras que el resto de los meses (diciembre a abril) presentan porcentajes más bajos y relativamente similares. Esta distribución indica que los periodos de menor caudal del río se concentran principalmente en los meses de verano, reflejando una clara estacionalidad en los días de estiaje del río Aragón en Jaca.

MESES	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Nº. DÍAS	649	389	373	319	261	181	75	14	154	564	1191	1064
TOTALES	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449
%	26,50%	15,88%	15,23%	13,03%	10,66%	7,39%	3,06%	0,57%	6,29%	23,03%	48,63%	43,45%

Tabla 24. Contabilización del número de días de estiaje y cálculo del porcentaje de estiaje por mes según el total de días en Jaca (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

A modo de conclusión sobre estas gráficas realizadas de los estiajes para cada una de las estaciones de aforo y una vez comentadas brevemente, se puede decir que son muy simbólicas, ya que en la mayoría de ellas curiosamente se encuentra que en todas las épocas en las que se comentaba anteriormente que había más crecidas, es decir, una mayor precipitación, no se tienen estiajes (en todas las figuras anteriores comentadas mayo es el mes con inexistencia de este tipo de fenómenos), y en las que, además, coinciden los deshielos.

Por el contrario, se tienen todos o prácticamente todos los eventos o días de sequía concentrados en verano, que es cuando ya se ha fundido la nieve y hasta que llegan las precipitaciones, por lo que la hipótesis con la que se partía en el primer párrafo de este apartado sería correcta.

Destacar que en septiembre y sobre todo en octubre y noviembre también hay días de estiaje (aunque en menor medida que en los meses de verano) y esto se puede deber a que hay veces que pasa el verano, entra el otoño y sigue sin llover, hasta el día que empiezan las lluvias. En ese periodo de no lluvia puede haber días de estiaje.

Gracias a esta información representada, una de las conclusiones relacionadas con la caracterización del comportamiento general del río, es que, además de haber muchas crecidas, los estiajes se comportan de esta forma mencionada.

Por último, en estas gráficas donde se representa el número de días de estiaje en porcentaje, se evidencian los bajísimos porcentajes de días de estiaje, principalmente en el mes de mayo, y resaltan de nuevo los porcentajes significativos sobre todo en verano, donde es evidente el hecho de que haya más de 1/3 de días que esté en estiaje.

9. Fenómenos extremos. Las crecidas.

Después de haber examinado tanto las características del medio natural como las características hidrológicas de la subcuenca del Alto Aragón y el fenómeno extremo de los estiajes en esta zona de estudio, el siguiente paso que se ha realizado ha sido el análisis profundo del fenómeno extremo de las crecidas en esta subcuenca. Esta se considera la temática principal del trabajo.

En primer lugar, se definen las crecidas como procesos naturales imprescindibles para el correcto funcionamiento fluvial y para el equilibrio planetario. Se tratan de procesos extremos frecuentes y universales, muy bien definidos espacialmente por cuanto acontecen en cauces y llanuras de inundación y, por tanto, muy fácilmente predecibles. La carga negativa que acompaña a estos procesos extremos deriva de sus daños socioeconómicos y se alimenta desde un enfoque antrópico tergiversado dominado por intereses particulares y falsos mitos tradicionales (Ollero et al., 2020). Es decir, se tratan de un aumento acentuado del caudal de un río en un momento dado, y pueden ser de distintas tipologías, según los picos que contenga la crecida, su duración, y otros factores.

El criterio que se ha perseguido para determinar el umbral de los eventos de crecida analizados, pudiendo así conocer su intensidad ha sido, una vez obtenido el módulo del caudal para cada una de las siete estaciones de aforo y sus respectivos ríos (como se ha podido ver ya este dato a lo largo de este estudio), multiplicar estos valores (los módulos) por 3, 5, 10, 25 y 50. Así pues, con este proceso lo que se consigue es saber cómo considerar una crecida, que puede ser cuando el caudal se multiplica por 3, 5, 10, 25 o 50 veces el módulo. Gracias a esto se puede conocer en primer lugar una caracterización general de estos fenómenos extremos según su intensidad.

Según la localización de la subcuenca del Alto Aragón (zona de alta montaña), las crecidas que se encuentran son especialmente debido a dos situaciones:

- Precipitaciones en estado líquido y de elevada intensidad en la época de otoño, es decir, las conocidas lluvias de otoño, que se suelen dar en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Estas crecidas más adelante se comprobarán que se consideran repentinas y difíciles de prever.
- Precipitaciones en estado líquido que se dan en la estación de primavera, al igual que el deshielo que se produce en esta época también, fundiéndose la nieve (agua en estado sólido) que se encuentra en cotas elevadas. El aporte al caudal de los ríos de este último apartado varía según las temperaturas. A diferencia de la anterior situación, el origen que da pie a este tipo de crecidas es más previsible.

Destacar también la posibilidad de aumento del número de crecidas en los ríos debido a factores humanos, como la deforestación (la eliminación de árboles reduce la capacidad del suelo para absorber agua, aumentando el escurrimiento superficial y la probabilidad de crecidas), la urbanización (la construcción de carreteras, edificios y otras infraestructuras impermeabiliza el suelo, disminuyendo la infiltración de agua y acelerando el flujo hacia los ríos), la agricultura intensiva (debido a la modificación del terreno y la eliminación de vegetación natural para actividades agrícolas, pudiendo así incrementar el escurrimiento y la erosión del suelo), la construcción de presas y embalses (su mal manejo o fallos estructurales pueden causar crecidas repentinas), la alteración de cauces (modificar los cauces naturales de los ríos, como la canalización o el desvío, puede reducir la capacidad del río para manejar caudales elevados)...

En este estudio se trabajan largas series de datos provenientes del Sistema de Anuario de Aforos. Con estos registros históricos disponibles se intenta hacer una observación detallada de la caracterización de las crecidas en la subcuenca del Alto Aragón.

Una vez explicada esta pequeña introducción sobre las crecidas, se procede con dicha caracterización de los eventos de crecida de la zona de estudio, resaltando en primer lugar el interés por la gran cantidad de crecidas que se han encontrado.

9.1. Número de días de crecida.

En Aragón existen numerosas publicaciones anteriores relacionadas con esta temática: Ollero y Pellicer (1991), Barrera (1999), García Ruiz et al. (2001), Ollero (2006), Del Valle et al. (2007), Acín et al. (2012), Ollero et al. (2004), Ollero y Sánchez Fabre (2007), Sánchez Fabre et al. (2015) ...en los que además de estudiar las características físicas de cursos fluviales, también tratan en concreto características hidrológicas de ríos pirenaicos. Otros a destacar son Lana-Renault et al. (2013) y Serrano Muela et al. (2013).

En este trabajo se han estudiado en profundidad los datos de caudal medio diario en m³/s para las estaciones de aforo en los distintos ríos. Con estos valores lo que se han formado son las siguientes figuras (de la 34 a la 40) para conocer el número de días que superan los diferentes umbrales de crecida y el porcentaje de días que suponen.

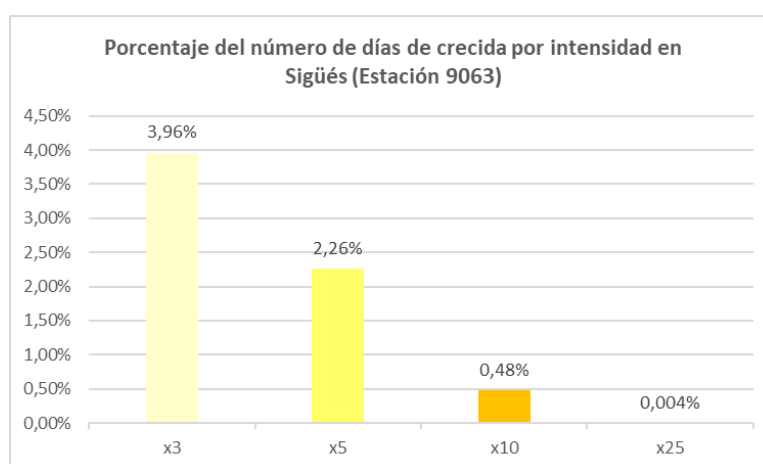


Figura 34. Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Esca, por intensidad (estación de aforo de Sigüés, 1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Intensidad	x3	x5	x10	x25
Nº. Días	1055	602	128	1
Total	26627	26627	26627	26627
%	3,96%	2,26%	0,48%	0,004%

Tabla 25. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Sigüés (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

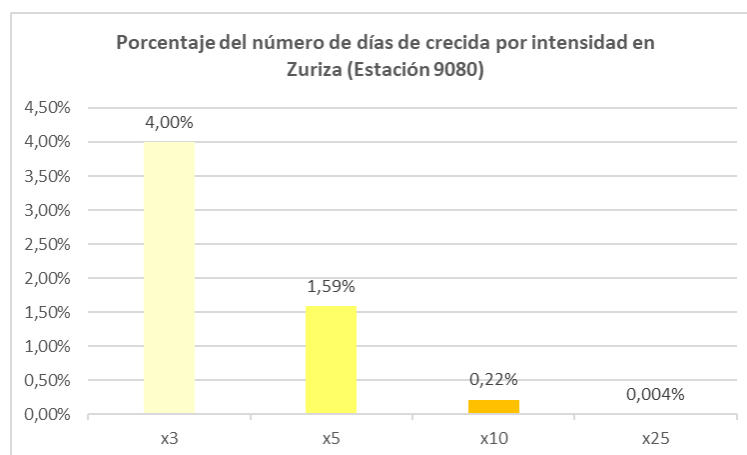


Figura 35. Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Veral, por intensidad (estación de aforo de Zuriza, 1933/34-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Intensidad	x3	x5	x10	x25
Nº. Días	978	389	53	1
Total	24477	24477	24477	24477
%	4,00%	1,59%	0,22%	0,004%

Tabla 26. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Zuriza (1933/34-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

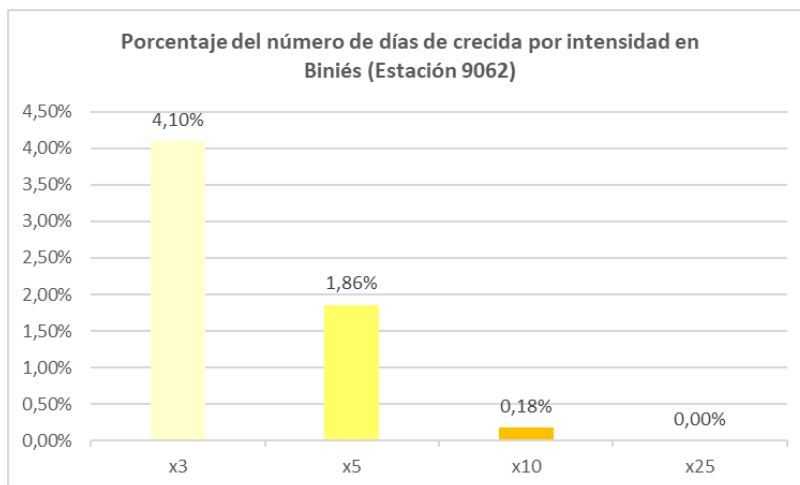


Figura 36. Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Veral, por intensidad (estación de aforo de Biniés, 1931/32-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Intensidad	x3	x5	x10	x25
Nº. Días	1077	488	48	0
Total	26275	26275	26275	26275
%	4,10%	1,86%	0,18%	0,00%

Tabla 27. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Biniés (1931/32-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

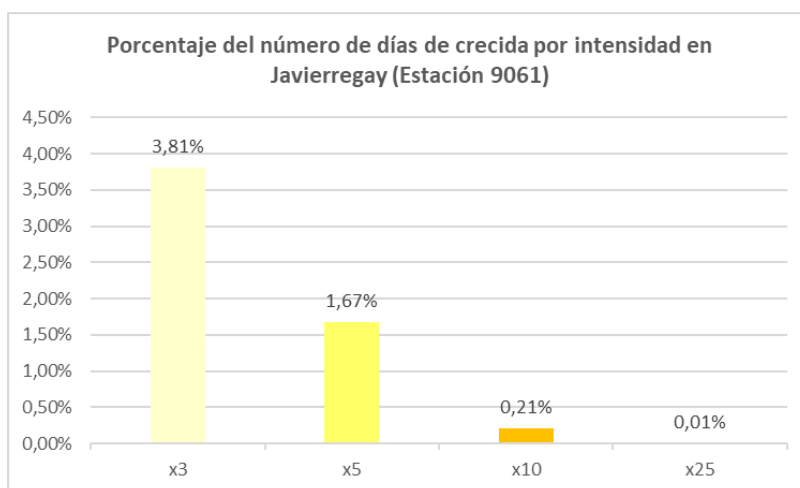


Figura 37. Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Aragón Subordán, por intensidad (estación de aforo de Javierregay, 1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Intensidad	x3	x5	x10	x25
Nº. Días	743	326	40	1
Total	19507	19507	19507	19507
%	3,81%	1,67%	0,21%	0,01%

Tabla 28. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Javierregay (1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

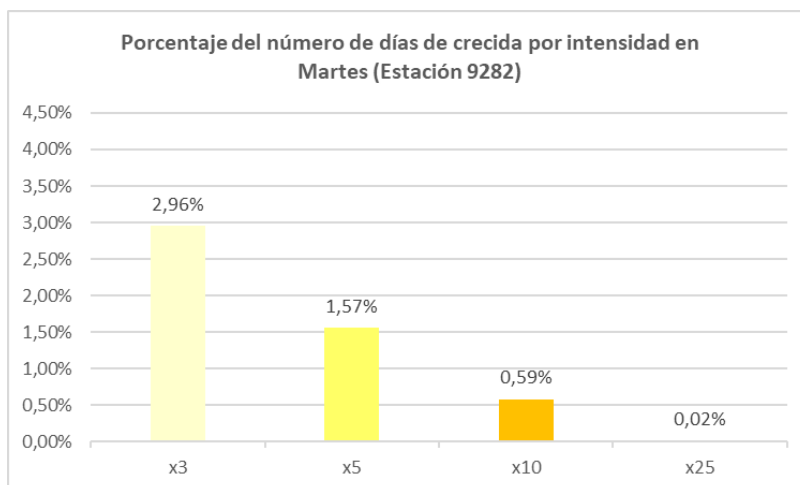


Figura 38. Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Aragón, por intensidad (estación de aforo de Martes, 2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Intensidad	x3	x5	x10	x25
Nº. Días	172	91	34	1
Total	5811	5811	5811	5811
%	2,96%	1,57%	0,59%	0,02%

Tabla 29. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

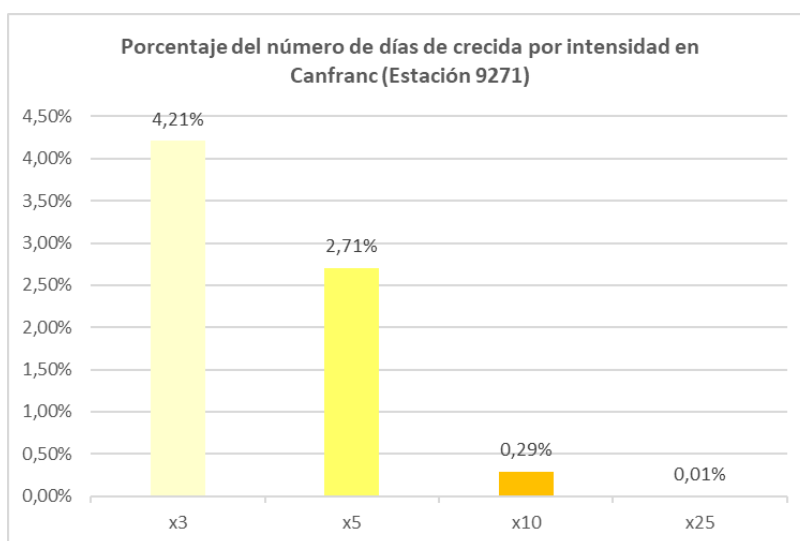


Figura 39. Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Aragón, por intensidad (estación de aforo de Canfranc, 1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Intensidad	x3	x5	x10	x25
Nº. Días	445	286	31	1
Total	10563	10563	10563	10563
%	4,21%	2,71%	0,29%	0,01%

Tabla 30. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

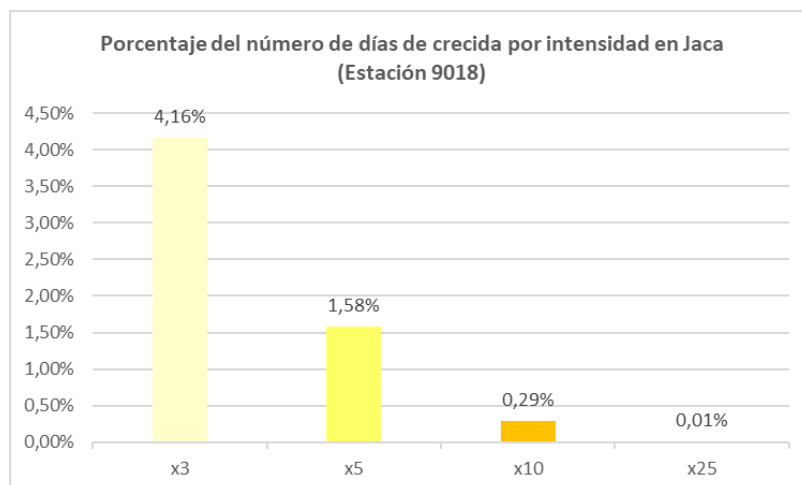


Figura 40. Porcentaje del número de días con caudal de crecida en el río Aragón, por intensidad (estación de aforo de Jaca, 1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Intensidad	x3	x5	x10	x25
Nº. Días	1196	454	84	3
Total	28748	28748	28748	28748
%	4,16%	1,58%	0,29%	0,01%

Tabla 31. Cálculo del porcentaje de días de crecida por intensidad en Jaca (1930/31-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Con todos estos datos mostrados se puede ver claramente la tipología concreta del porcentaje de días de crecida por intensidad para cada una de las estaciones de aforo de estudio.

En todas las estaciones de aforo estudiadas de la subcuenca del Alto Aragón, como ya se ha podido comprobar, predominan los días que superan el módulo 3 veces, siendo alrededor del 4% de días de eventos en casi todas las estaciones, aunque hay que contemplar que para cada estación de aforo existen diferentes rangos de años a la hora de relacionarlas.

9.2. Volumen y reparto temporal de las crecidas.

Para profundizar en el estudio de las crecidas de la subcuenca del Alto Aragón, se han analizado los registros del máximo instantáneo mensual para cada una de las estaciones de aforo. En ellos se intenta detectar todos aquellos máximos instantáneos mensuales que muestran la existencia de crecidas de diferente magnitud.

Inicialmente, se han establecido 5 grupos distintos de magnitud o intensidad, partiendo del módulo de cada estación de aforo, y se ha multiplicado este por 3, 5, 10, 25 y 50 (tal y como se puede observar en la tabla 32), pudiendo así realizar una mejor comparación de los máximos mensuales con el módulo.

Con los siguientes datos que se muestran en la tabla 32, lo que se quiere conocer es el grado de intensidad de las crecidas estudiadas, siendo aquellas que superan el valor de “x3” las crecidas de menor intensidad y las crecidas que superan el valor de “x50” las mayores crecidas. Al ubicarse la subcuenca del Alto Aragón en zonas de alta montaña, estas últimas son muy escasas, al igual que las crecidas de intensidad “x25”, que son pocas, en cambio, abundan las crecidas de intensidad “x3”, “x5” y “x10”, reafirmando lo dicho en el anterior apartado. Los módulos como se verá en la tabla 32 a continuación, son muy bajos para estos ríos que en determinados momentos llevan mucho caudal.

Sigüés		Zuriza		Biniés	
Módulo	10,804	Módulo	1,761	Módulo	4,264
x3	32,412	x3	5,283	x3	12,792
x5	54,02	x5	8,805	x5	21,32
x10	108,04	x10	17,61	x10	42,64
x25	270,1	x25	44,025	x25	106,6
x50	540,2	x50	88,05	x50	213,2
Javierregay		Martes		Canfranc	
Módulo	11,11	Módulo	18,461	Módulo	2,419
x3	33,33	x3	55,383	x3	7,257
x5	55,55	x5	92,305	x5	12,095
x10	111,1	x10	184,61	x10	24,19
x25	277,75	x25	461,525	x25	60,475
x50	555,5	x50	923,05	x50	120,95
		Jaca			
		Módulo	6,647		
		x3	19,941		
		x5	33,235		
		x10	66,47		
		x25	166,175		
		x50	332,35		

Tabla 32. Módulos y grupos para la clasificación de las crecidas por su intensidad para cada una de las siete estaciones de aforo estudiadas. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Después de establecer los umbrales de cada grupo, se procede a examinar los máximos instantáneos mensuales en cada año del periodo de tiempo disponible y mediante los datos del Sistema de Anuario de Aforos.

En la estación de aforo de Sigüés, los registros abarcan desde 1948/49 hasta 2019/20 (figura 41), para la estación de aforo de Zuriza, los datos cubren el periodo de 1961/62 hasta 2019/20 (figura 42), en la estación de aforo de Biniés, se encuentran valores de 1953/54 hasta 2019/20 (figura 43), para la estación de aforo de Javierregay, existen cifras desde 1956/57 hasta 2019/20 (figura 44), el periodo de años disponible en la estación de aforo de Martes va desde 2004/05 hasta 2019/20, en la estación de aforo de Canfranc, los registros se hallan desde 1991/92 hasta 2019/20 (figura 45) y, por último, para la estación de aforo de Jaca, los datos van de 1943/44 hasta 2019/20 (figura 46).

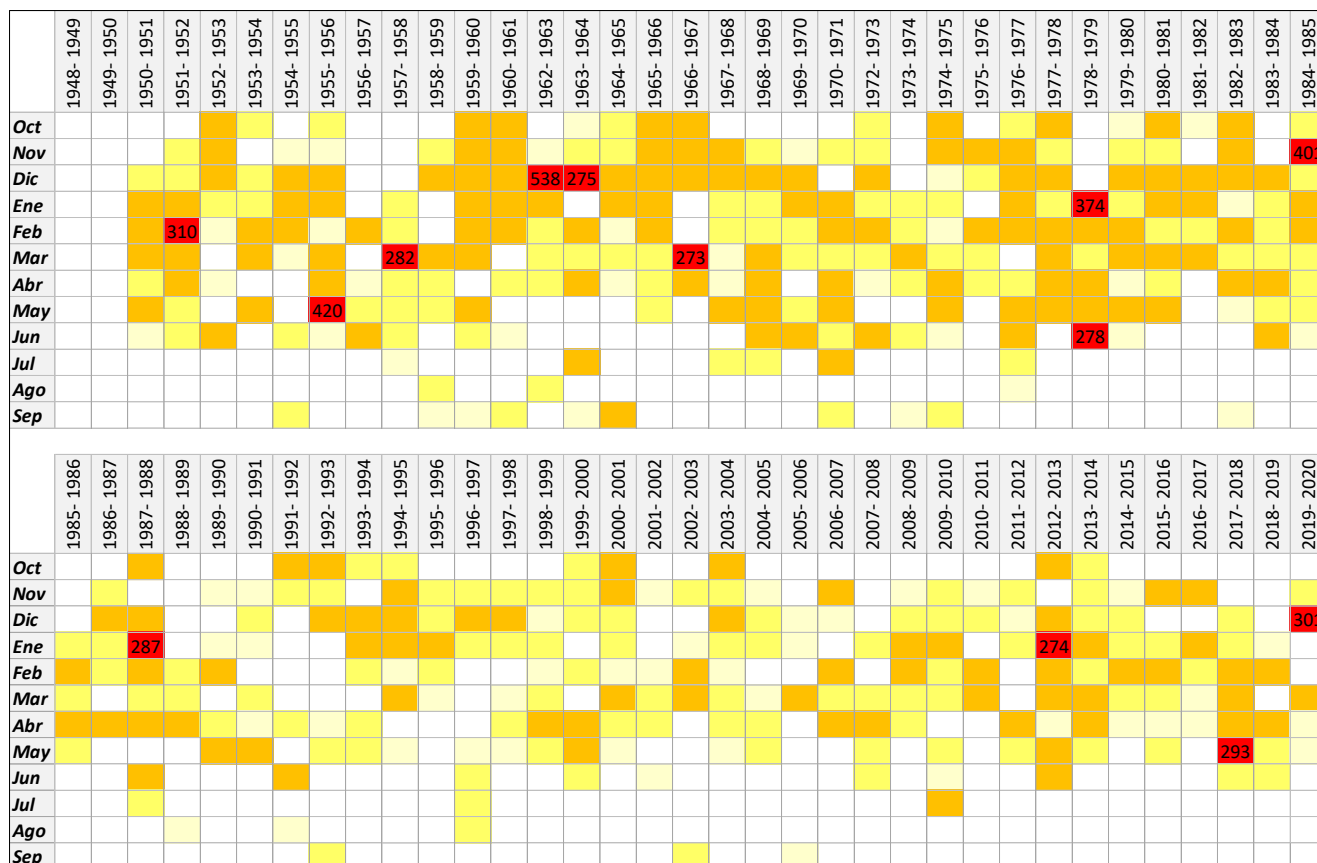


Figura 41. Máximos instantáneos mensuales del río Esca en Sigüés (1948/49-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Comentando brevemente esta figura 41, se puede decir que muestra los máximos instantáneos mensuales del caudal del río Esca en Sigüés a lo largo de la serie temporal disponible en el Anuario de Aforos (de 1948/49 hasta 2019/20), organizados por mes y tratando cada año.

Como ya se ha comentado en el anterior párrafo, los colores indican la intensidad del caudal máximo, siendo los tonos más claros los representan valores más bajos, mientras que los tonos más oscuros y rojos (incluso morado, aunque este no es el caso) indican valores más altos, con algunos picos sobresalientes marcados en rojo con cifras específicas (un máximo de 538 en diciembre del año 1962-1963).

Se puede apreciar en esta figura 41 que los máximos instantáneos más altos suelen concentrarse en los meses de diciembre, enero y también picos notables en otras partes del año, como en los meses entre marzo y junio.

Los datos resaltan eventos extremos en ciertos años, como 1951-1952 (valor de 310), 1955-1956 (valor de 420), 1978-1979 (valor de 374), 1984-1985 (valor de 401), 2019-2020 (valor de 301) ...con registros máximos significativamente altos, de una intensidad que multiplica el módulo por 25. Esto sugiere que el río Esca en Sigüés experimenta variaciones significativas en su caudal, con eventos de crecidas que pueden ocurrir en distintos meses, pero con una mayor frecuencia en el otoño y en primavera por las precipitaciones en estado líquido y el deshielo.

Realizando una vista general a la figura 41, se podría decir que la dinámica de los máximos instantáneos mensuales en esta zona de estudio muestra una progresiva ligera disminución de los casos que suponen crecida, pero sin cambios especialmente marcados.

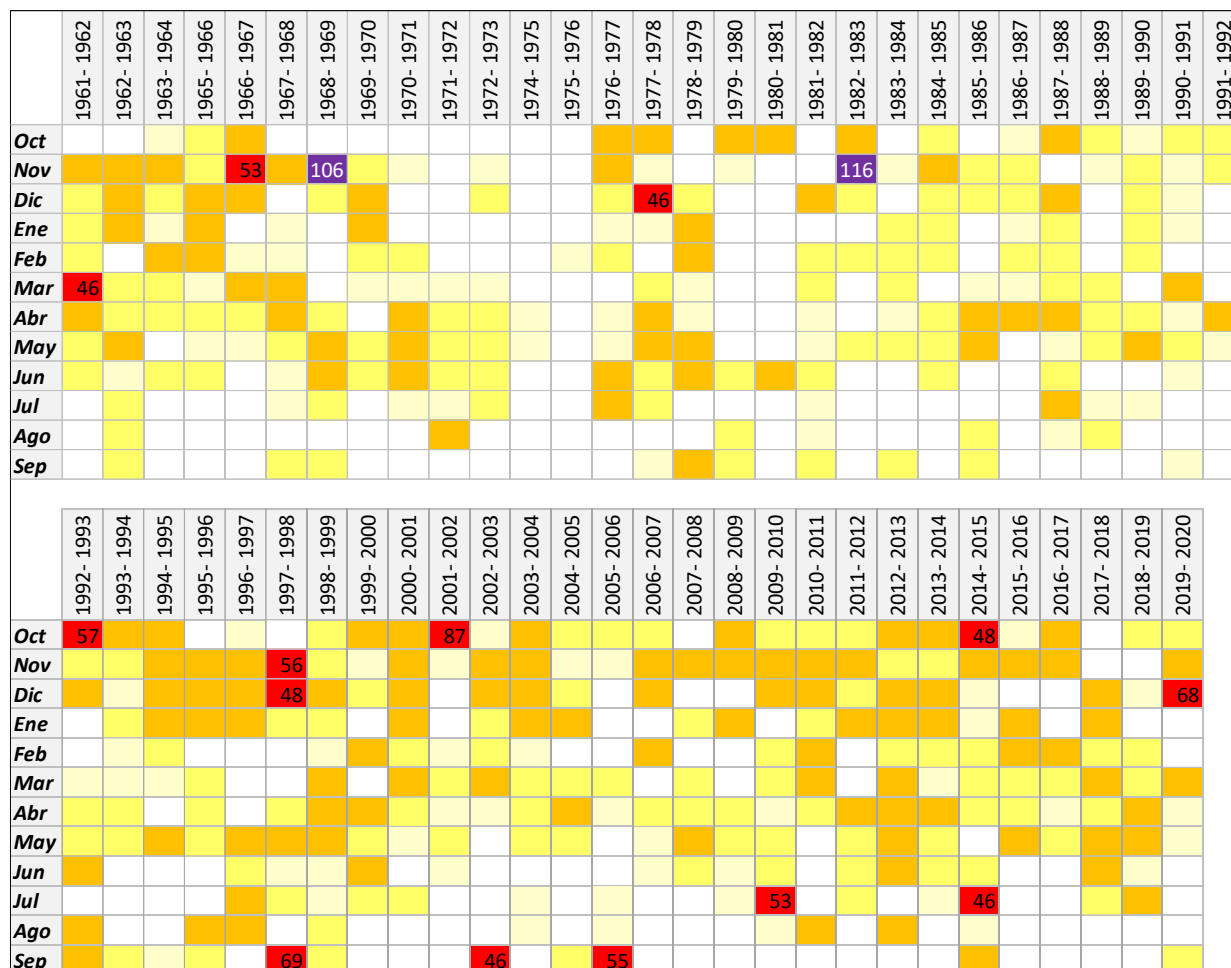


Figura 42. Máximos instantáneos mensuales del río Veral en Zuriza (1961/62-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En esta figura 42 sobre los máximos instantáneos mensuales del caudal del río Veral en Zuriza a lo largo de varios años (de 1961/62 a 2019/20), organizados por mes y año, y siguiendo el mismo patrón que la anterior tabla (figura 41) en cuanto a los colores y la intensidad del caudal máximo, se aprecia que estos máximos instantáneos más altos suelen concentrarse en los meses de otoño (septiembre, octubre, noviembre, e incluso diciembre). Estos máximos de deben principalmente a las lluvias producidas en estos meses de otoño, a las que también podrían sumarse nevadas y deshielos tempranos.

Destacar los máximos instantáneos del año 1968-1969 y 1983-1984, ambos en el mes de noviembre y superando el módulo del río 50 veces (valor de 106 y 116 respectivamente).

Se resalta también por otro lado la poca cantidad de eventos de crecida en los años 1974-1975 y 1975-1976, aunque en general en el periodo de tiempo estudiado en esta área se hallan una gran cantidad de crecidas, las cuales incluso van en aumento, sobre todo las crecidas que superan el módulo del caudal del río Veral en Zuriza por 10.

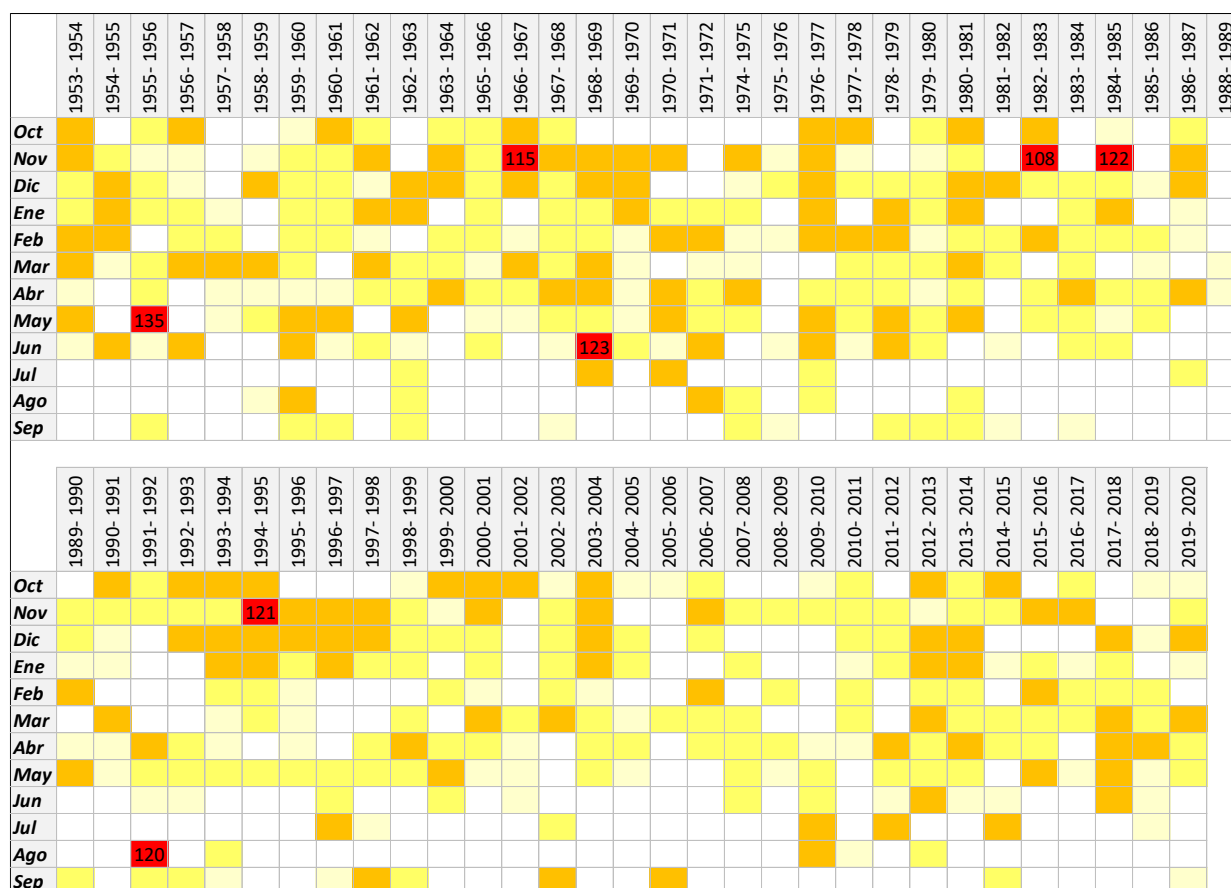


Figura 43. Máximos instantáneos mensuales del río Veral en Biniés (1953/54-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En esta figura 43 sobre los máximos instantáneos mensuales, también del caudal del río Veral, pero esta vez en Biniés, a lo largo del periodo de tiempo de 1953/54 a 2019/20, se consideran los meses de octubre, noviembre y diciembre aquellos con los máximos instantáneos más altos, y en menor medida los meses de mayo y junio. Estos máximos se deben principalmente a las lluvias producidas en los meses de otoño y, por otro lado, las precipitaciones en estado líquido en los meses de primavera y el deshielo de nieve almacenado en las zonas de alta montaña.

Se enfatiza la abundancia de máximos instantáneos mensuales que suponen crecida en general en el periodo de tiempo estudiado en esta zona, y se puede comprobar que la dinámica es similar en el tiempo.

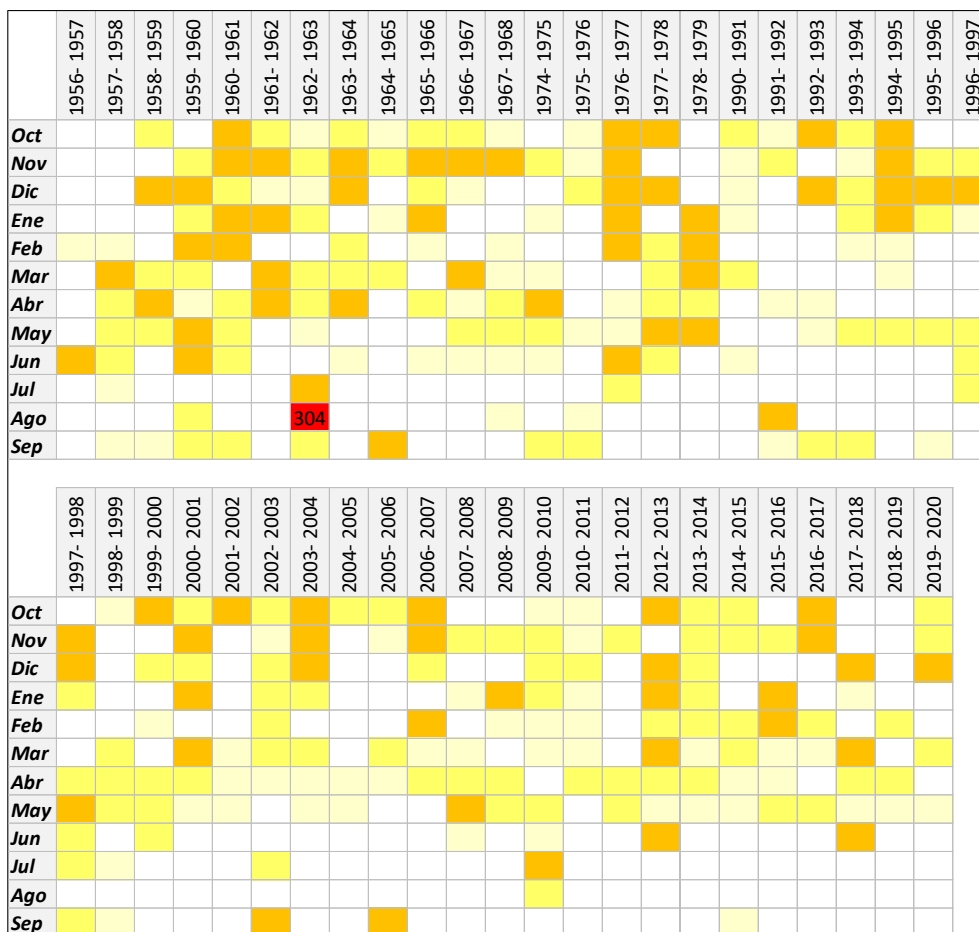


Figura 44. Máximos instantáneos mensuales del río Aragón Subordán en Javierregay (1956/57-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En relación a esta figura 44, también sobre los máximos instantáneos mensuales del caudal del río Aragón Subordán en Javierregay en un periodo de tiempo determinado (1956/57-2019/20), se examina que los máximos instantáneos más elevados se concentran en su mayoría en los meses de otoño como en las anteriores, debido a las abundantes lluvias de otoño, a las que pudieran añadirse nevadas y fusión tempranas. En cambio, destacar que el valor más alto se encuentra en el mes de agosto (304, siendo el módulo del río 25 veces superior). Por lo general los meses de verano se ven pocos máximos instantáneos, y la dinámica de estos es muy parecida a lo largo de los años.

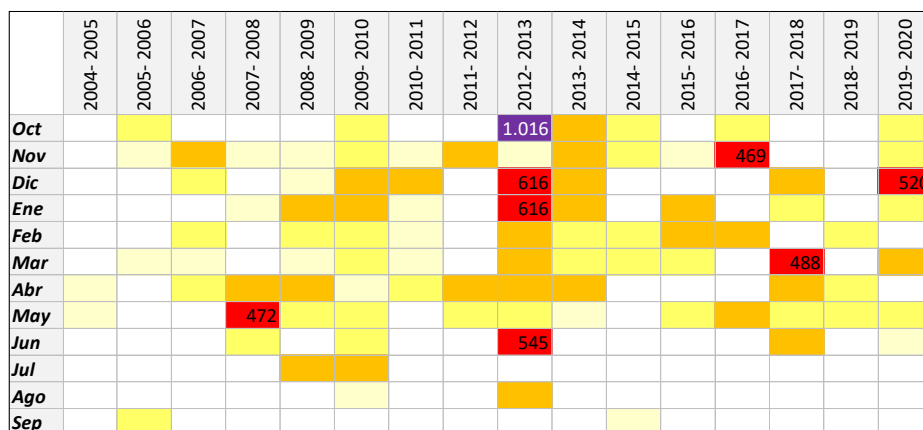


Figura 45. Máximos instantáneos mensuales del río Aragón en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En la figura 45, al igual que las anteriores, se identifican los máximos instantáneos mensuales, pero esta vez del río Aragón en Martes desde 2004/05 hasta 2019/20, destacando varios picos significativos.

Se observa que la crecida más notable se produce en octubre de 2012-2013, siendo el máximo valor 1016, superando 50 veces el módulo del caudal. Principalmente la mayoría de los valores más elevados se concentran en los meses de otoño e invierno, reflejando la influencia de factores climáticos estacionales. Además, los meses de verano presentan menor actividad, lo que es consistente con los patrones típicos de deshielo y precipitaciones en la región, aunque otros picos destacados incluyen mayo de 2007-2008 (472) y junio de 2012-2013 (545).

Por último, mencionar que llama la atención el año de 2012-2013, con unos datos muy elevados de máximos instantáneos en prácticamente todos los meses.

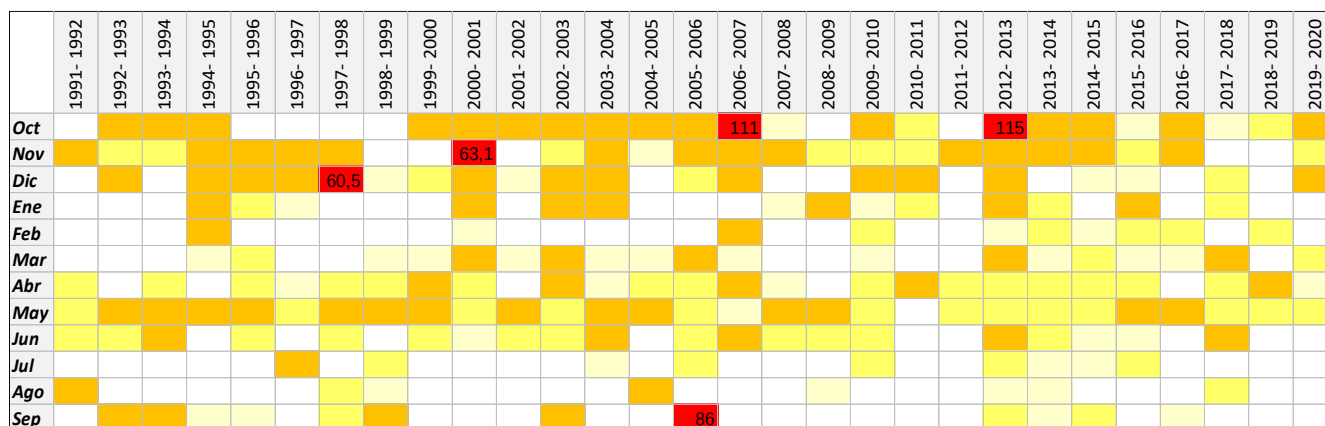


Figura 46. Máximos instantáneos mensuales del río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En cuanto a esta figura 46, también sobre los máximos instantáneos mensuales, del caudal del río Aragón Canfranc en un periodo de tiempo concreto (1991/92-2019/20), se analiza que los máximos instantáneos más altos se concentran en su mayoría en los meses de otoño (septiembre, octubre, noviembre e incluso diciembre) como en las anteriores, debido a las abundantes lluvias de otoño. También mencionar la abundancia de máximos instantáneos mensuales en mayo, pero de menor intensidad, por el deshielo. Los meses de verano (julio y agosto) se ven pocos máximos instantáneos.

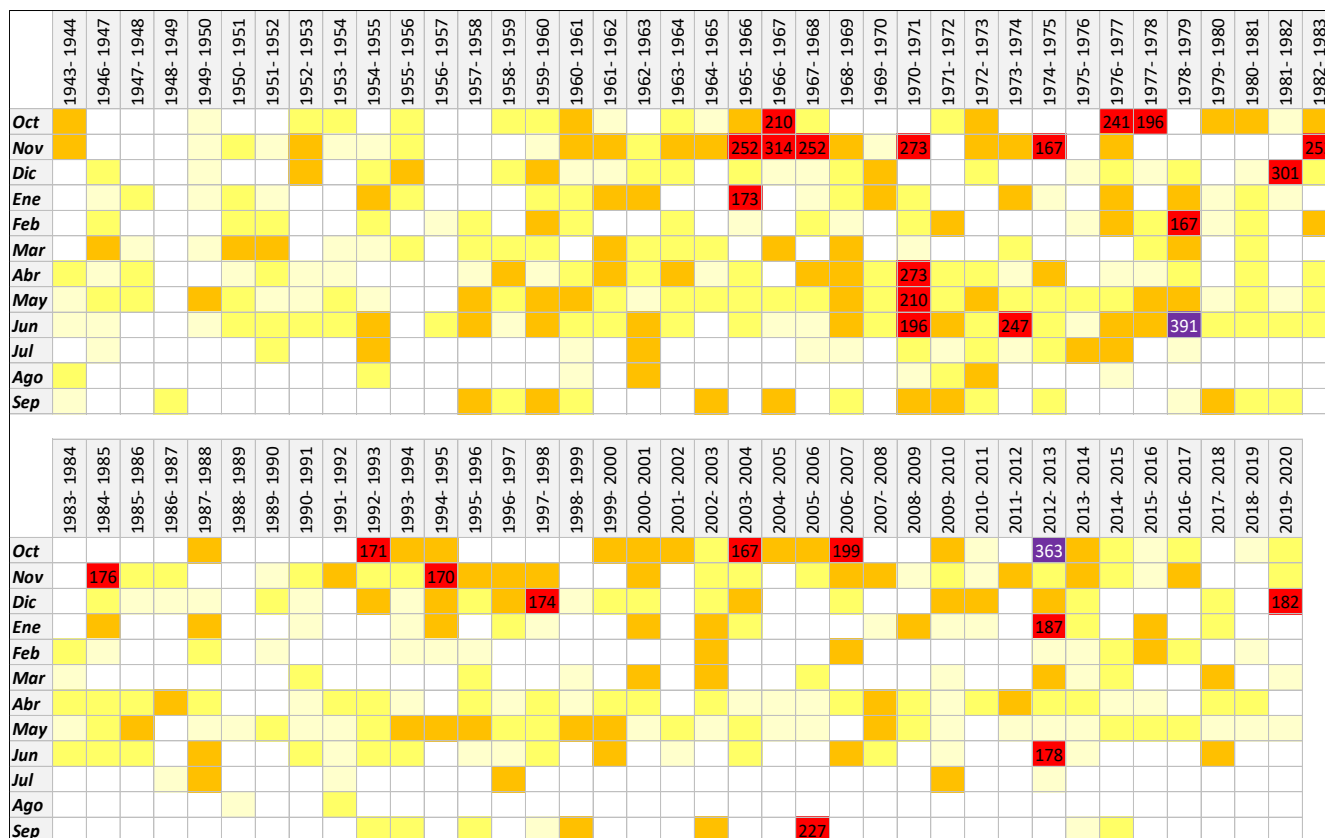


Figura 47. Máximos instantáneos mensuales del río Aragón en Jaca (1943/44-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

La figura 47 muestra los máximos instantáneos mensuales del caudal del río Aragón en Jaca a lo largo de los años 1943/44-2019/20. Se nota que los máximos instantáneos más elevados se concentran en los meses de otoño principalmente (octubre y noviembre) y también en los meses de primavera (de abril a junio), aunque también hay picos notables en otras partes del año. Esto se relaciona con lo ya comentado en los otros párrafos, las lluvias de otoño y primavera y el deshielo, de hecho, los valores más altos se identifican en junio de 1978-1979 (391) y en octubre de 2012-2013 (363), ambos datos superando el módulo del río Aragón en Jaca 50 veces, es decir, una gran intensidad de los eventos de crecida.

Se experimentan variaciones significativas en el caudal, con eventos de crecidas que pueden ocurrir en distintos meses, pero con una mayor frecuencia en otoño y primavera, y con una dinámica general más o menos parecida a lo largo de la franja temporal.

A la vista de todas estas figuras, se ve algo significativo, y es que hay épocas en las que hay bastantes más crecidas que en otras, en cambio, hay meses en los que el río apenas tiene crecidas. Curiosamente si estuviéramos en el ámbito mediterráneo serían meses en los que hay crecidas muy intensas con tormentas de verano y, sin embargo, en estos ríos no aparecen prácticamente como se ha podido comprobar. También el hecho de que haya meses donde son más numerosas las crecidas importantes que otras, por ejemplo, en los meses de primavera, es decir, en la época que teóricamente hay retención nival, cuando viene temperatura buena y ha habido nieve, pues se producen esas crecidas de más intensidad, o, en la época del deshielo, que es otro de los conjuntos existentes. Esto son el tipo de cosas que se visualizan bien en este tipo de tablas. Mencionar para finalizar este apartado, que, de cara a la presentación, lo que se ha hecho es partir cada una de las tablas en dos si era necesario para conseguir una mejor visualización.

Una vez comentadas las tablas elaboradas sobre el caudal medio diario, por intensidad (figuras de la 34 a las 40) y en relación a estas, para observar mejor los resultados, se han pasado los datos a gráficas de tipo “columna apilada”, pudiendo ver así mejor el número de días que superan los umbrales de crecida mensuales en cada una de las estaciones de aforo trabajadas en este documento (ver figuras de la 48 a la 54).

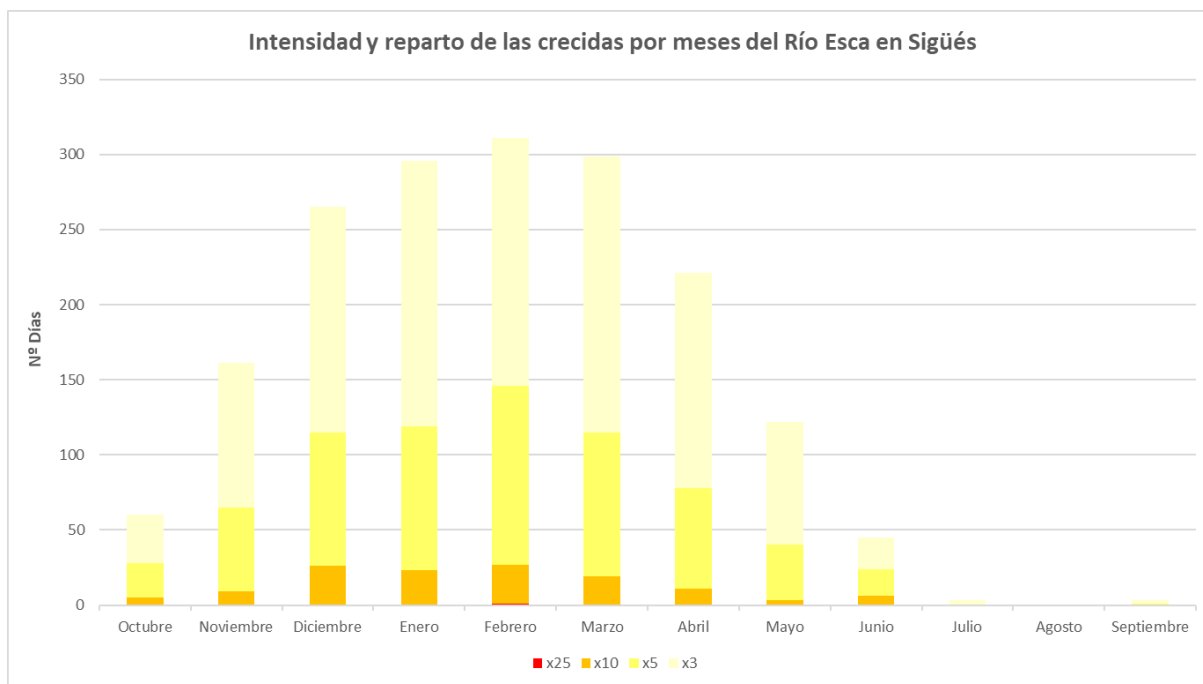


Figura 48. Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Sigüés entre 1930/31 y 2019/20. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

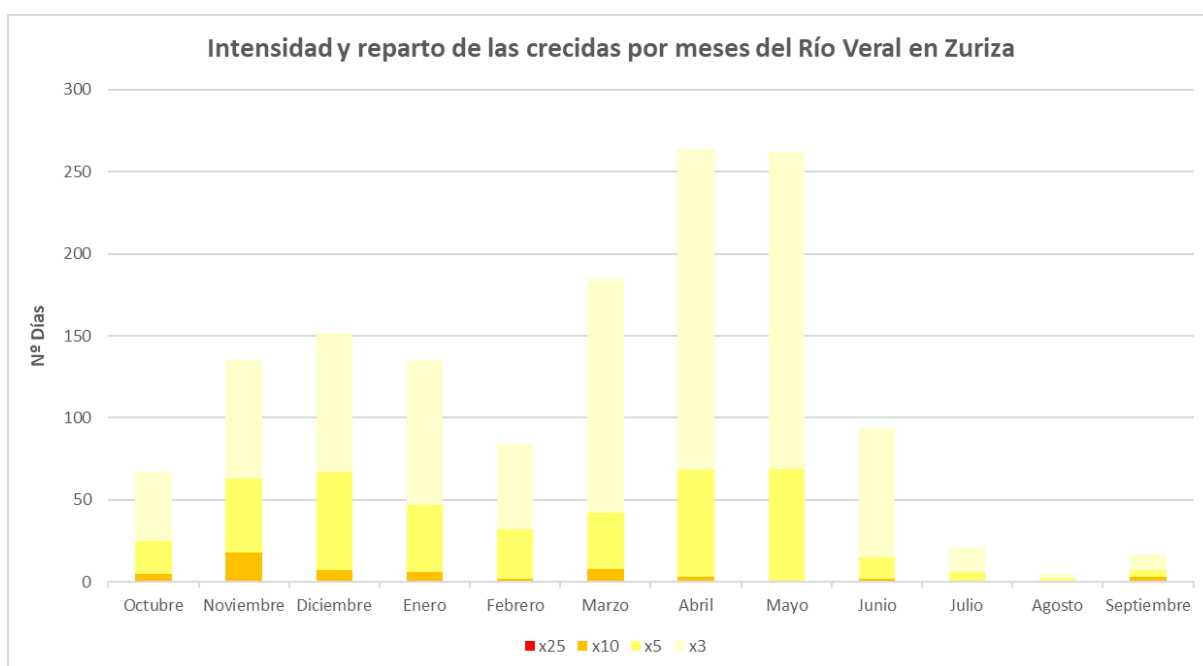


Figura 49. Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Zuriza entre 1933/34 y 2019/20. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

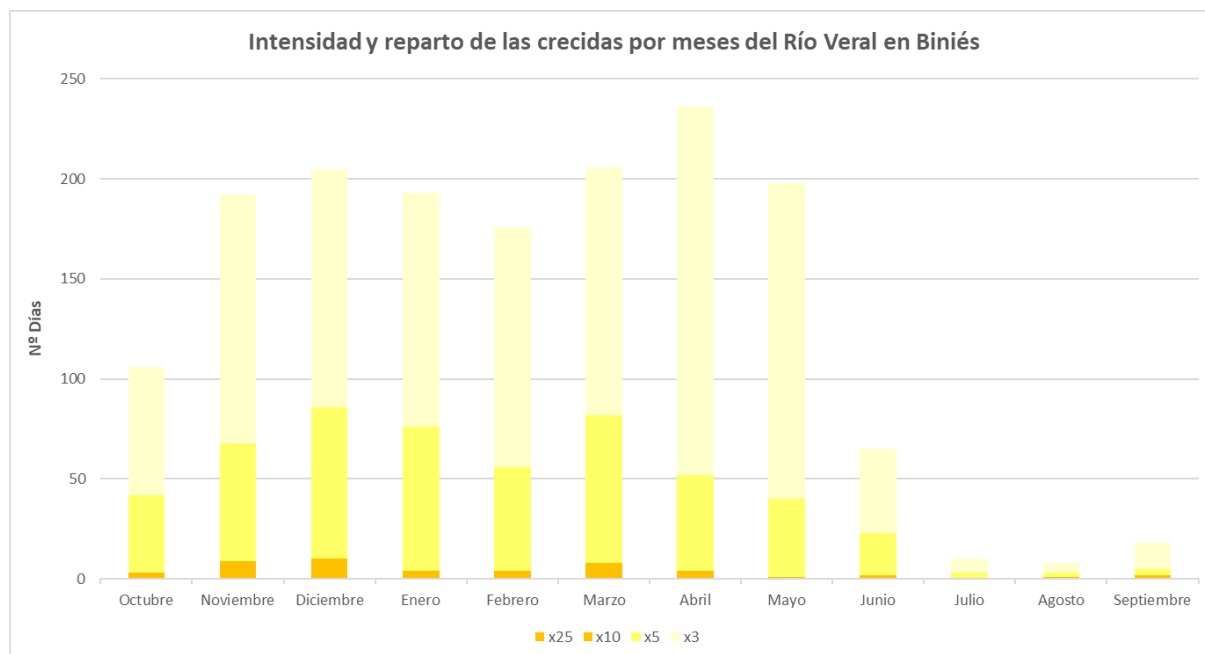


Figura 50. Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Biniés entre 1931/32 y 2019/20.
Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

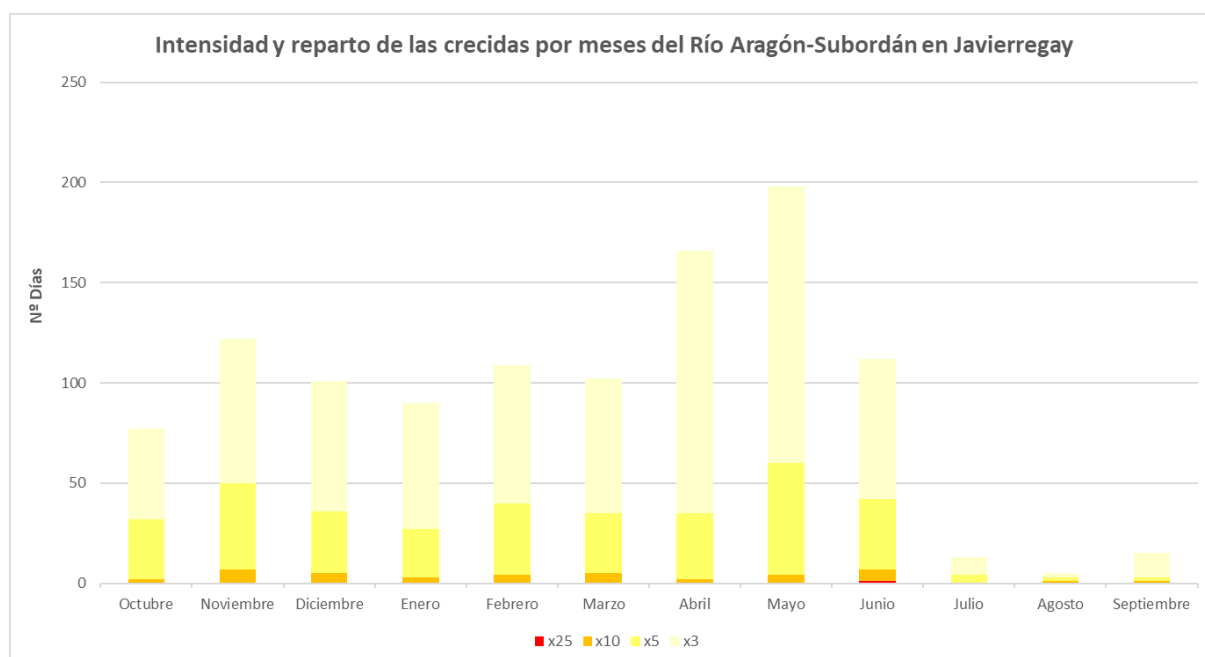


Figura 51. Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Javierregay entre 1955/56 y 2019/20.
Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

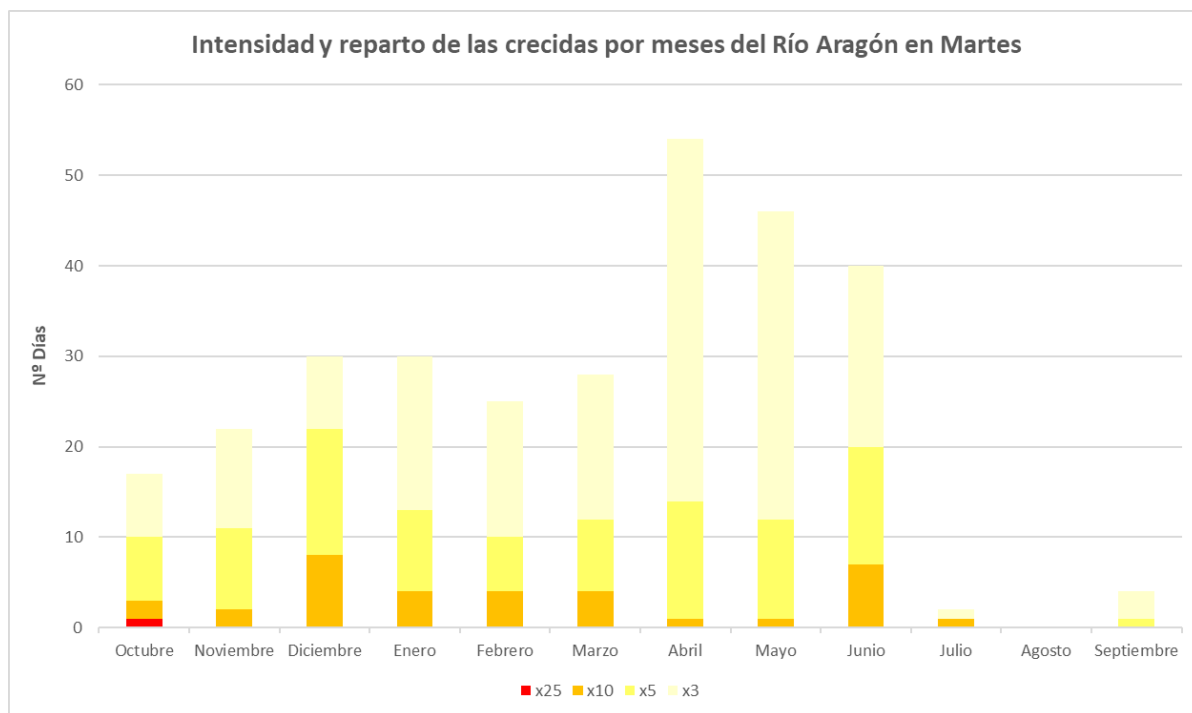


Figura 52. Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Martes entre 2004/05 y 2019/20. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

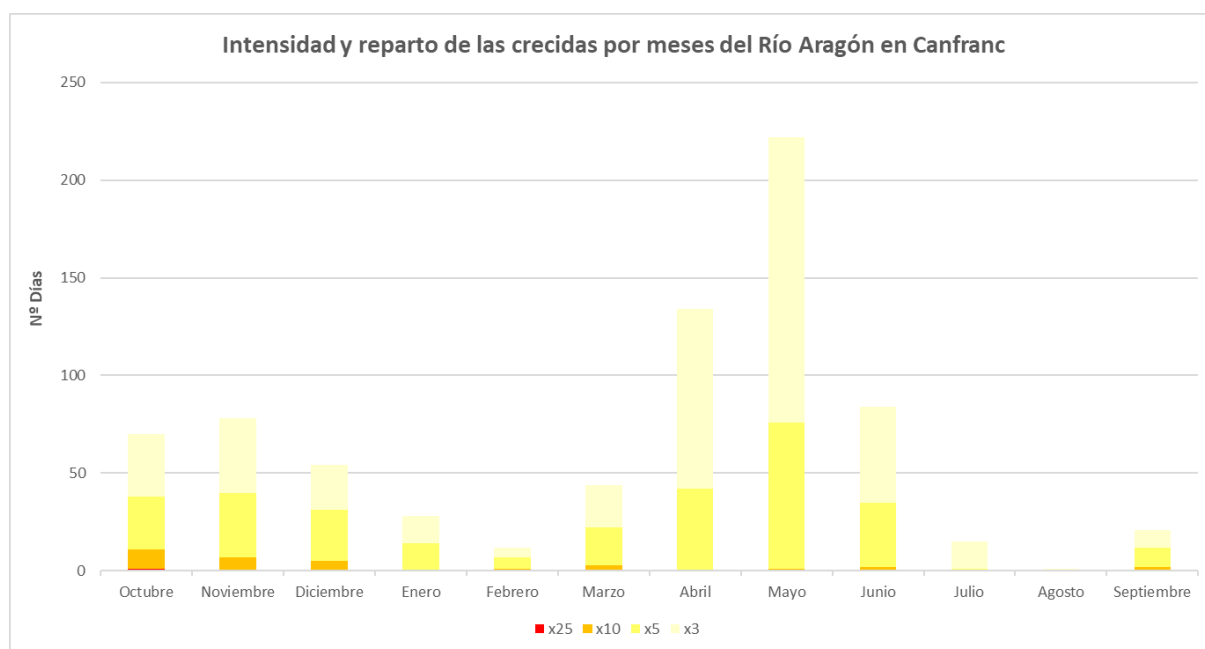


Figura 53. Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Canfranc entre 1991/92 y 2019/20. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

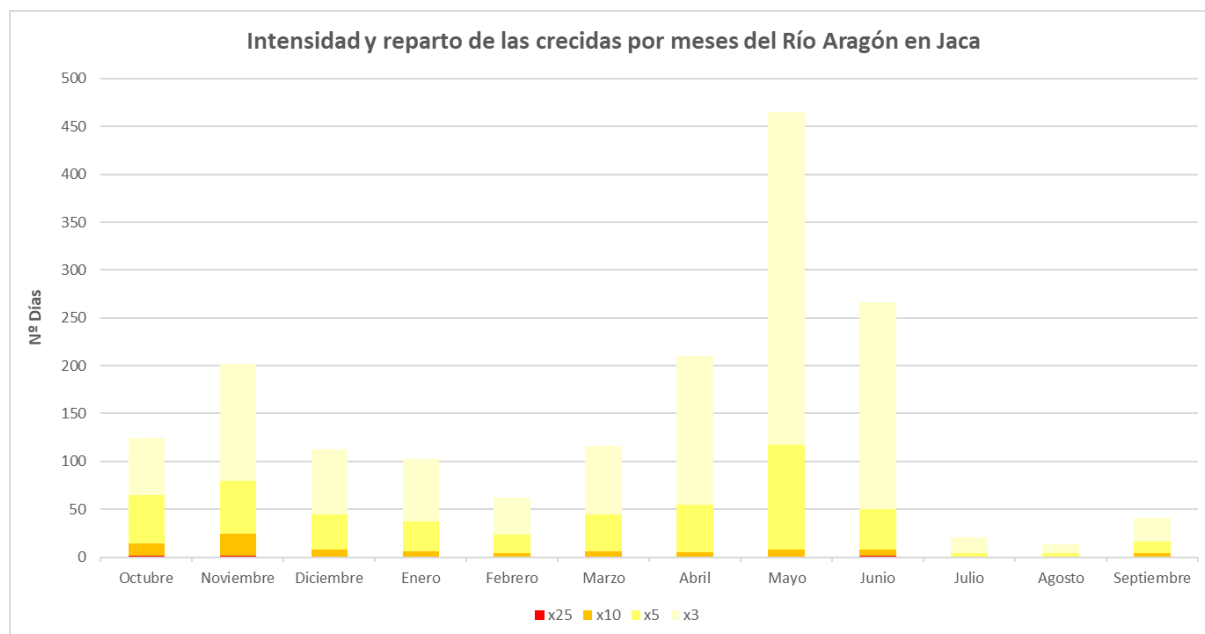


Figura 54. Número de días que superan umbrales de crecida mensuales en Jaca entre 1930/31 y 2019/20.

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

9.3. Reparto de las crecidas por meses.

Fijándose en las figuras del apartado anterior (de la 48 a la 54) sobre el porcentaje del número de días que superan los umbrales de crecidas mensuales en cada una de las estaciones de aforo en la subcuenca del Alto Aragón, y con las siguientes que se proponen (de la 55 a las 61), donde también se observan el porcentaje de los días de crecida registradas en la zona de estudio y su distribución temporal por meses, se pueden sacar algunas conclusiones analizándolas.

En primer lugar, se observa una existencia de un número de días de crecida en mayor medida en los meses de primavera, entre abril y junio, siendo mayo el mes con mayor abundancia de estas crecidas en prácticamente todas las estaciones de aforo. Esto se relaciona con las precipitaciones en forma de lluvia en los meses de primavera y también por el deshielo de la nieve acumulada en las zonas altas durante el invierno. Cabe destacar la excepción de la estación de aforo de Sigüés en el río Esca, donde se encuentra un mayor número de crecidas en el mes de febrero, y esto se podría decir que es por la mayor influencia oceánica de esta.

Por otro lado, los meses de octubre a diciembre comprenden los segundos máximos de número de días de crecida, principalmente en noviembre. Estos eventos se deben a las lluvias de los meses de otoño. En ocasiones las nevadas tempranas y su posterior deshielo contribuyen también de manera significativa a estas crecidas otoñales.

En segundo lugar, en todas las estaciones de aforo coincide que los meses de verano son los que albergan un menor número de crecidas, entre los meses de julio y septiembre, resaltando el mes de agosto, en el que en muchas de las estaciones el porcentaje del número de días de crecidas es del 0% o prácticamente. Esto es consecuencia especialmente por las altas temperaturas.

Como segundo grupo de meses con un bajo número de días de crecida está el de los meses de invierno (excepto en la estación de aforo de Sigüés en el río Esca por esa influencia más oceánica como ya se mencionado durante el trabajo). Los meses de enero y febrero aportan menor agua al caudal de estos ríos de alta montaña debido a que esta se encuentra en muchas ocasiones en estado sólido.

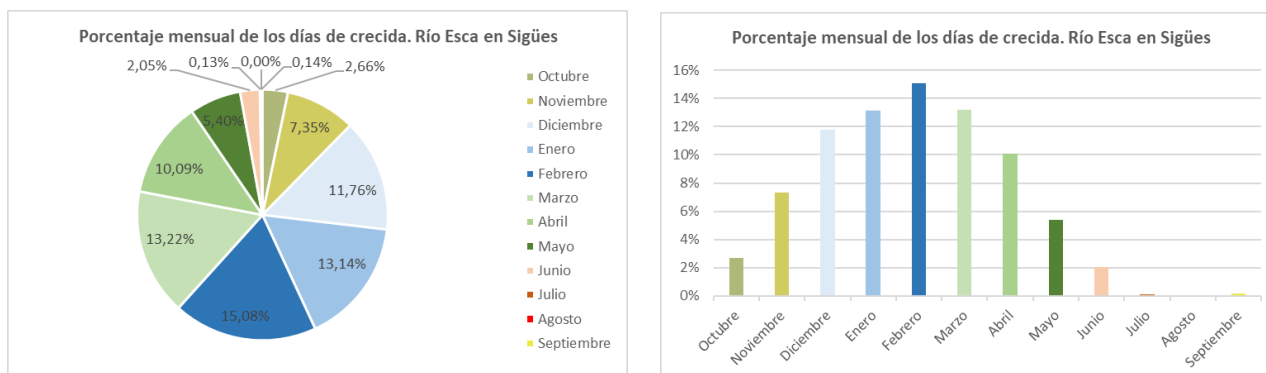


Figura 55. Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Meses	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Días de crecida	60	161	265	296	311	299	221	122	45	3	0	3
Total días	2255	2190	2253	2253	2062	2261	2190	2259	2190	2263	2263	2188
%	2,66%	7,35%	11,76%	13,14%	15,08%	13,22%	10,09%	5,40%	2,05%	0,13%	0,00%	0,14%

Tabla 33. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Esca en Sigüés (1930/31-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

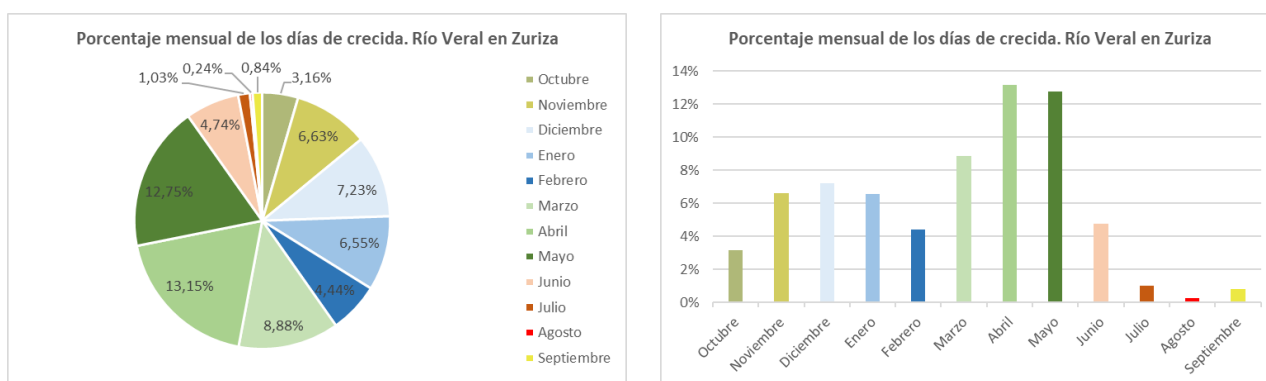


Figura 56. Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Meses	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Días de crecida	67	135	152	135	84	185	264	262	94	21	5	17
Total días	2120	2036	2102	2061	1893	2084	2007	2055	1983	2046	2062	2028
%	3,16%	6,63%	7,23%	6,55%	4,44%	8,88%	13,15%	12,75%	4,74%	1,03%	0,24%	0,84%

Tabla 34. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Veral en Zuriza (1933/34-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

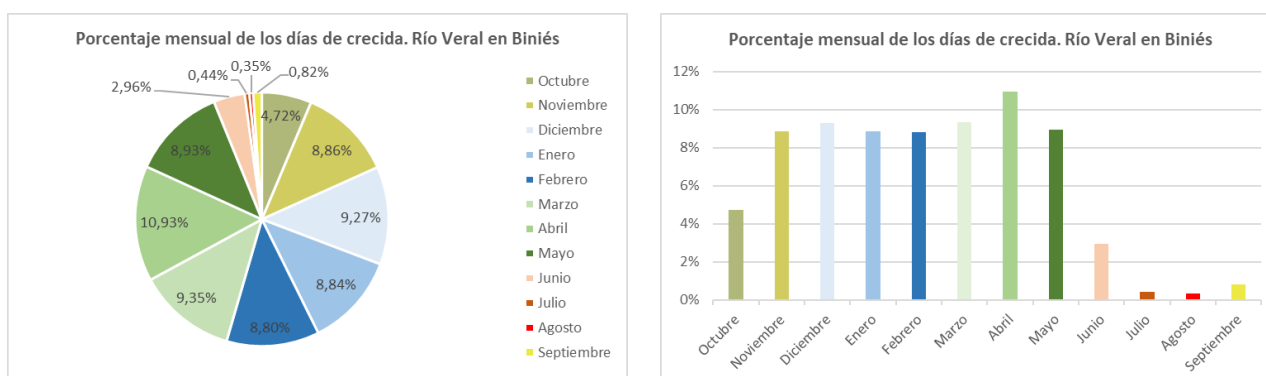


Figura 57. Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Veral en Biniés (1931/32-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Meses	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Días de crecida	106	192	205	193	176	206	236	198	65	10	8	18
Total días	2246	2166	2212	2183	2000	2203	2159	2217	2193	2249	2262	2185
%	4,72%	8,86%	9,27%	8,84%	8,80%	9,35%	10,93%	8,93%	2,96%	0,44%	0,35%	0,82%

Tabla 35. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Veral en Biniés (1931/32-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

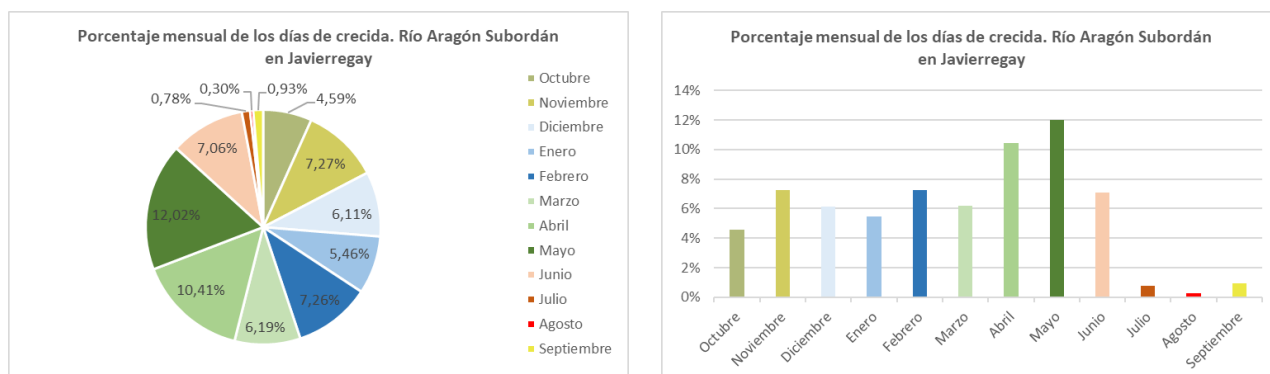


Figura 58. Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Meses	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Días de crecida	77	122	101	90	109	102	166	198	112	13	5	15
Total días	1678	1678	1652	1647	1502	1647	1594	1647	1586	1671	1666	1613
%	4,59%	7,27%	6,11%	5,46%	7,26%	6,19%	10,41%	12,02%	7,06%	0,78%	0,30%	0,93%

Tabla 36. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón Subordán en Javierregay (1955/56-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

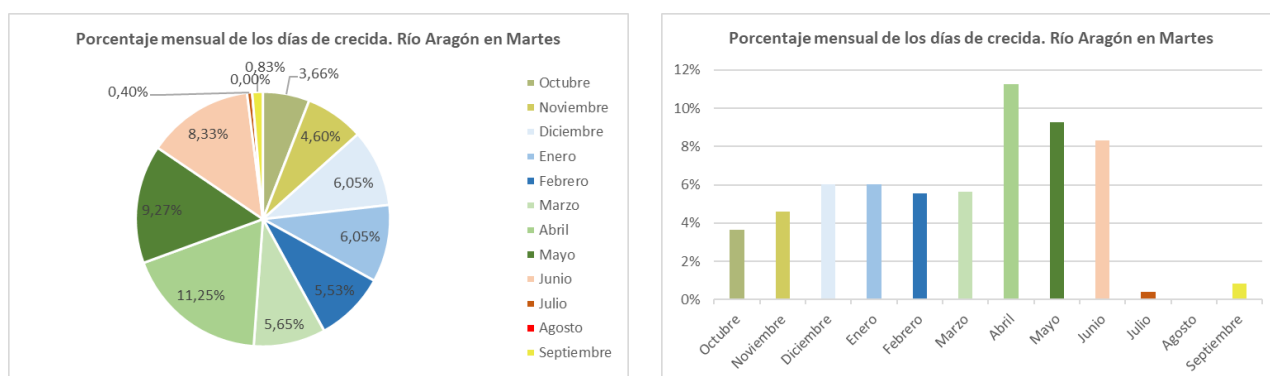


Figura 59. Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Martes (2004/05-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Meses	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Días de crecida	17	22	30	30	25	28	54	46	40	2	0	4
Total días	465	478	496	496	452	496	480	496	480	496	496	480
%	3,66%	4,60%	6,05%	6,05%	5,53%	5,65%	11,25%	9,27%	8,33%	0,40%	0,00%	0,83%

Tabla 37. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Martes (2004/05-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

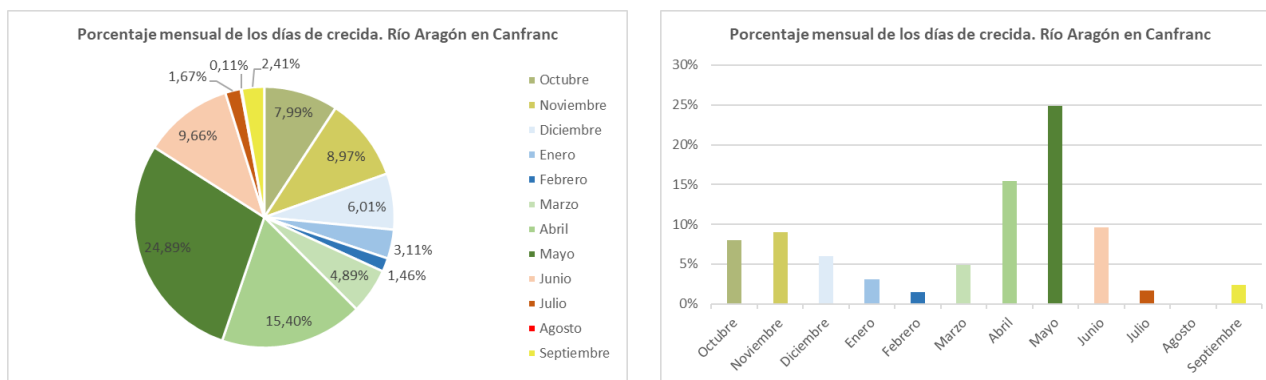


Figura 60. Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Meses	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Días de crecida	70	78	54	28	12	44	134	222	84	15	1	21
Total días	876	870	899	899	820	899	870	892	870	899	899	870
%	7,99%	8,97%	6,01%	3,11%	1,46%	4,89%	15,40%	24,89%	9,66%	1,67%	0,11%	2,41%

Tabla 38. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Canfranc (1991/92-2019/20). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

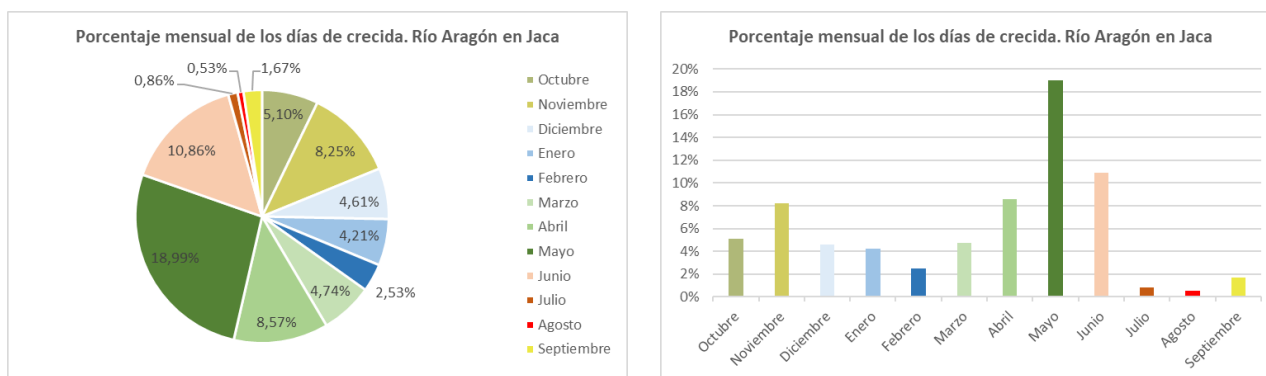


Figura 61. Porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Meses	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Días de crecida	125	202	113	103	62	116	210	465	266	21	13	41
Total días	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449	2449
%	5,10%	8,25%	4,61%	4,21%	2,53%	4,74%	8,57%	18,99%	10,86%	0,86%	0,53%	1,67%

Tabla 39. Tabla con el porcentaje mensual del número de días de crecidas en el río Aragón en Jaca (1930/31-2019/20).

Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Es importante resaltar la no correlación entre las crecidas de mayor intensidad (x25), que se encuentran principalmente en los meses de octubre, noviembre y diciembre grosso modo, como se ve en las figuras de la 48 a la 54, con los meses con mayor número de días de crecida en abril, mayo y junio, tal y como se percibe en las figuras recién comentadas de la 55 a la 61. Relacionado a este tema, se ve que las crecidas que ocurren durante la primavera no son tan intensas como las de otoño. Esto se debe a que las crecidas resultantes del deshielo de la nieve suelen ser menos abruptas y más predecibles, según Lozano, M. (2017).

Para finalizar este apartado del reparto del número de días de crecidas por meses, observando las tablas del anterior apartado sobre los máximos instantáneos mensuales (figuras de la 41 a la 47), vemos que la distribución del número de días de crecidas en las siete estaciones de aforo a rasgos generales la dinámica es más o menos igual que la mostrada a partir de los datos de caudal medio diario.

9.4. Tipología de las crecidas.

Después de revisar la gran cantidad de días de crecida registrados en la subcuenca del Alto Aragón y su distribución temporal, se procede a analizarlas en mayor profundidad. Esto permitirá tratar de identificar la presencia de varios tipos de crecidas, según las características de su dinámica.

Así pues, para este apartado, se ha escogido una serie de crecidas de cada subcuenca estudiada y se han analizado, por tanto, eventos de crecida de cada uno de los cuatro ríos (río Esca, río Veral, río Aragón Subordán y río Aragón) que incluyen las siete estaciones de aforo examinadas (Sigüés, Zuriza, Biniés, Javierregay, Martes, Canfranc y Jaca). A partir de la siguiente página se muestran las diferentes crecidas escogidas y estudiadas de Oeste a Este, analizando primero las crecidas del río Esca, luego las crecidas del río Veral, después las del Río Aragón Subordán y, por último, las crecidas del río Aragón.

Se han seleccionado una gran cantidad de eventos de crecida en las que se ha visto que el pico alcanzaba diferentes intensidades y en las que, además, se veían que en unos casos afectaban a la totalidad de los ríos de la subcuenca hidrográfica del Alto Aragón (ver apartado 9.4.5.) o solamente a algunos de ellos, para intentar diversificar los casos de estudio. El objetivo que se persigue con el análisis de casos individuales es más tarde intentar llegar a una tipología de crecidas, y a su vez, poder sacar unas conclusiones generales.

En primer lugar, se ha hecho una descripción inicial de las crecidas por subcuencas. Se ha visto que para cada una de estas subcuencas hay un número relativamente aceptable e incluso elevado, y en vez de describir cada hidrograma de crecida examinado individualmente, ya que sería muy reiterativo, se ha hecho una descripción genérica del conjunto de los eventos de crecida que se han estudiado por subcuencas. Se ha dejado para lo último el análisis de la subcuenca del Aragón, ya que incluye Martes, que recoge los caudales que circulan por todas las demás. Debido a esto, tal y como se ha mencionado en el segundo párrafo de este apartado, ha sido interesante comenzar la descripción, en lugar de lo que parece más lógico (por la cabecera del río Aragón), se ha empezado desde el Oeste con el río Esca en Sigüés hasta el Este con el río Aragón en Martes, Canfranc y Jaca. Se ha hecho una descripción entonces de las crecidas en cada una de las subcuencas del Alto Aragón, sin intentar definir tipologías al principio, sino muy descriptiva. Luego con el análisis obtenido de algunas crecidas en las distintas subcuencas se ha hecho una recopilación de todas ellas, y al final se ha terminado ese apartado estableciendo unas tipologías. Para la realización de este apartado se ha apoyado en cierta bibliografía como García Ruiz et al. (2001), autores que estudiaron las crecidas de los ríos del Pirineo aragonés.

Antes de abordar el estudio de cada una de las gráficas escogidas, analizar las posibles tipologías según los hidrogramas de crecida y llegar a ciertas conclusiones, se considera esencial clarificar algunos conceptos sobre las partes de un hidrograma. La curva de ascenso se presenta al inicio de la crecida (parte donde se nota que el caudal de un río aumenta), caracterizada por un rápido aumento del caudal en muchos casos, y en otros por ser más alargada en el tiempo (pudiendo estar “escalonada” como se verá con algunos ejemplos). El pico o cresta es el punto de inflexión en el que se encuentra el instante en que se alcanza el caudal máximo, y tras el cual comienza a disminuir. Desde ese punto, se inicia la curva de descenso, que puede ser más larga que la de ascenso o realizarse de manera brusca, es decir, muy rápidamente. Finalmente, la curva de agotamiento sigue a la de descenso, con una pendiente menor, y habitualmente se extiende más, hasta que el río regresa a sus niveles normales de caudal.

Se han estudiado 85 eventos de crecida para la realización correcta de este apartado, de las muchas constatadas en las largas series de datos trabajadas. Inicialmente se planteó el estudio de 50 crecidas diferentes, pero cuando se empezaron a seleccionar, se alargó más la selección y se decidió abordarlas todas.

Estaciones Aforo	ESCA-SIGÜÉS	VERAL-ZURIZA	VERAL-BINIÉS	SUBORDÁN-JAVIERREGAY	ARAGÓN-MARTES	ARAGÓN-CANFRANC	ARAGÓN-JACA
Nº. Eventos de Crecida	490	399	480	288	73	172	455

Tabla 40. Número de eventos de crecida registrado en las diferentes estaciones de aforo. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

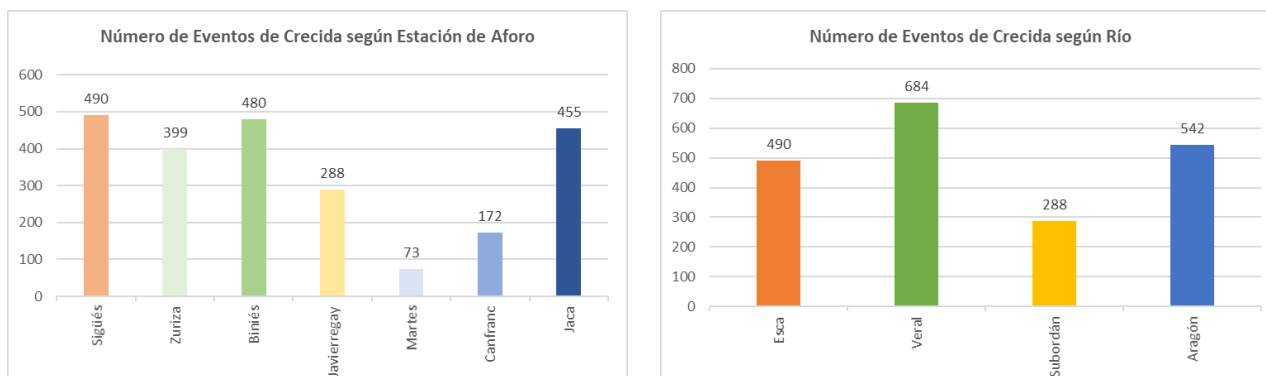


Figura 62. Número de eventos de crecida según estación de aforo (izda.) y según río (dcha.). Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla 40 y la figura 62 el número de crecidas registradas en la mayor parte de los aforos analizados es muy elevado. Sin duda, esto está asociado a que nos encontramos en cabeceras de ríos de montaña, donde frecuentemente se registran precipitaciones abundantes. Las cifras absolutas de eventos de crecida guardan relación con el número de años con datos disponibles. Así, esos números por encima o próximos a los 400 eventos de crecida se asocian a estaciones de aforo con unos 90 años de registros y los menores a aforos con series temporales sensiblemente más cortas. Relacionando el número de episodios constatados con la cantidad de años de las series temporales disponibles, en todas las estaciones de aforo se observa que, estadísticamente, cada año se registran en torno a 5 episodios de crecida.

A nivel de subcuencas la cantidad de crecidas, como no podía ser de otro modo, también es muy elevado. Muy destacables esos 684 episodios de crecida registrados en el Veral, pero también los 542 del alto Aragón y los 490 constatados en el río Esca. En estas tres subcuencas alguna de las estaciones de aforo tiene una serie histórica de 90 años. El número de crecidas apreciadas en el Aragón Subordán es menor dado que la serie de datos instrumentales, siendo larga, se reduce a 65 años.

9.4.1. Río Esca.

El análisis de las crecidas del río Esca en Sigüés a lo largo del periodo 1930/31-2019/20, basado en las gráficas estudiadas (figuras 63-66), revela una variedad de eventos de crecida con características distintas en términos de picos de caudal, duración y temporalidad entre otros factores. Estos hidrogramas de crecida muestran cómo el caudal del río Esca aumenta y disminuye durante estos eventos concretos seleccionados, proporcionando una visión genérica de los patrones de crecida que se han registrado.

En general, se observan crecidas con incrementos rápidos y picos pronunciados, que suelen ocurrir en un corto período de tiempo. Estos eventos están caracterizados por una subida abrupta del caudal, alcanzando su máximo en pocos días y luego disminuyendo de manera gradual. Estos patrones son típicos de crecidas torrenciales, que suelen ser provocadas por lluvias intensas y concentradas. Estas crecidas torrenciales se destacan por su capacidad de causar inundaciones rápidas y severas, presentando un alto riesgo para las infraestructuras y las personas debido a su imprevisibilidad y velocidad.

Por otro lado, también se identifican crecidas con múltiples picos generalmente de menor magnitud que se extienden a lo largo de un periodo más prolongado. Estos eventos sugieren un aumento sostenido del caudal con fluctuaciones intermitentes, generalmente como resultado de lluvias continuas y persistentes en la cuenca del río o bien a deshielos intermitentes o bien a la suma de ambos factores. Este tipo de crecidas, tal y como se podrá apreciar posteriormente, tienden a durar más tiempo y pueden mantener niveles elevados de caudal durante varios días o incluso semanas como es el caso de algunos hidrogramas de crecidas complejos. Aunque menos abruptas que las torrenciales, estas crecidas pueden causar daños significativos debido a la prolongada exposición de las áreas inundadas.

Gracias a esto, los eventos de crecida del río Esca en Sigüés pueden categorizarse en tres tipologías principales y dentro de estos varios subtipos como se verá a la hora de la descripción de cada una de las crecidas seleccionadas. Las crecidas torrenciales, caracterizadas por picos rápidos y altos caudales en corto tiempo, es decir, las crecidas que vamos a denominar simples (ejemplos: crecida del 23/04/1971 y crecida del 25/04/2019); las crecidas que se podrían denominar como mixtas, al tener múltiples picos y una duración más prolongada debido a lluvias persistentes o bien a deshielos intermitentes o bien a la suma de ambas cosas. Dentro de estas, se podrían diferenciar dos subtipos, por una parte, existe una gran cantidad de hidrogramas de crecida con dos picos (ejemplo: crecida del 17/11/1965) y, por otro lado, crecidas con tres picos (ejemplo: crecida 18/10/1980). Por último, crecidas complejas que duran las que más tiempo y tienen una gran cantidad de picos (ejemplos: crecida del 20/03/1931 y crecida del 05/02/1979).

Estas tipologías reflejan la variedad de factores meteorológicos y geográficos que influyen en el comportamiento del río Esca y subrayan la necesidad de estrategias de gestión diversificadas para abordar cada tipo de crecida.

En esta subcuenca del río Esca, como se ve en la tabla 40, se han contabilizado, concretamente en esta subcuenca en la estación de aforo de Sigüés, un total de 490 eventos de crecida en el periodo de tiempo de 1930/31-2019/2020. De esos eventos de crecida se han cogido 24 que se han considerado representativos. En cuanto a las características, como ya se ha mencionado anteriormente, hay existencia de crecidas que duran solamente unos días (figura 63) hasta ver eventos de crecidas que ocupan parte de dos meses diferentes (figura 66), siendo crecidas de alta complejidad, al tener también muchos picos. También se observan crecidas de diferentes intensidades, que superan diferentes valores del módulo (x3, x5, x10...).

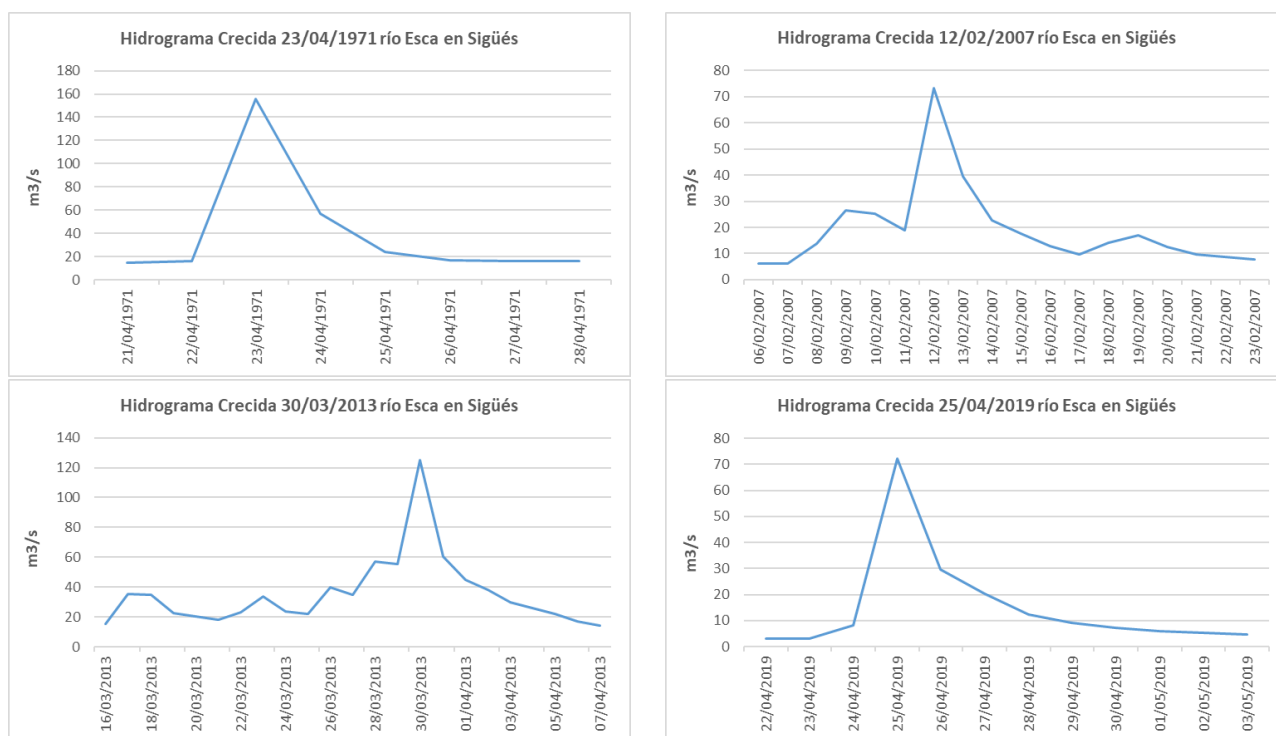


Figura 63. Ejemplos de crecidas cortas (un pico) en el río Esca. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

A través de la figura 63 se puede observar una tipología de crecidas simples, con una evolución muy rápida y con un solo pico. Incluso dentro de esta tipología de crecidas, en los hidrogramas de crecida propuestos se podría diferenciar dos subtipos de crecidas, siendo unas donde se alcanza el pico con una curva de ascenso muy rápida, y luego se produce inmediatamente, de casi forma inmediata, el inicio de la curva de descenso (ejemplo: crecida del 23/04/1971) y, por otro lado, se puede diferenciar una variante de crecidas en las que se aprecia también un ascenso rápido pero más escalonado (ejemplo: crecida del 30/03/2013) hasta llegar al pico principal de la crecida.

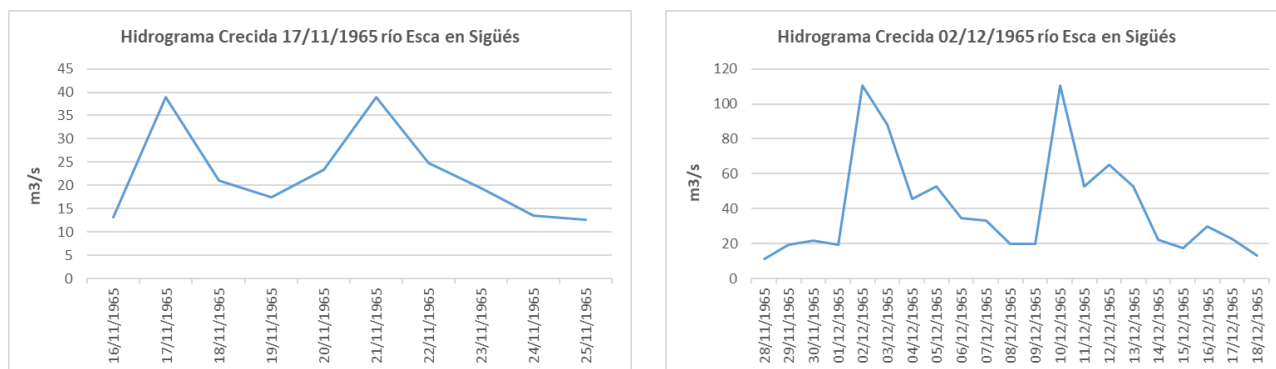


Figura 64. Ejemplos de crecidas con dos picos en el río Esca. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Con esta figura 64 se ve claramente un modelo de crecidas que tiene dos picos, algo más prolongadas en el tiempo y que se pueden apreciar en muchas ocasiones en la subcuenca del Alto Aragón a lo largo del tiempo, por eso se ha creado esta variante con dos picos, que son, además, prácticamente iguales en cuanto a intensidad (ejemplo: crecida del 17/11/1965).

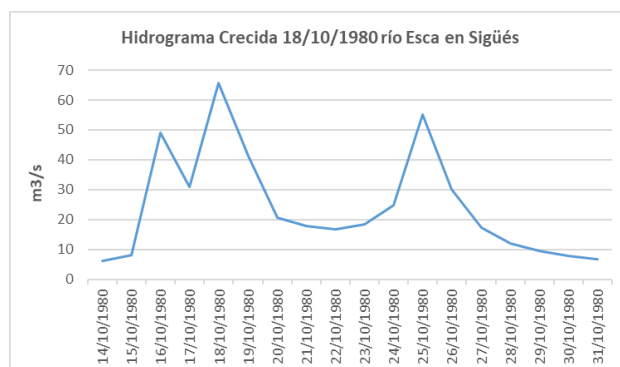
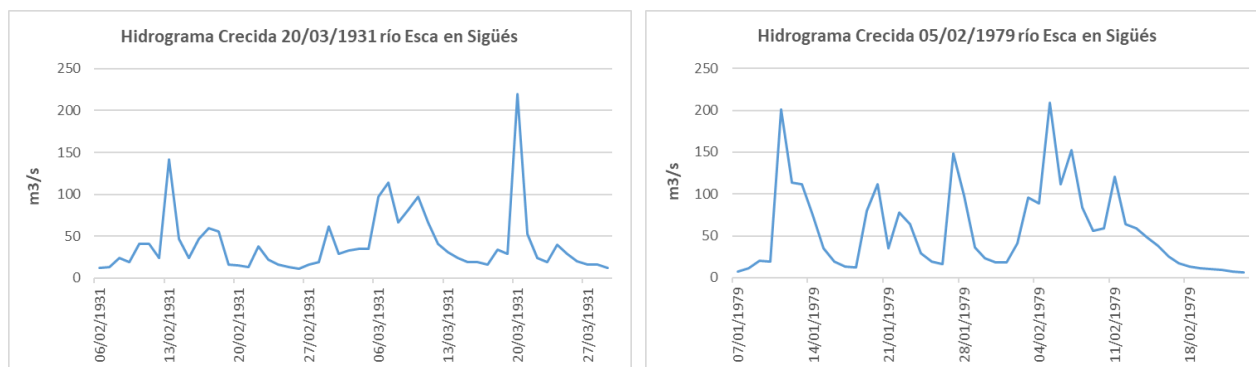


Figura 65. Ejemplo de crecidas con tres picos en el río Esca. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Mencionar también con esta figura 65 una variante de crecida más complicada, con tres picos y producida en el mes de octubre posiblemente por lluvias de otoño, donde se supera el módulo 5 veces en los tres picos existentes (crecida del 18/10/1980). Estos eventos de crecida entonces se pueden diferenciar de los anteriores, no son exactamente iguales, formando así otra variante de crecidas.



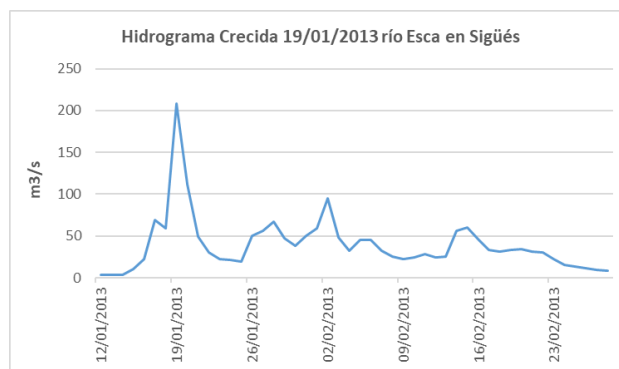


Figura 66. Ejemplos de crecidas largas y complejas (muchos picos) en el río Esca. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Mediante la figura 66 se ve claramente un modelo de crecidas muy complejo con muchos picos, en diferentes estaciones del año y con una clara evolución más larga con respecto a las anteriores tipologías.

9.4.2. Río Veral.

Al igual que en el análisis de las crecidas del río Esca en Sigüés, el estudio de los eventos de crecida en el río Veral en Zuriza y Biniés a lo largo del periodo 1931/32-2019/20 y basado en las gráficas proporcionadas (figuras de la 67 a la 71), revela una gran variedad de eventos de crecida con características diferentes en términos de picos de caudal, duración y temporalidad entre otros factores. Estos hidrogramas de crecida muestran cómo el caudal del río Veral aumenta y disminuye durante estos eventos concretos seleccionados, proporcionando una visión genérica de los patrones de crecida que se han registrado.

En general, se observan crecidas con incrementos rápidos y picos pronunciados, que suelen ocurrir en un corto período de tiempo. Estos eventos están caracterizados por una subida abrupta del caudal, alcanzando su máximo en pocos días y luego disminuyendo de manera gradual. Como ya se ha mencionado, estos patrones son típicos de crecidas torrenciales, que suelen ser provocadas por lluvias intensas y concentradas. Estas crecidas torrenciales se destacan por su capacidad de causar inundaciones rápidas y severas, presentando un alto riesgo debido a su imprevisibilidad y velocidad.

Por otro lado, también se identifican crecidas con múltiples picos generalmente de menor magnitud que se extienden a lo largo de un periodo más prolongado. Estos eventos sugieren un aumento sostenido del caudal con fluctuaciones intermitentes, generalmente como resultado de lluvias continuas y persistentes en la cuenca del río o bien a deshielos intermitentes o bien a la suma de ambos factores. Este tipo de crecidas, tal y como se podrá apreciar posteriormente, tienden a durar más tiempo y pueden mantener niveles elevados de caudal durante varios días o incluso semanas como es el caso de algunos hidrogramas de crecidas complejos. Aunque menos abruptas que las torrenciales, estas crecidas pueden causar daños significativos debido a la prolongada exposición de las áreas inundadas.

Gracias a esto, los eventos de crecida del río Veral en Zuriza y Biniés pueden categorizarse en tres tipologías principales y dentro de estos varios subtipos como se verá a la hora de la descripción de cada una de las crecidas seleccionadas. Las crecidas torrenciales, caracterizadas por picos rápidos y altos caudales en corto tiempo, es decir, las crecidas que hemos denominado simples (ejemplos: crecida del 12/02/2007 y crecida del 19/01/2013); las crecidas que se podrían denominar como mixtas, al tener múltiples picos y una duración más prolongada debido a lluvias persistentes o bien a deshielos intermitentes o bien a la suma de ambas cosas, y, por último, crecidas complejas que duran las que más tiempo y tienen una gran cantidad de picos (ejemplos: crecida del 16/05/1954, crecida del 24/04/1971 y crecida del 04/05/1972). Dentro de las crecidas que hemos llamado mixtas se podrían diferenciar dos subtipos, por una parte, existe una gran cantidad de hidrogramas de crecida con dos picos (ejemplos: crecida del 21/04/2004 y crecida del 20/12/2019) y, por otro lado, crecidas con tres picos (ejemplo: crecida del 28/12/2002) e incluso con cuatro picos en el caso de esta subcuenca (ejemplo: crecida del 17/02/1960).

Estas distintas tipologías reflejan la variedad de factores meteorológicos y geográficos que influyen en el comportamiento del río y subrayan la necesidad de estrategias de gestión para abordarlas.

En esta subcuenca del río Veral, como se ve en la figura 62, se han contabilizado, conjugando las estaciones de aforo de Zuriza y Biniés, un total de 684 eventos de crecida en el periodo de tiempo de 1931/32-2019/20. De esos eventos de crecida se han seleccionado 34 que se han considerado representativos. En cuanto a las características, como ya se ha mencionado anteriormente, hay existencia de crecidas que duran solamente unos días (figura 67) hasta ver eventos de crecidas que ocupan parte de dos meses diferentes (figura 71), siendo crecidas de alta complejidad, al tener también muchos picos. También se observan crecidas de diferentes intensidades, que superan diferentes valores del módulo (x3, x5, x10...).

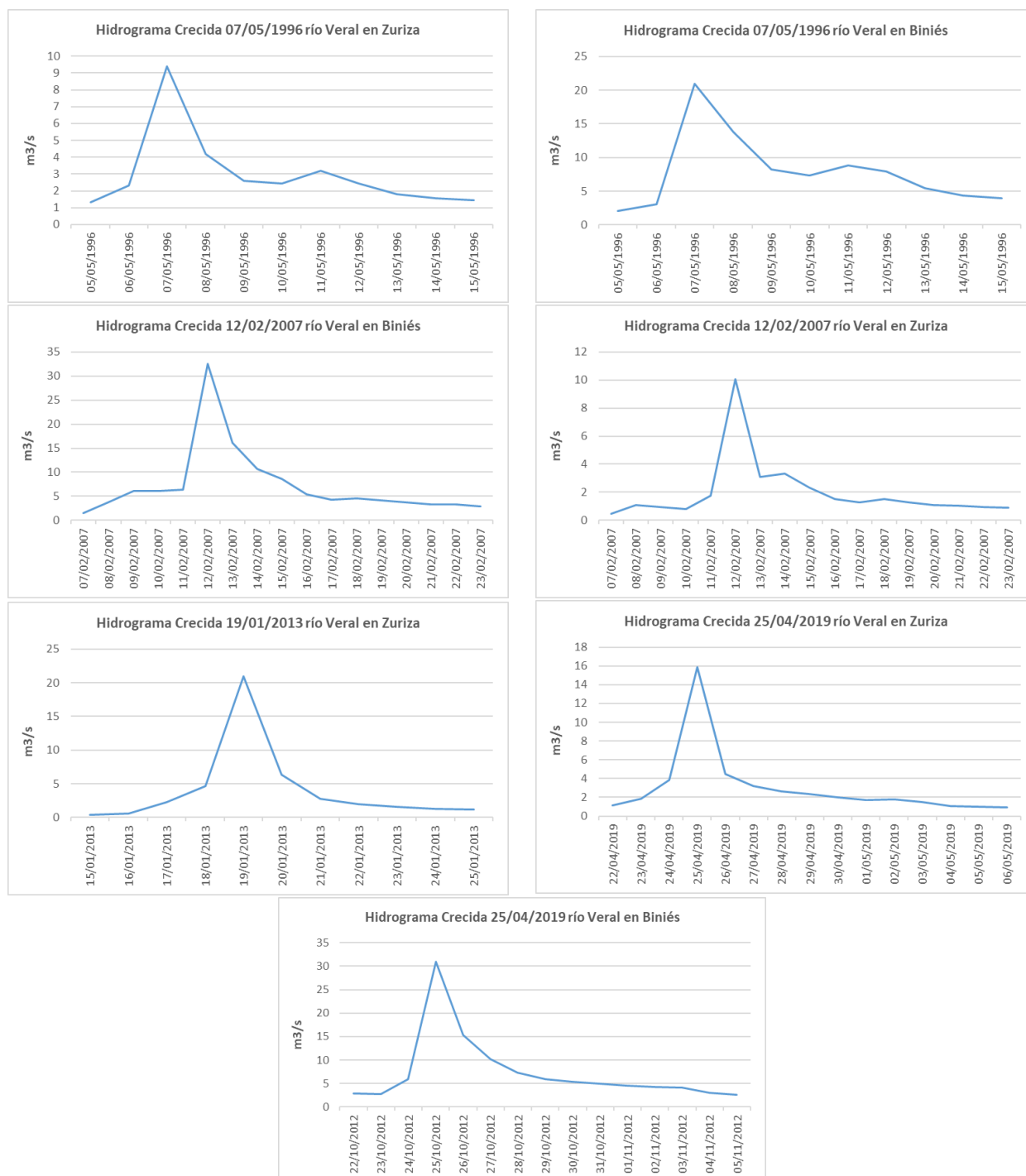


Figura 67. Ejemplos de crecidas cortas (un pico) en el río Veral. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Dentro de esta tipología de crecidas simples (figura 67) en la subcuenca del río Veral, algunas crecidas tienen una curva de ascenso y una curva de descenso muy rápida (ejemplo: crecida del 25/04/2019 en Zuriza), y en otras el ascenso o el descenso sobre todo es más tendido en el tiempo (ejemplo: crecida del 25/04/2019 en Biniés). Son todas crecidas simples, pero con una evolución ligeramente distinta, viéndose así incluso dos subgrupos. Las crecidas que se prolongan en el tiempo ha podido ser o bien por una precipitación que ha durado más, o bien porque ha sido una precipitación de menor intensidad y entonces ha costado más alcanzar ese valor.

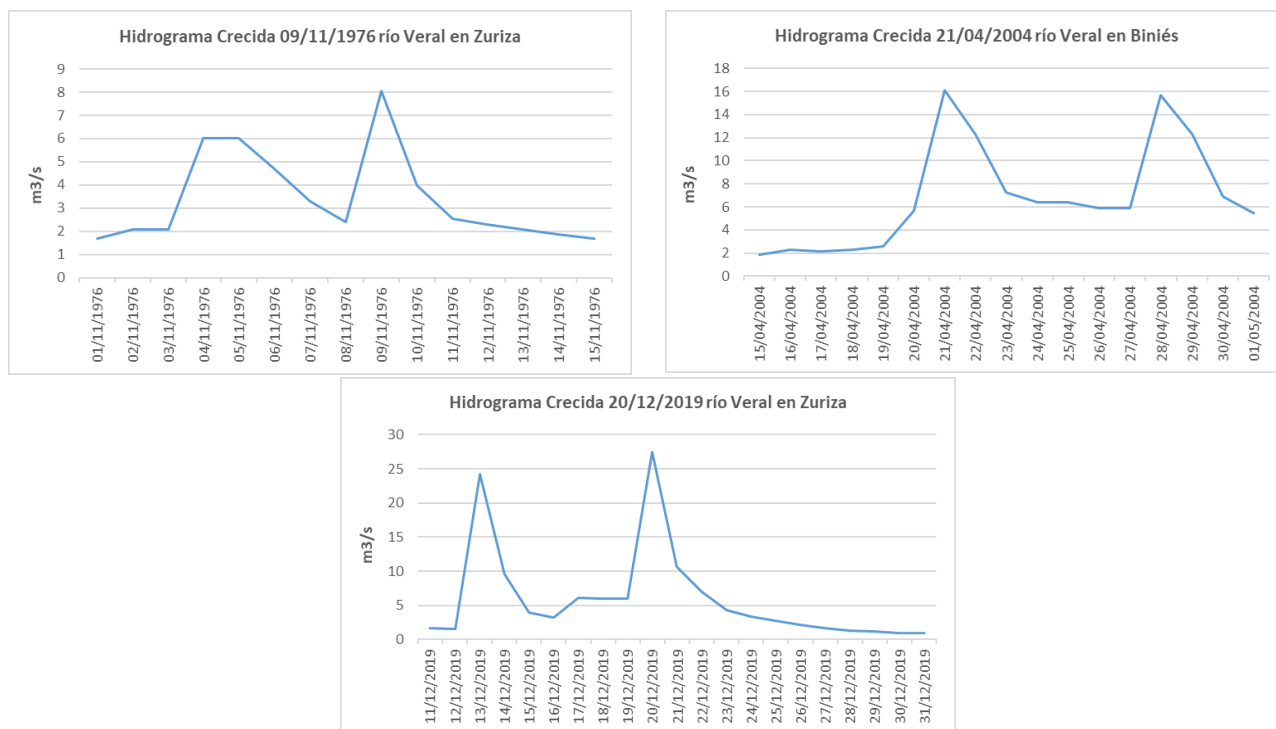


Figura 68. Ejemplos de crecidas con dos picos en el río Veral. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En algunas crecidas, como ya se ha comentado, se ven unos caudales muy bajos en los que de repente se produce una curva de ascenso, se llega a la cresta, y rápidamente se encuentra la curva de descenso (figura 67). Sin embargo, como se aprecia con la figura 68, hay otras crecidas donde existe una curva de ascenso, un pico, y una curva de descenso al igual que los anteriores eventos de crecidas analizados, pero cuando vuelven a estabilizarse, otra vez viene la curva de ascenso con otro nuevo pico, produciéndose dos picos (ejemplo: crecida del 09/11/1976). Esta variante de gráficas llama la atención ya que se encuentran en abundancia en las subcuenca del Alto Aragón.

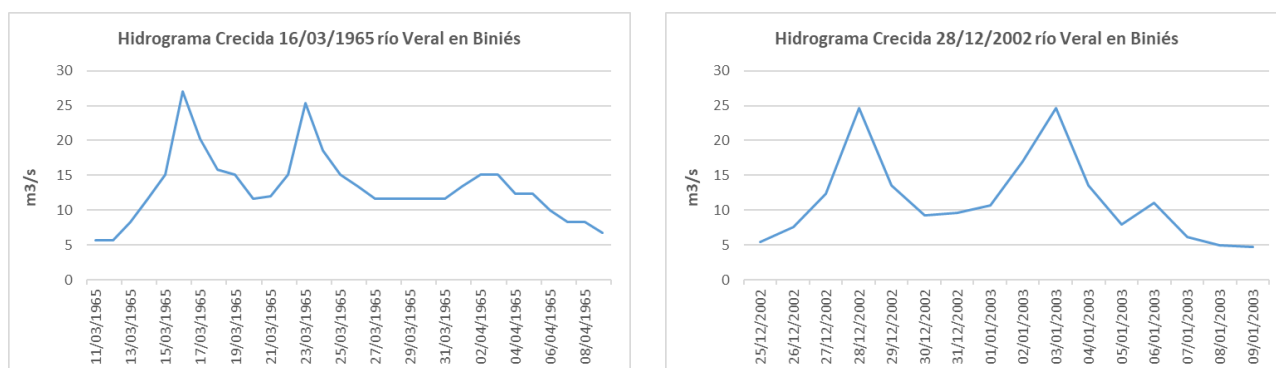


Figura 69. Ejemplos de crecidas con tres picos en el río Veral. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

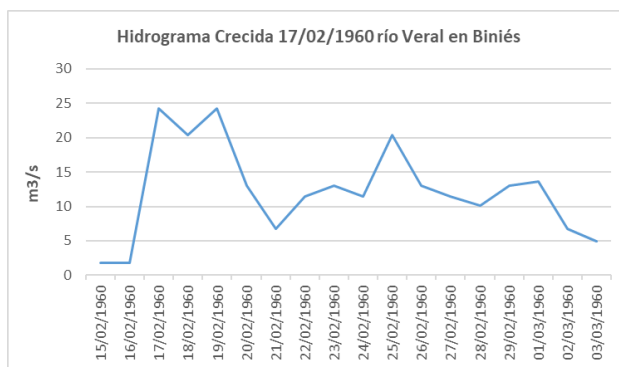


Figura 70. Ejemplos de crecida larga (cuatro picos) en el río Veral. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Mencionar también a través de las figuras 69 y 70 dos subtipos de eventos de crecida más complicadas, con tres y cuatro picos, producidas en diferentes estaciones, pero con una intensidad similar, el mes de octubre posiblemente por lluvias de otoño, donde se supera el módulo 5 veces en los tres picos existentes (crecida del 18/10/1980). Estos eventos de crecida se pueden diferenciar del anterior patrón de crecidas, no sólo por los picos de caudal sino también por la mayor, aunque leve, prolongación en el tiempo.

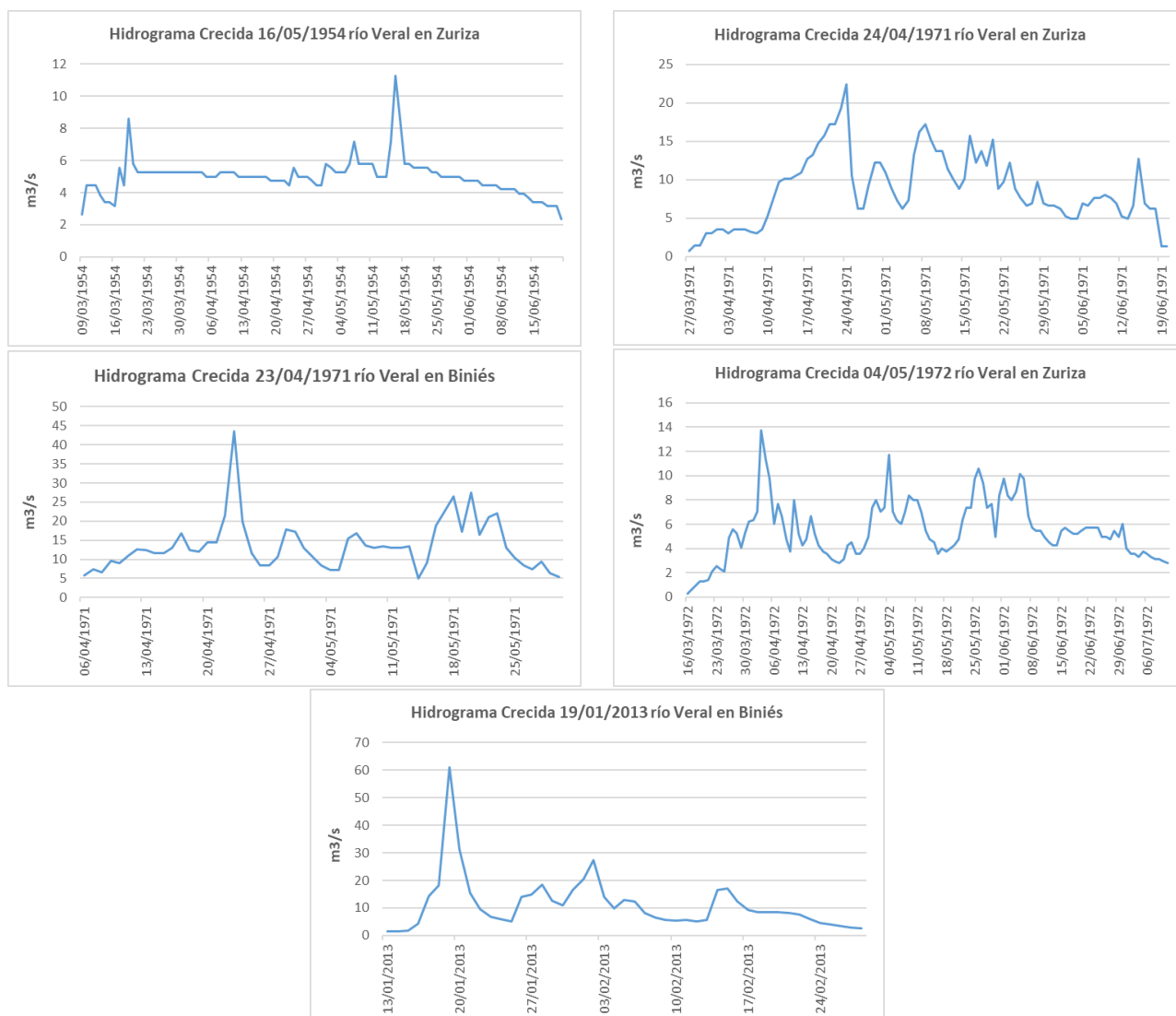


Figura 71. Ejemplos de crecidas largas y complejas (muchos picos) en el río Veral. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Al igual que en la subcuenca del río Esca, en la subcuenca del río Veral, gracias a los eventos de crecida estudiados que se aprecian en la figura 71, se ve claramente un modelo de crecidas muy complejo con muchas picos, en diferentes estaciones del año (aunque con predominancia en los meses de primavera con los procesos de lluvia y sobre todo del deshielo intermitente) y con una clara evolución más larga con respecto a las anteriores tipologías (ejemplo: crecida del 04/05/1972).

En cuanto a estas crecidas complejas (figura 71), destacar el hidrograma de la crecida del 16 de mayo de 1954 en el río Veral en Zuriza por su forma, que resulta muy extraña. Se trata de una crecida complicada (al igual que el resto de los eventos de crecida analizados en esta figura 71), pero en la que existen unos datos que dibujan un trazado de la gráfica muy rectilíneo, cuya causa no está relacionada con la presencia de embalse y sería interesante indagar. La intensidad además no es muy grande, y se produce en un mes que parece que se produce más bien por la precipitación en estado líquido. Se trata de un evento de crecida complejo en el que incluso está en valores de triplicar el módulo y también cinco veces mayor con los múltiples picos existentes. Resaltar por último que todas las crecidas complejas analizadas ocupan un periodo de tiempo mayor.

9.4.3. Río Aragón Subordán.

Al igual que en el análisis de las crecidas tanto del río Esca como del río Veral, el estudio de los eventos de crecida en el río Aragón Subordán en Javierregay a lo largo del periodo 1955/56-2019/20 se ha basado en el análisis de diversos hidrogramas (figuras de la 72 a la 75). Se aprecia una gran variedad de eventos de crecida con características diferentes en términos de picos de caudal, duración y temporalidad principalmente. Estos hidrogramas de crecida muestran los patrones de crecida que se han registrado.

Se observan crecidas torrenciales, con incrementos rápidos y picos pronunciados, normalmente en cortos periodos de tiempo. Estos eventos, tal y como se ha mencionado en las anteriores subcuencas analizadas, están caracterizados por una subida abrupta del caudal, alcanzando su máximo en pocos días y luego disminuyendo de manera gradual. Estos eventos de crecida suelen ser provocados por lluvias intensas y concentradas. Destacar el dato comentado sobre las crecidas torrenciales en cuanto a su capacidad de causar inundaciones rápidas y severas, presentando un alto riesgo para las infraestructuras y las personas debido a su imprevisibilidad y velocidad.

Por otro lado, también se identifican crecidas con muchos picos, aunque generalmente de menor magnitud, que se extienden a lo largo de un periodo más prolongado. Estos eventos sugieren un aumento sostenido del caudal con fluctuaciones intermitentes, generalmente como resultado de lluvias continuas y persistentes en la cuenca del río, también pueden deberse a deshielos intermitentes o bien a la suma de ambas causas. Este tipo de crecidas, tal y como se podrá apreciar más adelante, tienden curiosamente a durar más tiempo y pueden mantener niveles elevados de caudal durante varios días o incluso semanas como es el caso de algunos hidrogramas de crecidas complejos investigados.

Adicionalmente, en este caso del río Aragón Subordán en la estación de aforo de Javierregay, llama la atención la crecida del 07/04/1960 por su forma, con un incremento más gradual del caudal seguido de una fase de descenso prolongada. Estas crecidas son típicas de eventos relacionados con el deshielo de nieve en las montañas, que generalmente ocurren en primavera. El ritmo de progresión de estos incrementos permite cierto nivel de previsibilidad, lo que puede mitigar el impacto, aunque la duración extendida aún presenta desafíos significativos para la gestión del agua y la protección de las comunidades locales.

Gracias a esto y lo ya explicado en las anteriores subcuencas, los eventos de crecida del río Aragón Subordán en Javierregay pueden categorizarse en tres tipologías principales (al igual que todas las subcuencas) y, dentro de estos tipos, se encuentran diferentes subtipos como se verá en la descripción de cada uno de los casos de eventos de crecida seleccionados. En primer lugar, se aprecian las crecidas torrenciales, caracterizadas por curvas de ascenso rápidas y picos de caudales en corto tiempo (ejemplos: crecida del 07/05/1996 y crecida del 12/07/2007).

En segundo lugar, se aprecian las crecidas mixtas ya explicadas, al tener múltiples picos y una duración más prolongada debido a lluvias persistentes y deshielos intermitentes, y en las que se podrían diferenciar dos subtipos: por una parte, existe una gran cantidad de hidrogramas de crecida con dos picos (ejemplos: crecida del 22/09/1993 y crecida del 25/12/2013) y, por otro lado, crecidas con tres picos (ejemplo: crecida 11/02/1972).

En tercer y último lugar, se encuentran las crecidas complejas, con mayor duración en el tiempo y una mayor cantidad de picos en comparación con las anteriores tipologías (ejemplos: crecida del 23/04/1971, crecida del 01/06/1972 y crecida del 04/05/1972). Estas tipologías reflejan la variedad de factores meteorológicos y geográficos que influyen en el comportamiento del río Aragón Subordán y subrayan la necesidad de estrategias de gestión diversificadas para abordar cada tipo de crecida.

En esta subcuenca del río Aragón Subordán, como se ve en la figura 62, se han contabilizado, concretamente en la estación de aforo de Javierregay, un total de 288 eventos de crecida. Una menor cantidad de crecidas debido al ser solamente una estación de aforo analizada y al tener disponible un periodo de tiempo menor (1955/56-2019/20).

De esos eventos de crecida se han seleccionado 27 que se han considerado representativos. En cuanto a las características, como ya se ha mencionado anteriormente, hay existencia de crecidas que duran solamente unos días (figura 72) hasta ver eventos de crecidas que ocupan parte de dos meses diferentes (figura 75), siendo crecidas de alta complejidad, al tener también muchos picos. También se observan crecidas de diferentes intensidades, que superan diferentes valores del módulo (x3, x5, x10...).

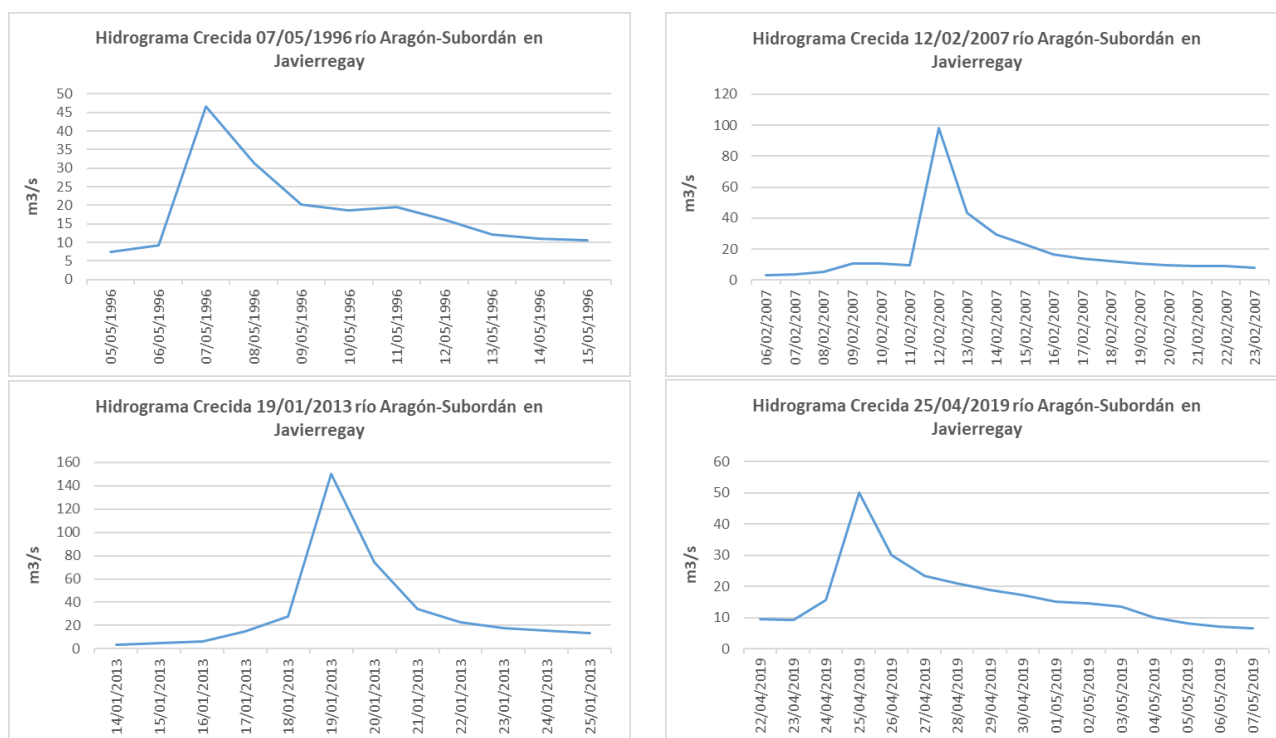


Figura 72. Ejemplos de crecidas cortas (un pico) en el río Aragón Subordán. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

A través de la figura 72 se puede observar una tipología de crecidas simples, con una curva de ascenso muy rápida y con un solo pico. Incluso dentro de esta tipología de crecidas, en los hidrogramas de crecida propuestos se podría diferenciar dos subtipos de crecidas, siendo unas, como ya se ha dicho, donde se alcanza el pico con una curva de ascenso muy rápida, y luego se produce inmediatamente, de casi forma inmediata, el inicio de la curva de descenso (ejemplo: crecida del 19/01/2013) y, por otro lado, se puede diferenciar una variante de crecidas en las que se aprecia también un ascenso rápido, pero una curva de descenso más prolongada en el tiempo (ejemplo: crecida del 25/04/2019) hasta llegar a la normalización del caudal.

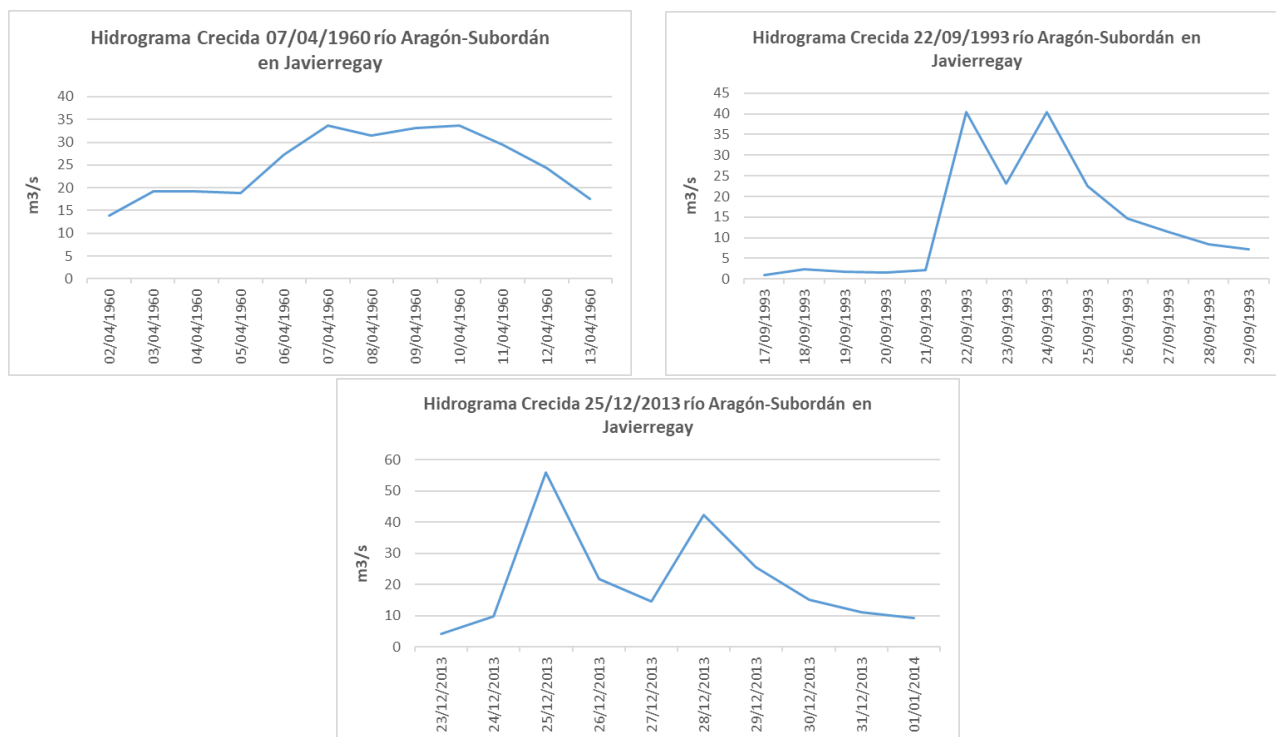


Figura 73. Ejemplos de crecidas con dos picos en el río Aragón Subordán. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En la figura 73 se ve claramente un modelo de crecidas que tiene dos picos, algo más prolongadas en el tiempo y que se pueden apreciar en muchas ocasiones en la subcuenca del Alto Aragón a lo largo del tiempo (varios ejemplos analizados en las anteriores subcuencas), por eso se ha creado esta variante con dos picos, que son, además, muy parecidos en cuanto a intensidad (ejemplo: crecida del 25/12/2013).



Figura 74. Ejemplo de crecida con tres picos en el río Aragón Subordán. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Mencionar también, a partir de esta figura 74, una variante de crecida más complicada, con tres picos y producida en este caso el mes de febrero (crecida 11/02/1972), por lo que posiblemente se produjera por precipitaciones en estado líquido o una subida de temperatura que provocara una fusión parcial de la nieve acumulada. En comparación con las anteriores tipologías de crecidas, se puede diferenciar no sólo por la mayor cantidad de picos de caudal, sino también por la mayor ocupación de esta crecida en el tiempo, y, a su vez, por la elevada intensidad, superando el módulo más de 10 veces. Estos eventos de crecida entonces se pueden diferenciar de los anteriores, no son exactamente iguales, formando así una variante de ese tipo de crecidas denominado mixto.

Resaltar que en este subtipo de hidrogramas de crecida se puede encontrar, como es el caso analizado, un pico antes del pico principal (ver figura 74) y que quizá es más peligroso que si el pico máximo hubiese estado al principio, porque si se alcanza ese pico máximo probablemente es porque ya otros procesos están saturados y toda el agua que llega de la precipitación o del deshielo se va sumando al río por proceso de escorrentía superficial.

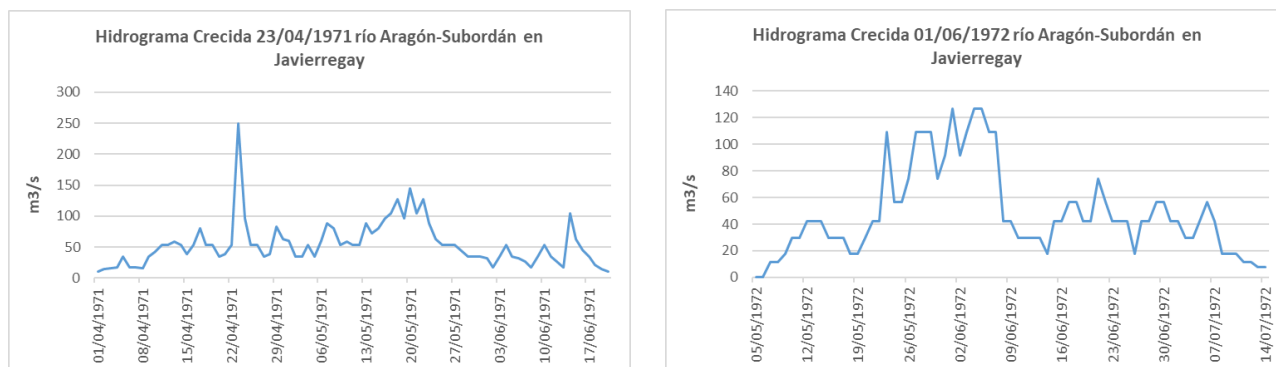


Figura 75. Ejemplos de crecidas largas y complejas (muchos picos) en el río Aragón Subordán. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Mediante la figura 75 se observa con claridad un modelo de crecidas muy complejo con muchos picos, en estaciones del año que se pueden relacionar con el deshielo, y con una evolución más larga con respecto a las anteriores tipologías.

9.4.4. Río Aragón.

Al igual que en el análisis de las crecidas de todas las subcuencas y estaciones de aforo anteriores, el análisis de los eventos de crecida en el río Aragón en Martes, Canfranc y Jaca a lo largo del periodo 1930/31-2019/20, basado en las gráficas elaboradas (figuras de la 76 a la 79), revela una enorme variedad de eventos de crecida con características diferentes en términos de picos de caudal, duración y temporalidad principalmente. Estos hidrogramas de crecida muestran cómo el caudal del río Aragón muestra diferentes patrones de crecida.

Se aprecian crecidas torrenciales, muy cortas y en las que rápidamente se cubren las diferentes etapas: ascenso, pico, descenso y agotamiento. Estos eventos de crecida suelen ser provocados por lluvias intensas y concentradas. Como ya se ha reiterado estas crecidas torrenciales son peligrosas y generan un importante riesgo hidrológico cuando la exposición de bienes y personas es elevada.

Por otro lado, también se identifican crecidas con muchos picos, de magnitud variable, que se extienden a lo largo de un periodo de tiempo más largo. Estos eventos sugieren un aumento sostenido del caudal con fluctuaciones, generalmente como resultado de lluvias continuas y persistentes en la cuenca del río, y también pueden deberse a deshielos intermitentes o bien a la suma de ambos aspectos. Este tipo de crecidas, tal y como se podrá ver posteriormente, llama la atención que duran más tiempo y pueden mantener niveles elevados de caudal durante varios días o incluso semanas como es el caso de algunos hidrogramas de crecidas complejos investigados.

Gracias a esto y lo ya explicado en las anteriores subcuencas, los eventos de crecida en este caso del río Aragón en Martes, Canfranc y Jaca pueden categorizarse de la misma manera que las anteriores subcuencas estudiadas en este documento (tres tipos diferentes) y, dentro de estos tipos, se hallan diferentes subtipos como se comprobará en la descripción de cada uno de los casos de eventos de crecida escogidos. En primer lugar, se aprecian las crecidas torrenciales, caracterizadas por curvas de ascenso rápidas, picos de caudales en corto tiempo y curvas de descenso rápidas o lentas (ejemplos: crecida del 07/05/1996, crecida del 19/01/2013 y crecida del 25/04/2019).

En segundo lugar, en relación a las crecidas mixtas ya explicadas, al tener diversos picos y una duración más prolongada en el tiempo debido a lluvias persistentes y deshielos intermitentes y, dentro de estas, se diferencian dos subgrupos, por una parte, hidrogramas de crecida con dos picos (ejemplos: crecida del 17/01/1956 y crecida del 21/10/2009) y, por otro lado, crecidas con tres picos (ejemplos: crecida del 22/11/2006 y crecida del 19/01/2013).

En tercer y último lugar, se encuentran las crecidas complejas, con mayor duración en el tiempo y una mayor cantidad de picos en comparación con las anteriores tipologías (ejemplos: crecida del 21/03/1943, crecida del 23/04/1971, crecida del 28/03/2006 y crecida del 18/06/2013). Estas tipologías reflejan la variedad de factores meteorológicos y geográficos que influyen en el comportamiento del río Aragón y subrayan la necesidad de estrategias de gestión diversificadas para abordar cada tipo de crecida.

En esta subcuenca del río Aragón, como se ve en la figura 62, se han contabilizado (concretamente en las estaciones de aforo de Martes, Canfranc y Jaca), un total de 542 eventos de crecida. Elevado número de eventos de crecida debido al analizar tres estaciones de aforo distintas y al tener disponible un periodo de tiempo grande (1930/31-2019/20).

De esos eventos de crecida se han seleccionado 47 que se han considerado representativos. En cuanto a las características, como ya se ha mencionado anteriormente, hay existencia de crecidas que duran solamente unos días (figura 76) hasta ver eventos de crecidas que ocupan parte de varios meses diferentes (figura 79), siendo crecidas de alta complejidad, al tener también muchos picos. También se observan crecidas de diferentes intensidades o magnitudes, que superan diferentes valores del módulo (x3, x5, x10...).



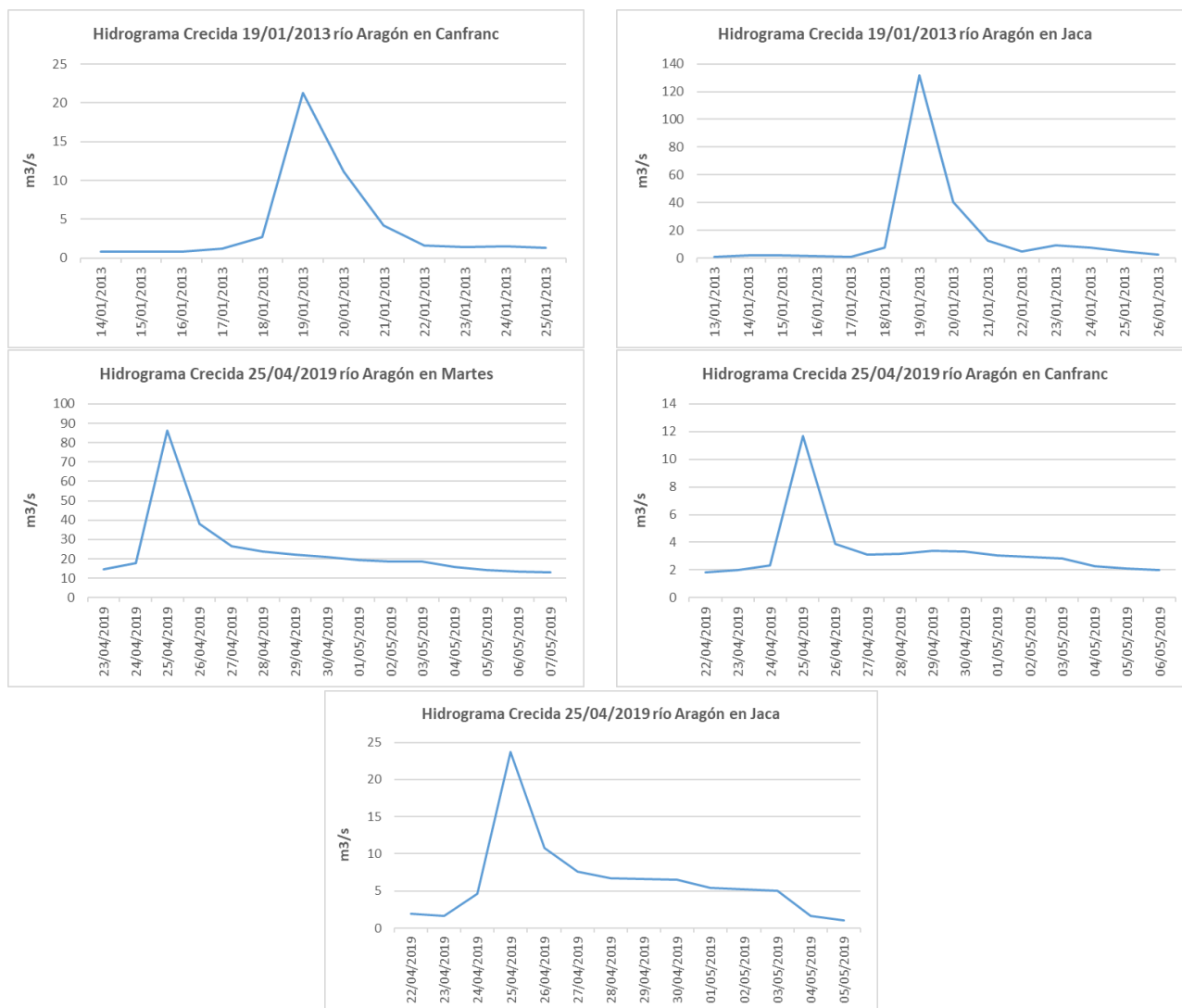


Figura 76. Ejemplos de crecidas cortas (un pico) en el río Aragón. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos.

Elaboración propia.

A través de la figura 76 se puede observar la tipología de crecidas simples, con una evolución muy rápida y con un solo pico. Incluso dentro de esta tipología de crecidas, en los hidrogramas de crecida propuestos se podría diferenciar dos subtipos de crecidas. Lo más frecuente es un desarrollo de la crecida donde se alcanza el pico con una curva de ascenso muy rápida, y luego se produce de casi forma inmediata, el inicio de la curva de descenso (ejemplos: crecida del 19/01/2013 y crecida del 25/04/2019). Pero junto a esta tónica habitual, se pueden diferenciar dos variantes de este tipo crecidas. En la primera variante se aprecia también un ascenso rápido, pero una curva de descenso más prolongada en el tiempo (ejemplos: crecida del 26/01/1960 y crecida del 12/02/2007) y, por otro lado, en la segunda variante se aprecia también un ascenso rápido, pero en la curva de descenso se distingue un pequeño repunte (ejemplos: crecida del 05/10/1992 y crecida del 07/05/1996).



Figura 77. Ejemplos de crecidas con dos picos en el río Aragón. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Con esta figura 77 se ve claramente el subtipo de crecidas ya explicado a lo largo de este apartado, con la existencia de dos picos diferenciados, también algo más prolongadas en el tiempo y que se pueden apreciar en distintas estaciones en la subcuenca del Alto Aragón a lo largo del tiempo, por eso se ha creado esta variante con dos picos, que son, además, prácticamente iguales en cuanto a intensidad (ejemplos: crecida del 19/05/2003 y crecida del 21/10/2009).

Destacar que en algunas crecidas al principio del todo se observa ya un incremento del caudal, que en muchos casos no llega a ser crecida (ejemplo: crecida del 17/01/1956), pero que lo que hace es preparar el terreno para que cuando venga otra vez la precipitación o el deshielo, la curva de ascenso sea más rápida porque ya la infiltración y la interceptación de alguna forma pueden llegar a estar saturadas.

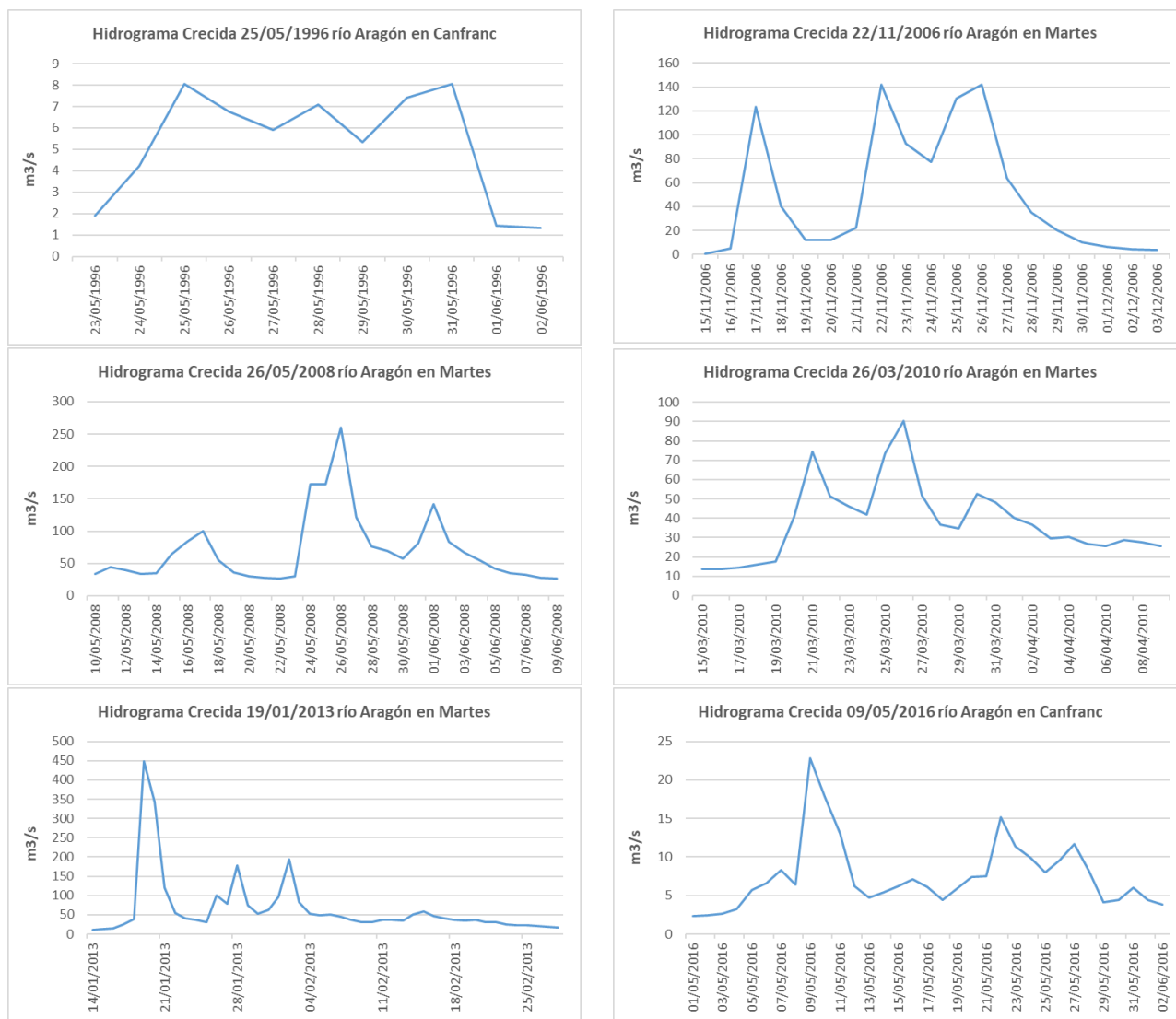
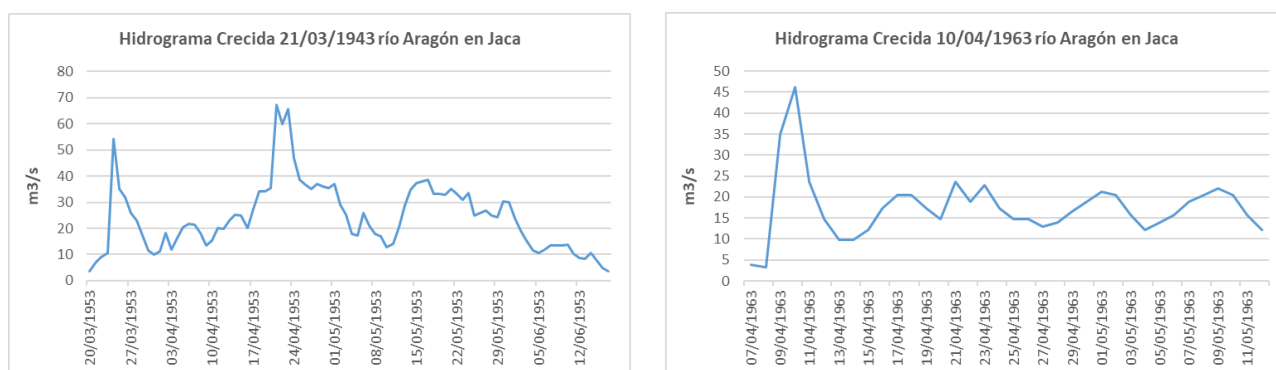


Figura 78. Ejemplos de crecidas con tres picos en el río Aragón. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Mencionar también con esta figura 78 un subtipo de crecidas más complejas, con tres picos y producidas principalmente en los meses de primavera y otoño (ejemplos: crecida del 22/11/2006 y crecida del 26/05/2008), por lo que se asocian a lluvias de otoño y procesos intermitentes de deshielo. En estas crecidas incluso se llega a superar hasta casi 25 veces el módulo en algunas de ellas (ejemplo: crecida del 19/01/2013). Estos eventos de crecida entonces se pueden diferenciar de los anteriores, incorporando así otra variante de crecidas diferente.



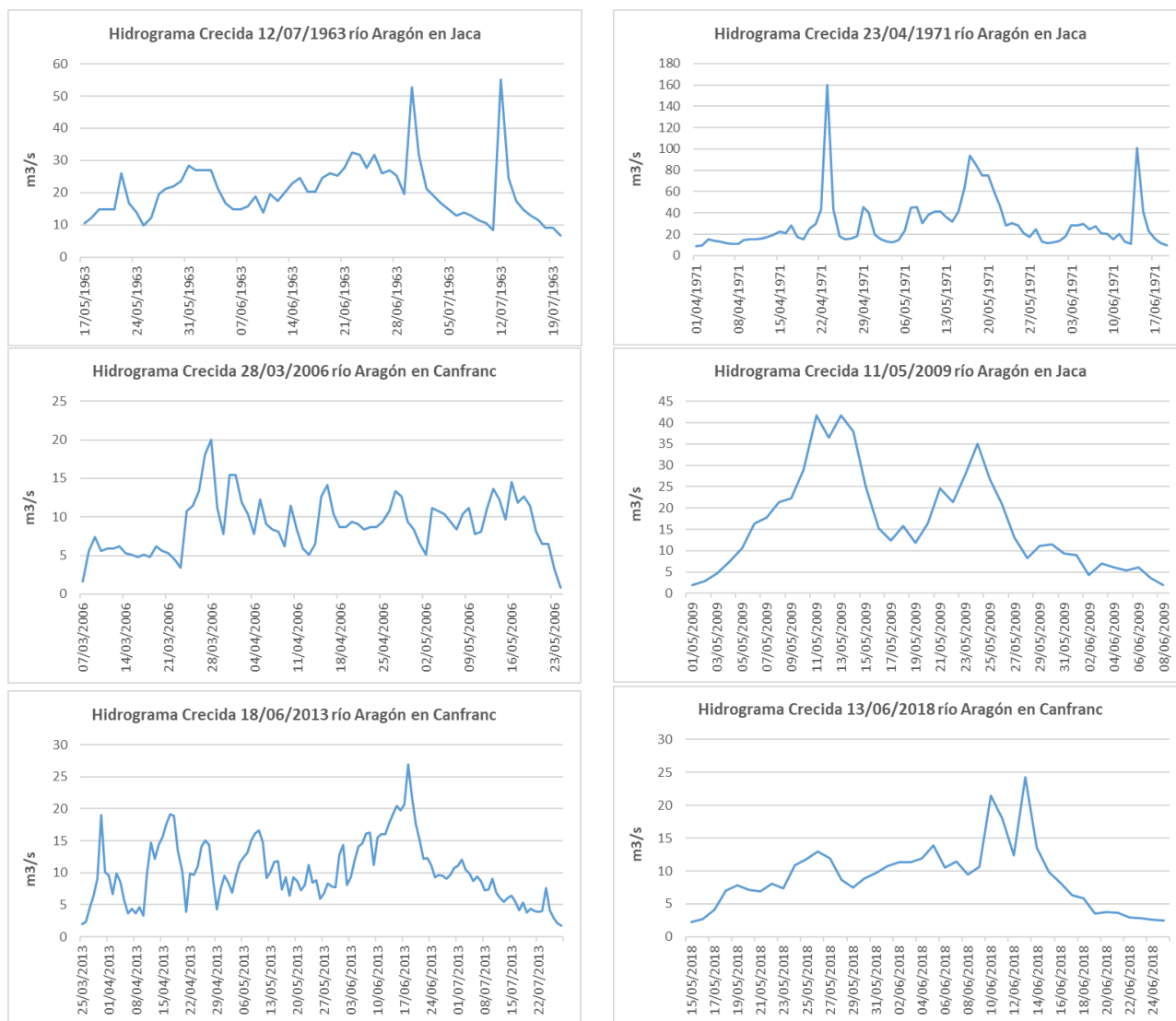


Figura 79. Ejemplos de crecidas largas y complejas (muchos picos) en el río Aragón. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Mediante esta última figura 79 de este apartado, se observa con claridad el modelo de crecidas muy complejas con muchos picos, en estaciones del año que se pueden relacionar con el deshielo principalmente (primavera) y con una evolución más larga con respecto a las anteriores tipologías.

Dentro estas crecidas complejas, también se observan diferentes grados de complejidad, analizando que hay algunas que tienen una duración enorme, formando parte de cinco meses diferentes (ejemplo: crecida del 18/06/2013) y, por otro lado, crecidas en las que también hay gran cantidad de picos de caudal y que tienen en general una duración larga, pero no llegan a tanto como otras, formando parte de dos meses diferentes (ejemplos: crecida del 11/05/2009 y crecida del 13/06/2018).

9.4.5. Crecidas generalizadas en las diferentes subcuencas.

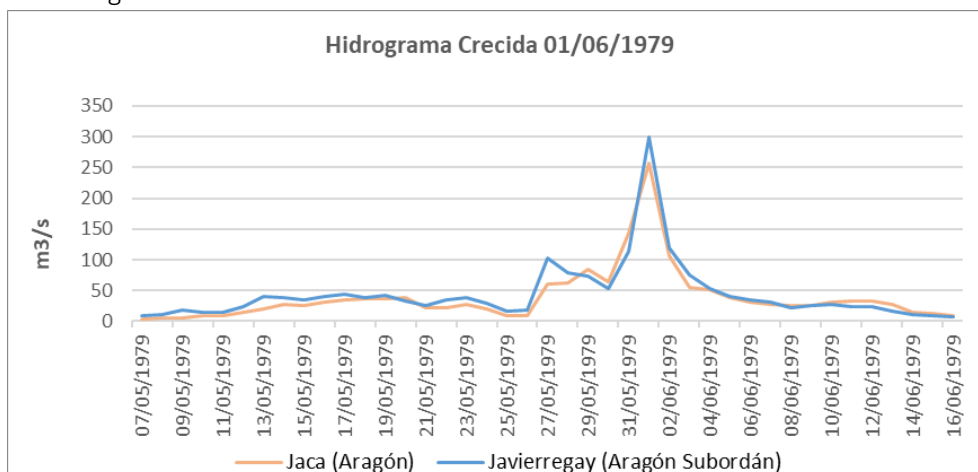


Figura 80. Hidrograma de la crecida del 01/06/1979. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

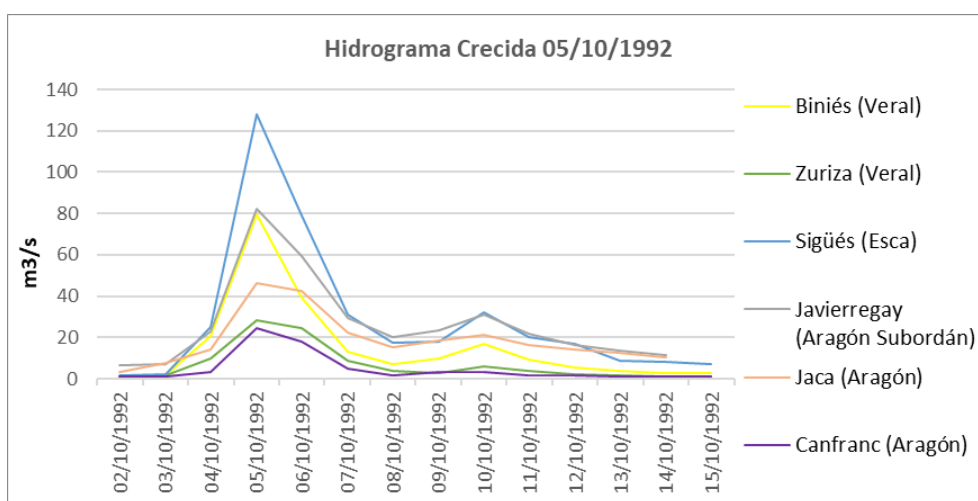


Figura 81. Hidrograma de la crecida del 05/10/1992. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

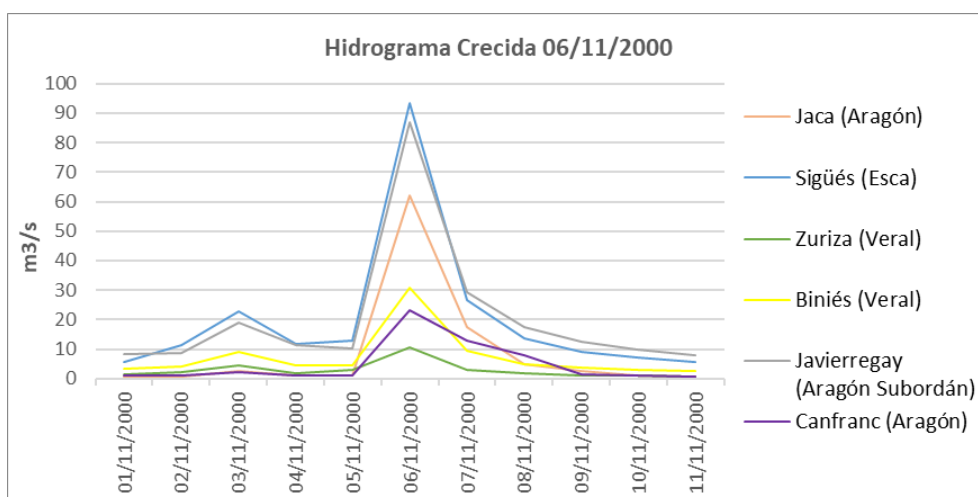


Figura 82. Hidrograma de la crecida del 06/11/2000. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

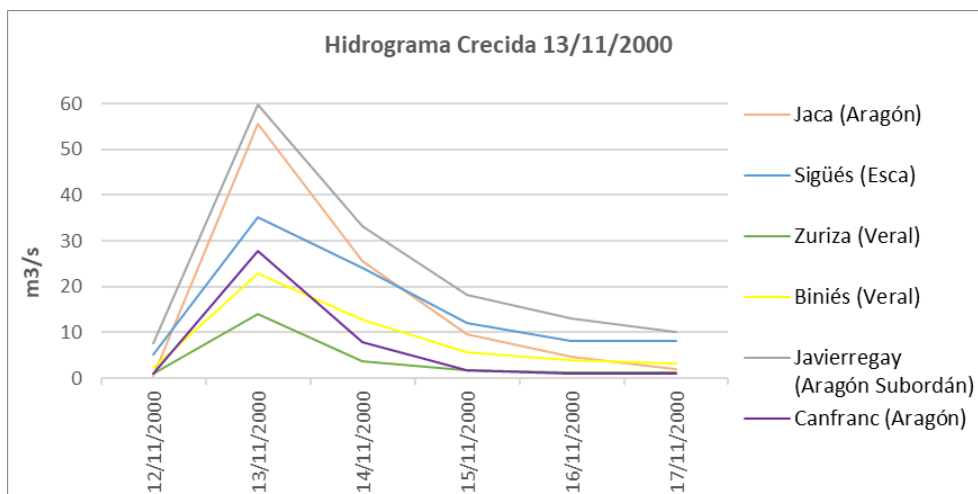


Figura 83. Hidrograma de la crecida del 13/11/2000. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

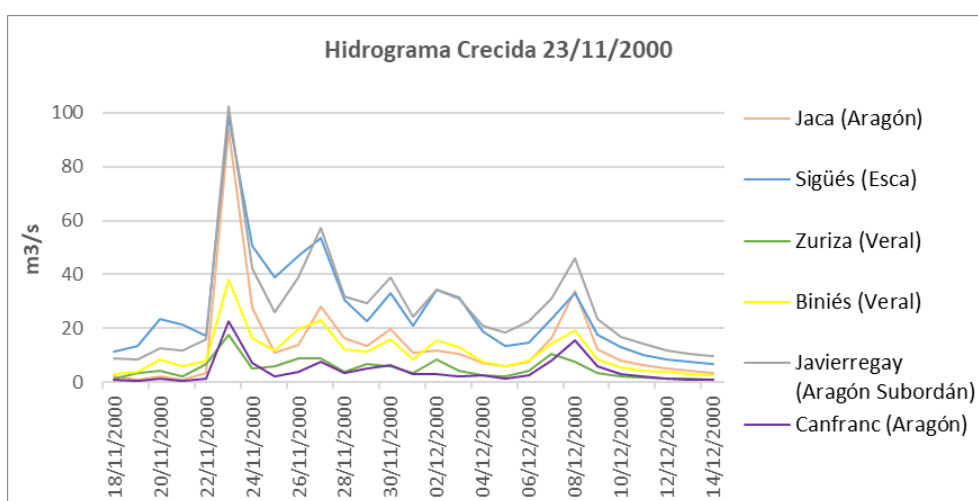


Figura 84. Hidrograma de la crecida del 23/11/2000. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

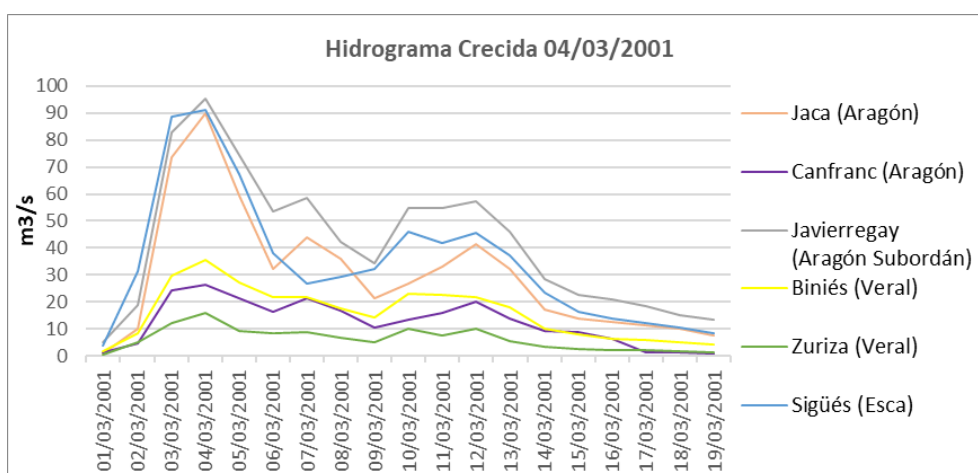


Figura 85. Hidrograma de la crecida del 04/03/2001. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

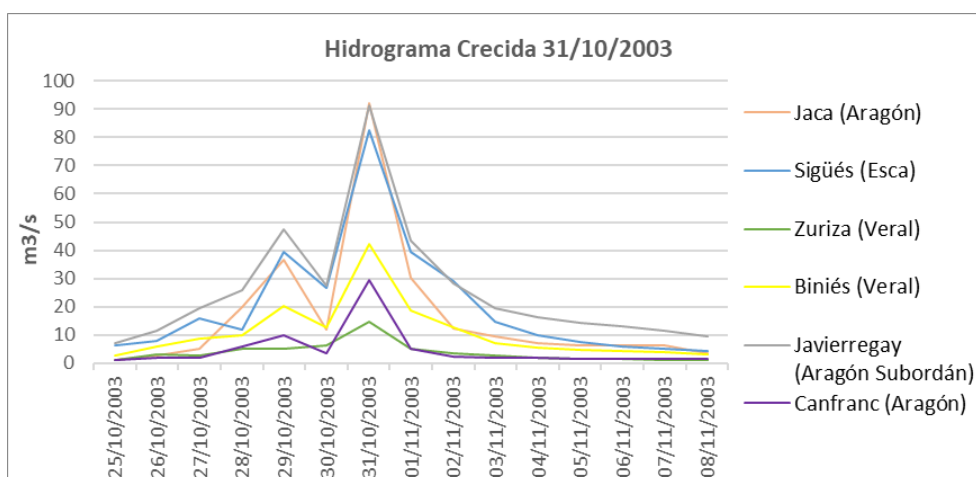


Figura 86. Hidrograma de la crecida del 31/10/2003. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

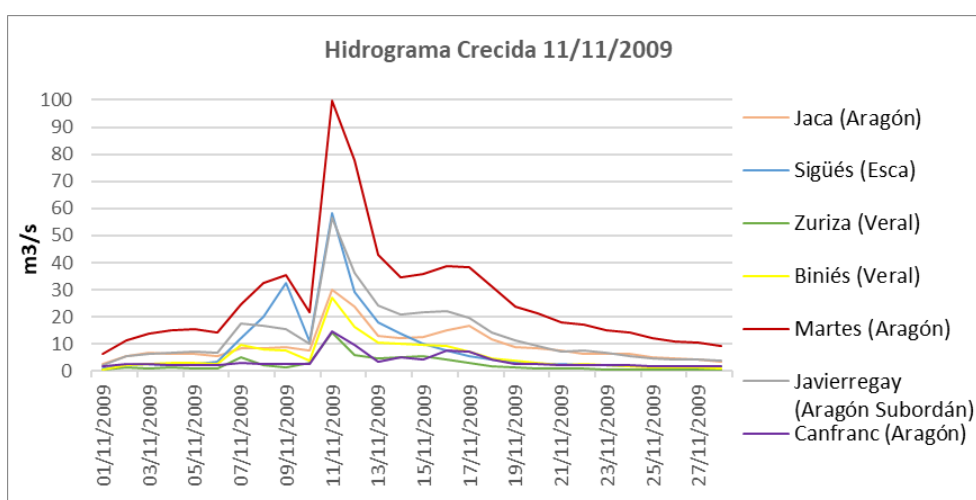


Figura 87. Hidrograma de la crecida del 11/11/2009. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

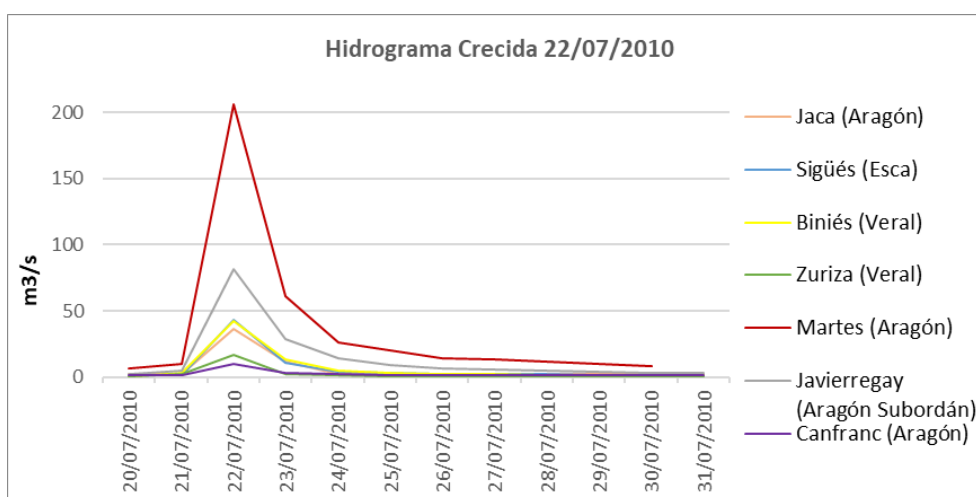


Figura 88. Hidrograma de la crecida del 22/07/2010. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

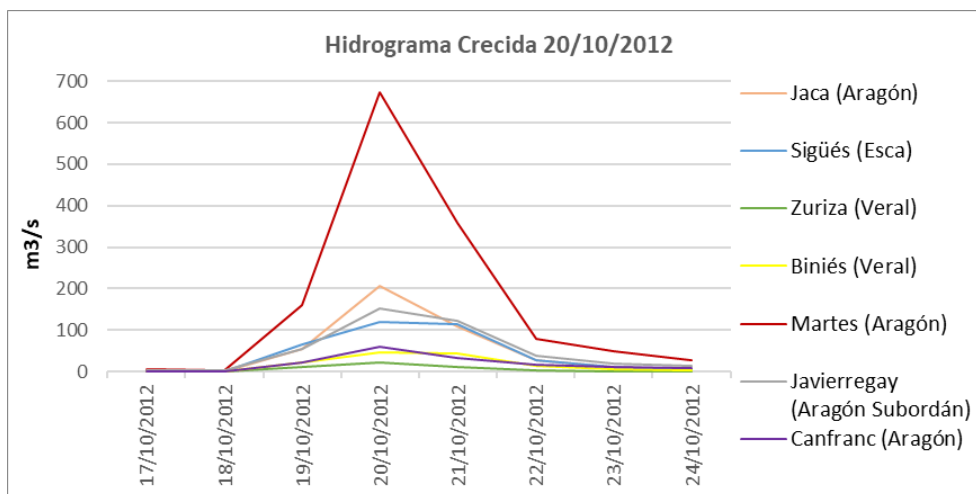


Figura 89. Hidrograma de la crecida del 20/10/2012. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

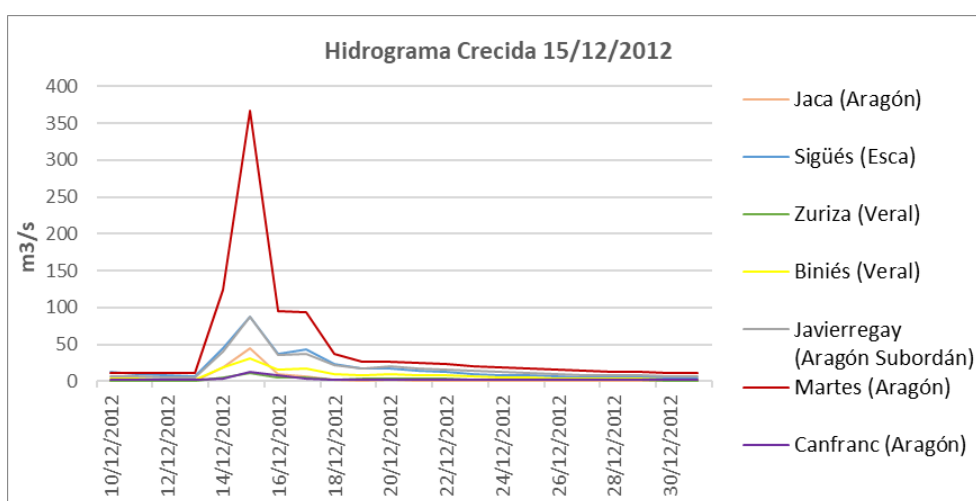


Figura 90. Hidrograma de la crecida del 15/12/2012. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

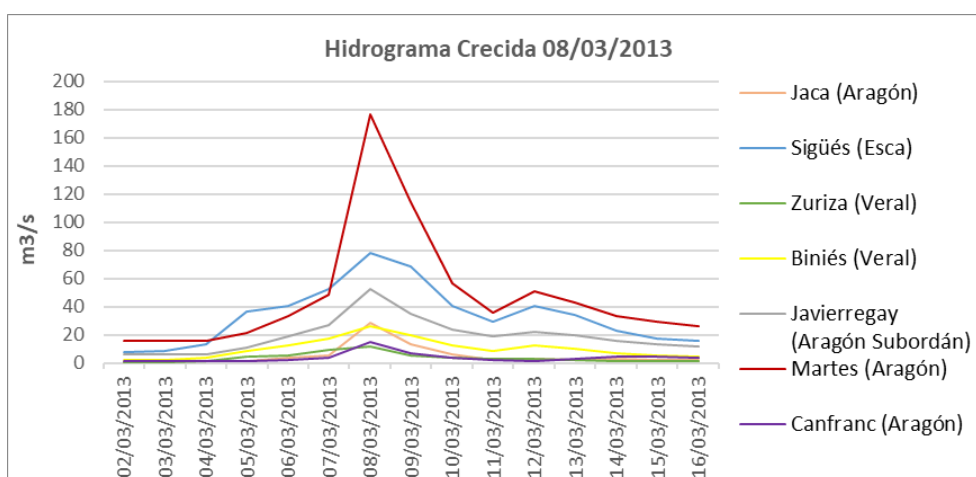


Figura 91. Hidrograma de la crecida del 08/03/2013. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

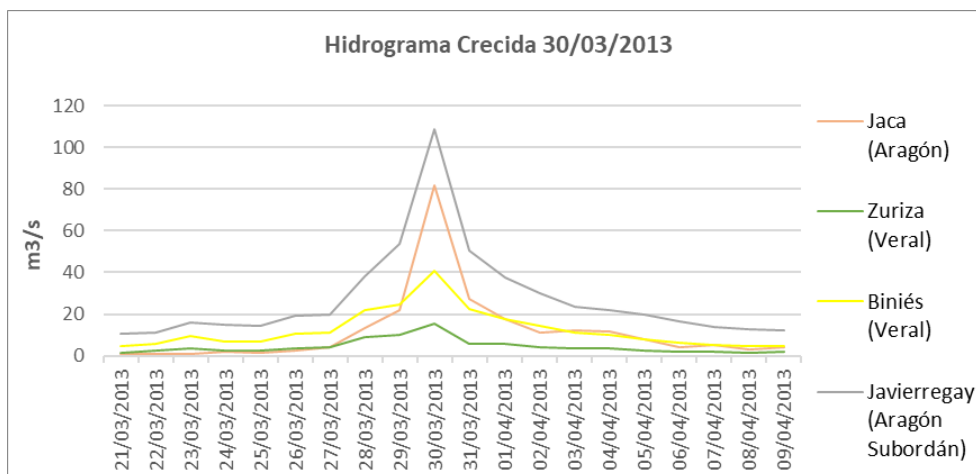


Figura 92. Hidrograma de la crecida del 30/03/2013. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

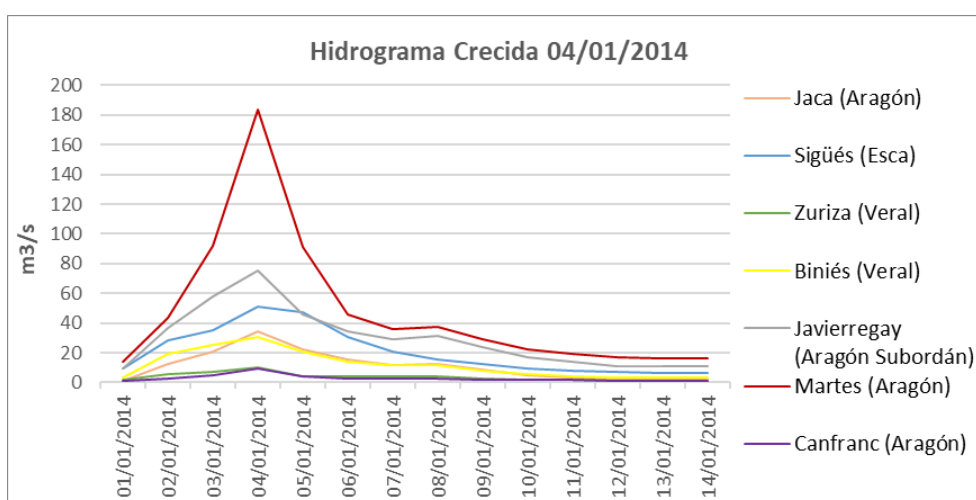


Figura 93. Hidrograma de la crecida del 04/01/2014. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

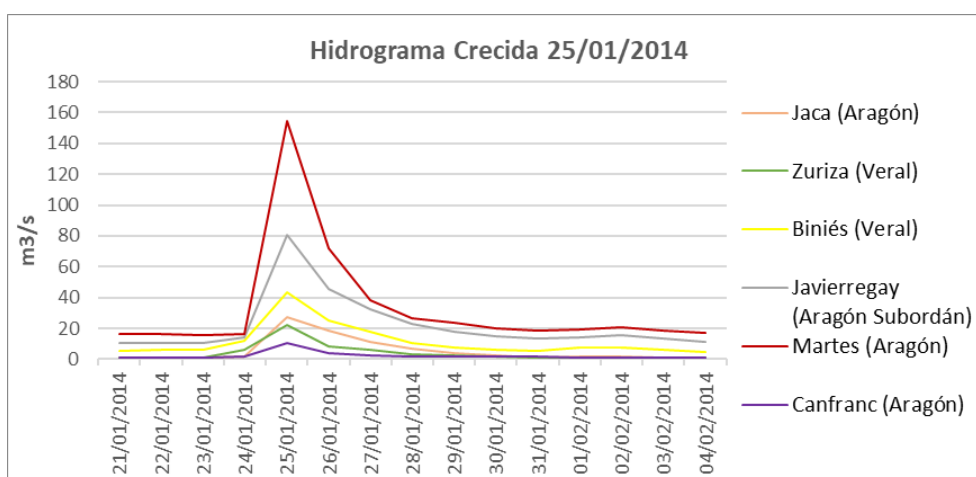


Figura 94. Hidrograma de la crecida del 25/01/2014. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

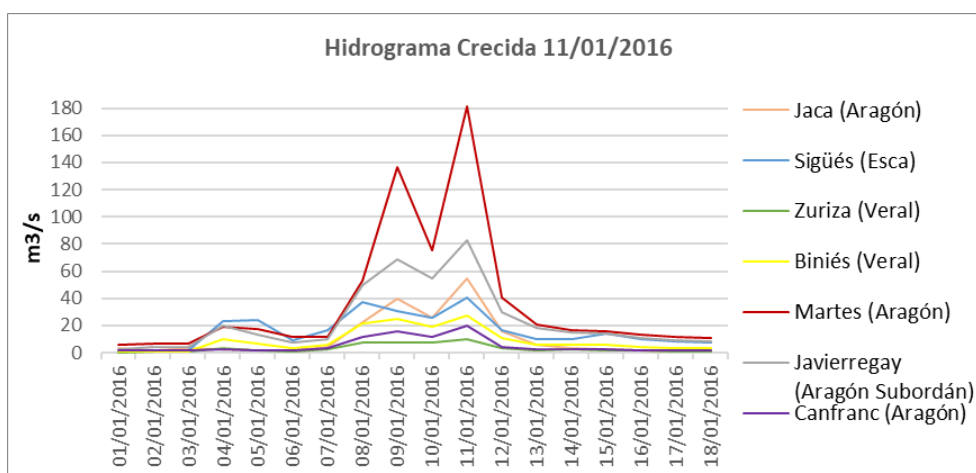


Figura 95. Hidrograma de la crecida del 11/01/2016. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

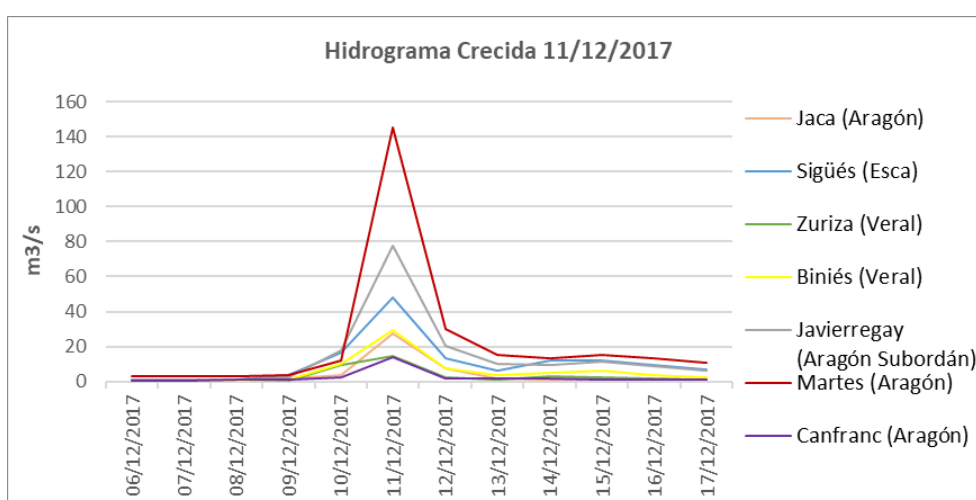


Figura 96. Hidrograma de la crecida del 11/12/2017. Fuente: Sistema de Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Gracias a lo que se ha ido viendo individualmente en las crecidas a lo largo del trabajo (ver apartados del 9.4.1. al apartado 9.4.4), se puede cotejar ahora con algunos ejemplos de crecidas que se han dado en diferentes subcuencas para comprobar si realmente la evolución de esas crecidas ha sido más o menos similar en todas ellas y, por tanto, cabe esperar que las tipologías sean también más o menos similares. Así pues, se han ido viendo una serie de cosas en cada una de las subcuencas (río Esca, río Veral, río Aragón Subordán y río Aragón) y ahora, como se tienen crecidas que han afectado a todas o casi todas, se confirma que la evolución de las crecidas ha sido similar en las subcuencas y las tipologías son más o menos similares, pero con algún detalle a mencionar a continuación.

A modo de resumen, todas estas gráficas (figuras de la 80 a la 96) son múltiples hidrogramas de crecida seleccionados y analizados, en los que aparecen implicados los diferentes cursos fluviales en su mayoría, por lo que una vez hecho un hidrograma con la misma fecha y para cada estación de aforo, se han unido desde el programa Microsoft Excel para formar una sola gráfica donde se representa con un color cada estación. En las dos estaciones del río Veral (Zuriza y Biniés) se ve que en la estación de la cabecera (Zuriza) sube menos el caudal y el pico debería darse un poco antes, y en la otra estación que se ubica más abajo (ver mapas de localización del apartado 5), el pico es más elevado y, lógicamente, se debería retrasar un poco.

En estas últimas figuras del apartado 9.4.5., se ve claramente que la estación de Martes siempre sobresale con respecto a las demás, y esto se debe a que esta estación de aforo ya no sólo recoge el agua del río Aragón sino que de alguna forma es la que recoge todo el caudal de todos los ríos con los que se está trabajando en este documento, entonces es lógico que esté más arriba que las otras, porque acumula lo de las demás.

En cambio, en las gráficas de crecida en las que no se muestra la estación de aforo de Martes, debido a la indisponibilidad de datos, la principal aportación que se encuentra de los ríos es del Aragón Subordán (Javierregay), del Aragón (Jaca) y del Esca (Sigüés), por las demás estaciones de aforo el caudal circulante es menor, al ser también más reducidas sus cuencas de drenaje.

Una de las principales conclusiones a la que se llega con todos los eventos de crecida estudiados es la gran cantidad de crecidas existentes y, por otro lado, los modelos de crecida tremendamente distintos.

9.4.6. Tipificación de las crecidas.

Con todo lo visto en este apartado 9.4 sobre las tipologías de las crecidas en las distintas subcuencas que comprenden el área de estudio (subcuenca del Alto Aragón), destacar en primer lugar los años 70, ya que en estos años se han encontrado para cada una de las subcuencas analizadas gran número de eventos de crecidas y siendo de tipo complejas. Estos años se consideran un periodo bastante lluvioso, es decir, con una pluviometría elevada. Se han encontrado algunas crecidas muy largas, que mantienen los niveles de caudal altos y oscilantes durante setenta e incluso más de cien días. Además, estas crecidas se solían dar en los meses de primavera, debido a las precipitaciones en estado líquido y, principalmente, por el deshielo intermitente, debido a las subidas y bajadas de temperaturas, que hacen que exista un mayor o menor nivel de deshielo, produciéndose así los numerosos picos vistos en los tipos de crecidas complejas. En general, se han encontrado una gran cantidad de eventos de crecida, pero muchas de estas crecidas en los meses de primavera y otoño, que corresponden, como ya se ha mencionado, a las lluvias y al deshielo principalmente con el contraste de temperaturas.

Una pregunta que se ha considerado importante resolver en el cierre de este apartado ha sido la siguiente: ¿Se asocia algunas de estas tipologías de crecidas con una intensidad concreta de estas? La respuesta es claramente no, ya que hay crecidas de todos los tipos y con todas las intensidades (sobre todo con x3, x5 y x10 como se ha podido apreciar a lo largo del documento).

A modo de conclusión de este apartado y en relación a una recopilación final de las tipologías de los eventos de crecida en la subcuenca del Alto Aragón gracias a los 85 casos de crecidas estudiados, se puede comprobar que estas se pueden categorizar en tres tipologías principales, y varios subtipos como se ha ido mencionado a lo largo de esta parte del trabajo mediante la descripción de cada una de las crecidas seleccionadas en las subcuencas tanto del río Esca como las del río Veral, Aragón Subordán y Aragón.

Así pues, los tipos de crecidas se diferencian entre las crecidas torrenciales, caracterizadas por curvas de ascenso rápidas, picos de caudal que duran poco tiempo y curvas de descenso casi inmediatas, con altos caudales (intensidad) en corto tiempo, es decir, las crecidas denominadas **simples**. Por otro lado, las crecidas bautizadas como **mixtas**, al tener múltiples picos y una duración más prolongada debido a lluvias persistentes o bien a deshielos intermitentes o a la suma de ambos factores y en las que, dentro de estas, se podrían diferenciar dos subtipos, por una parte, la existencia de una gran cantidad de hidrogramas de crecida con dos picos, y, por otro lado, crecidas con tres picos. Por último, la tipología relacionada con las crecidas **complejas**, que duran las que más tiempo y tienen una gran cantidad de picos.

Los diferentes tipos de crecidas surgen como respuesta hidrológica a la diversidad de rasgos geográficos de las cuencas y a la variación de las precipitaciones, tanto estacionales como interanuales, así como a que estas se produzcan en forma líquida o sólida.

10. Conclusiones.

La subcuenca del Alto Aragón se identifica con el tramo alto de la cuenca pirenaica del río Aragón, uno de los principales de la cuenca hidrográfica del Ebro. En la subcuenca del Alto Aragón se incluye el tramo alto del propio río Aragón (aforos de Martes, Canfranc y Jaca), la subcuenca del río Esca (aforo en Sigüés), la subcuenca del río Veral (Zuriza y Biniés) y, por último, la subcuenca del río Aragón Subordán (Javierregay). En este trabajo se han manejado datos de las siete estaciones de aforo disponibles.

En el territorio de la subcuenca del Alto Aragón hay componentes del medio natural que van a influir en todo el comportamiento hidrológico y, en concreto, en el comportamiento de las crecidas, que es la temática principal de este trabajo. Se encuentran fuertes pendientes en la parte alta de la subcuenca del Alto Aragón y van disminuyendo conforme se acerca la parte baja con la Canal de Berdún. Se registran unas abundantes precipitaciones, tanto en forma de lluvia como de nieve, otorgando un gran peso al deshielo en la transformación del agua precipitada en caudal. Hay una cubierta vegetal abundante y diversa que favorece los procesos de infiltración.

Los ríos analizados en este trabajo (Esca, Veral, Aragón Subordán y Aragón) tienen un caudal específico elevado, ya que son capaces de recoger volúmenes de agua relativamente importantes en cuencas de recepción pequeñas.

Las variaciones estacionales de caudal siguen el patrón de un régimen nivo-pluvial, observándose matizaciones del oeste al este, con mayor influencia oceánica en el oeste (sobre todo en el río Esca en Sigüés) y menos en el este (río Aragón en Canfranc y Jaca).

En su mayor parte, estos ríos tienen bastante regularidad, es decir, una irregularidad interanual baja, consecuente con su condición de ríos de montaña bien alimentados por abundantes precipitaciones. La excepción es el río Esca en Sigüés (con una irregularidad alta, al tener un valor de coeficiente de irregularidad interanual de 18,50).

Aunque estemos en un territorio de ríos caudalosos, el fenómeno extremo de los estiajes está presente en su funcionamiento. En verano (julio, agosto y septiembre) el porcentaje de días cuyos caudales medios están por debajo del umbral de estiaje es muy significativo, situándose en la mayor parte de los aforos estudiados por encima del 20% y llegando en varios de ellos durante los meses de agosto y septiembre a valores en torno al 40%. En diversas estaciones de aforo también es significativo, en torno al 20%, el número de días con caudales por debajo del umbral de estiaje registrados en octubre. Esto último se asocia con la tardanza en llegar las precipitaciones de otoño en algunos años hidrológicos.

A continuación, se muestran las conclusiones concretas relacionadas con las crecidas de la subcuenca del Alto Aragón a las que se ha podido llegar.

Los registros instrumentales procedentes del Anuario de Aforos han permitido constatar que existe un número muy elevado de crecidas en la subcuenca del Alto Aragón y estas presentan una gran variedad tanto de intensidad como de duración. No llega a haber crecidas de la enorme magnitud de las mediterráneas, que incluso multiplican en más de 100 veces el módulo anual, pero hay gran cantidad de las que multiplican ese módulo x3, x5 y x10.

A partir de los datos de caudal medio diario se ha constatado que alrededor del 4% de los días con registros, que en varias estaciones llegan a 90 años, alcanzan caudales medios que multiplican por tres veces el valor del módulo anual, por lo que corresponden a situación de crecida.

Los meses en los que se concentra un mayor número de días cuyos caudales medios superan los diferentes umbrales de crecida son principalmente los de primavera (abril, mayo y junio), con mayo como el mes con más días en casi todas las estaciones de aforo (debido al proceso de deshielo de la nieve acumulada) y, también, los meses de otoño, esencialmente por las precipitaciones en estado líquido. Como excepción, en las subcuencas del río Veral y sobre todo del río Esca este periodo otoñal se retrasa a los meses de enero y febrero, debido a la influencia más oceánica que suaviza las temperaturas y disminuye la retención nival. En el trabajo se ha determinado, para cada estación de aforo, el porcentaje mensual de días cuyo caudal medio alcanza valores que suponen la existencia de crecida.

Acerca de la distribución de las crecidas a partir de máximos instantáneos mensuales de caudal, se obtienen resultados muy similares con el reparto del número de días de las crecidas a lo largo del año.

El recuento de la cantidad de eventos de crecida constatables tanto en cada subcuenca como en las diferentes estaciones de aforo ha corroborado la conclusión de que las crecidas son muy frecuentes en los ríos del Alto Aragón. Por tanto, son un elemento importante y característico de sus ríos. Hasta ahora, no se habían contabilizado el número de eventos para periodos tan amplios, como los 90 años analizados en este trabajo para diferentes aforos, en ninguno de los ríos de esta subcuenca pirenaica. Estadísticamente, esta

frecuencia de las crecidas se situaría en torno a los cinco episodios anuales de crecida con diferentes intensidades o magnitudes.

Se han seleccionado 85 de esas crecidas, consideradas representativas por recoger situaciones de diferentes magnitudes y con distintas duraciones temporales, para intentar establecer una tipificación de las crecidas de la subcuenca del Alto Aragón a partir de la elaboración y el análisis de sus hidrogramas. Se han establecido tres tipos de crecidas, en función de su duración y de los picos de caudal existentes:

- Crecidas **simples**, caracterizadas por su corta duración, apenas unos días, y un solo pico máximo de caudal. Tanto su curva de ascenso como la de descenso son muy rápidas. Abundantes ejemplos se asocian con lluvias otoñales. Dentro de este tipo pueden aparecer algunas variantes. Las principales serían aquellas en las que la curva de ascenso o la de descenso no se completa con un ritmo continuado, sino que aparece alguna interrupción, dibujando la gráfica cierto “escalonamiento” en alguna de estas curvas.
- Crecidas **mixtas**, con múltiples picos, encontrando hidrogramas de crecida con dos, tres e incluso cuatro picos de caudal. Y con una duración más prolongada en el tiempo que las del tipo anterior. Tienen su origen en lluvias persistentes o bien en deshielos intermitentes o en la suma de ambos factores, reconociéndose en los meses de primavera y otoño principalmente. Según el número de picos o crestas del evento de crecida podrían establecerse diferentes subtipos o variantes de este tipo de crecida.
- Crecidas **complejas**, que son las de mayor duración, a veces varios meses, y mayor complejidad, ante la presencia de gran cantidad de picos y oscilaciones de caudal en sus curvas de ascenso y descenso antes de completarse. Estas últimas crecidas se relacionan más con características de época primaveral.

Se ha podido comprobar que no hay una relación entre la tipología de crecidas y su intensidad o magnitud. En cada uno de los tipos encontramos crecidas cuyos caudales pico multiplican x3, x5 y x10 veces el módulo.

El conocimiento y estudio de las crecidas es fundamental dadas las consecuencias sociales y económicas muy importantes que conllevan, especialmente cuando desbordan los cauces fluviales y producen inundaciones. Esa es una de las razones que ha llevado a acometer este trabajo y que hace necesarios los estudios de este fenómeno extremo.

En concreto, en la subcuenca del Alto Aragón la gestión y conservación de los recursos naturales es crucial para la sostenibilidad ecológica y económica de la región, y las crecidas plantean unos problemas y una serie de consecuencias de diferentes tipos que no hay que perder nunca de vista.

Algunas estrategias de gestión podrían ser la conservación de ecosistemas a través de áreas protegidas y parques naturales, la regulación y monitoreo del uso del agua para asegurar su disponibilidad para todos los usos, incluyendo el consumo humano, la agricultura y el turismo, la promoción de prácticas sostenibles en el turismo y la agricultura para minimizar el impacto ambiental, y, por último, implementar medidas para prevenir y mitigar riesgos naturales como las crecidas estudiadas, que son comunes en regiones montañosas.

Esa gestión debiera realizarse desde la ordenación del territorio que, conocida a través del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables la situación inicial en cuanto al peligro de inundaciones e incluso respecto de los riesgos existentes, estableciese las medidas necesarias para que la exposición de bienes y personas no se incrementara en el futuro, de manera que se pudieran mitigar los efectos provocados por las grandes crecidas que anegan las llanuras de inundación. Algunas de las ocurridas en el pasado han afectado a campings, pequeñas urbanizaciones, carreteras, casetas de cazadores..., siendo esto lo que una adecuada ordenación territorial podría minimizar.

Además, como se ha ido viendo con la realización del trabajo, las crecidas son muy numerosas en la subcuenca del Alto Aragón, por lo que se considera necesario que en sus ríos haya unos planes de seguimiento de inundaciones. La subcuenca del Alto Aragón tal y como se ha visto durante el trabajo es una región de gran valor ecológico y socioeconómico, con desafíos y oportunidades que requieren una gestión cuidadosa y sostenible para asegurar su conservación y desarrollo a largo plazo.

11. Bibliografía y recursos utilizados.

11.1. Bibliografía.

Acín, V., Ballarín, B., Brufao, P., Domenech, S., Espejo, F., González-Hidalgo, J., Granado, D., Ibisate, A., Marcén, C., Mora, D., Nadal, E., Ollero, A., Sánchez-Fabre, M., Sanz, M., Serrano-Notivoli, R. (2012): "Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos", *Geographica*, 61, 101-108, DOI:10.26754/ojs_geoph/geoph.2012611093.

Balasch, J.C., Pino, D., Ruiz-Bellet, J.L., Tuset, J., Barriendos, M., Castelltort, X., Peña, J.C. (2019): "The extreme floods in the Ebro River basin since 1600", *The Science of The Total Environment*, 646(1), 645-660, ISSN:0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.325>

Barredo, J.I. (2007): "Major Flood Disasters in Europe: 1950–2005". *Natural Hazards*, 42(1), 125-148, DOI:10.1007/s11069-006-9065-2.

Batica, J. y Gourbesville, P. (2016): "Resilience in Flood Risk Management – A New Communication Tool". *Procedia Engineering*, 154, 811-817, DOI:10.1016/j.proeng.2016.07.411.

Beguiría, S., López-Moreno, J.I., Lorente, A., Seeger, M., García-Ruiz, J.M. (2003): "Assessing the Effect of Climate Oscillations and Land-use Changes on Streamflow in the Central Spanish Pyrenees". *AMBIO A Journal of the Human Environment*, 32(4), 283-286. DOI:10.1639/0044-7447(2003)032[0283:ATEOCO]2.0.CO;2.

Beguiría, S., Zabalza, J., Borràs, G., López-Moreno, J.I., Pla, E., Pascual, D., Savé, R., Biel, C., Funes, I., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Martín-Hernández, N., Peña-Gallardo, M., Alonso-González, E., Tomas-Burguera, M., Kenawy, A. (2017): "Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain". *Journal of Hydrology Regional Studies*, 12(C), DOI:10.1016/j.ejrh.2017.01.004.

Bernhofen, M., Trigg, M., Sleigh, P., Sampson, C., Smith, A. (2021): "Global Flood Exposure from Different Sized Rivers". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-102>

Camarasa-Belmonte, A.M. y Segura F. (2001). "Las crecidas en ramblas valencianas mediterráneas". *Estudios Geográficos*, 62(245), DOI:10.3989/geo.2001.i245.270.

Camarasa-Belmonte, A.M. y Segura, F. (2001): "Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain", *CATENA*, 45(3), 229-249, ISSN:0341-8162, [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00146-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00146-1)

De Bruijn, K. (2005): "Resilience and Flood Risk Management, A Systems Approach applied to Lowland Rivers". *DUP Science*, ISBN:90-407-2599-3.

Díaz, A. y Porcel, G. (2014): "Inundaciones en la Región de Murcia en los inicios del siglo XXI". *Biblio 3W*, XIX(1102), ISSN:1138-9796.

Domingo, J. (2016): "Caracterización de la cuenca del río Pancrudo". Repositorio Institucional de Documentos, Universidad de Zaragoza, <https://zaguan.unizar.es/record/56533?ln=es>

Espejo, F., Zueco, S., Ollero, 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, 129-154, ISSN:0212-9426.

Floristán Samanes, A. (1976): "Régimen del Ebro medio". *Cuadernos de investigación: Geografía e historia*, 2(2), 3-16, <https://dialnet.unirioja.es/metricas/documentos/ARTREV/264028>

García Ruiz, J.M. et al. (2011): "El relieve del alto Aragón Occidental. Cartografía y síntesis geomorfológica". *Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Gobierno de Aragón, Zaragoza (Spain)*, ISBN:978-84-89862-78-4.

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". *Geoforma ediciones*, 193 p. Logroño.

García Ruiz, J.M., Puigdefábregas, J., Creus, J. (1985): "Los recursos hídricos superficiales del Alto Aragón". *Colección de estudios altoaragoneses, 2, Instituto de Estudios Altoaragoneses*, 224 p. Huesca, ISBN:84-398-5742-X.

García, D. G. (2004). "Flora y vegetación de La Jacetania". *CSIC - Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)*, de https://digital.csic.es/bitstream/10261/128825/1/Daniel_Gomez_Flora%20y%20vegetaci%C3%B3n%20Jacetania.pdf

García-Ruiz, J.M., Lorente, A., Beguería, S., Martí-Bono, C., Errea, M.P., Arnáez, J. (1999): "Factores en la generación de crecidas en una cuenca de campos abandonados, Pirineo central español". *Cuadernos de Investigacion Geografica*, 25, 7-24, 10.18172/cig.1034.

Gil Olcina, A. (2006): "Regímenes natural y artificial del río Júcar". *Investigaciones geográficas*, 40, 5-34, ISSN:0213-4691, <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2006.40.01>

Giménez Jiménez, R. (2012): "Memoria Previa y Análisis Preliminar de Incidencia Ambiental de la comarca de la Jacetania", Repositorio Institucional de Documentos, Universidad de Zaragoza, <https://zaguan.unizar.es/record/9717?ln=es>

González, M. (2008): "Inundaciones y cambio climático.". *E.T.S. Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid*, en [http://oa.upm.es/4764/2/INVE MEM 2008 57086.pdf](http://oa.upm.es/4764/2/INVE_MEM_2008_57086.pdf)

Imízcoz, A. F. (2013): "Régimen del Ebro medio". *Cuadernos de Investigación: Geografía e Historia*, 2(2), 3-16.

Kotlarski, S., Hagemann, S., Krahe, P., Podzun, R., Jacob, D. (2012): "The Elbe river flooding 2002 as seen by an extended regional climate model", *Journal of Hydrology*, 472–473, 169-183, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.020>

Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I., Brakenridge, R. (2013): "Large floods in Europe, 1985–2009", *Hydrological Sciences Journal*, 58(1), DOI:10.1080/02626667.2012.745082.

Llasat, M., Llasat-Botija, M., Prat, M., Porcu, F., Price, C., Mugnai, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y., Savvidou, K., Nicolaides, K. (2010): "High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: The FLASH preliminary database". *Advances in Geosciences (Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union)* 23, 47-55, DOI:10.5194/adgeo-23-47-2010.

Llasat, M.C., Marcos, R., Llasat-Botija, M., Gilabert, J., Turco, M., Quintana-Seguí, P. (2014): "Flash flood evolution in North-Western Mediterranean". *Atmospheric Research*, 149, 230-243, ISSN:0169-8095, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.05.024>.

López-Moreno, J.I., Beguería, S., García-Ruiz, J.M. (2006): "Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: Response to climatic factors or to land-use change?". *Hydrological Sciences Journal*, 51(6), 1039-1050, DOI:10.1623/hysj.51.6.1039.

Lozano, M. (2017): "Caracterización del comportamiento hidrológico del río Aragón en su parte alta. Estudio de sus crecidas y su afección en distintos núcleos de población". Repositorio Institucional de Documentos, Universidad de Zaragoza, <https://zaguan.unizar.es/record/64978?ln=es>

- McEwen, L., Bryan K., Black, A., Blake, J., Afzal, M. (2021): "Science-Narrative Explorations of "Drought Thresholds" in the Maritime Eden Catchment, Scotland: Implications for Local Drought Risk Management". *Journal Frontiers in Environmental Science (Science and Environmental Communication)*, 9:589980, DOI:10.3389/fenvs.2021.589980.
- Muela, M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., Gonzalez-Hidalgo, J., López-Moreno, J.I., Beguería, S., Sanjuan, Y., García-Ruiz, J.M. (2013): "An Exceptional Rainfall Event in the Central Western Pyrenees: Spatial Patterns in Discharge and Impact". *Land Degradation and Development*, 26(3), DOI:10.1002/ldr.2221.
- Navas, A., Valero-Garcés, B., Gaspar, L., García-Ruiz, J.M., Beguería, S., Machín, J., López-Vicente, M. (2008): "Variabilidad espacial del transporte de sedimento en la cuenca superior del río Aragón". *Cuadernos de investigación geográfica*, 34, 39-60, ISSN:0211-6820, <https://doi.org/10.18172/cig.1206>
- Olcina, J., Morote, Á.-F., Hernández, M. (2022): "Teaching Floods in the Context of Climate Change with the Use of Official Cartographic Viewers (Spain)". *MDPI (Water)*, 14(21), 3376, <https://doi.org/10.3390/w14213376>
- Olcina, J., Sauri, D., Hernández, M., Ribas, A. (2016): "Flood policy in Spain: a review for the period 1983-2013", *Disaster Prevention and Management An International Journal*, 25(1), 41-58, <https://doi.org/10.1108/DPM-05-2015-0108>
- Oliva, A. y Olcina, J. (2023): "Historical Floods and Territorial Planning: Lessons Learned and Opportunities Lost after the Santa Teresa Flood (1879) in the Segura Basin (Spain)". *MDPI (Land)*, 13(1), 28, <https://doi.org/10.3390/land13010028>
- Ollero, A. (2000): "Crecidas fluviales en la Cuenca del Ebro desde 1980: Estado de la cuestión, principales eventos y sistemas de prevención". *Serie Geográfica*, 9, 151-162, ISSN:1136-5277.
- Ollero, A. (2001): Dinámica ambiental del río Ara: la complejidad de un sistema fluvial de montaña. *Asociación Río Ara*, In book: El río Ara es de todos, 41-54.
- Ollero, A. (2020): Crecidas, Inundaciones y Resiliencia: Restauración fluvial contra los falsos mitos. *Universitat d'Alacant*, In book: Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes, 549-567.
- Ollero, A. y Pellicer, F. (1991): Middle Ebro river channel and floodplain: geomorphology, recent changes, risks and management on a fluvial system of free meanders. *Geoforma*, In book: Soil erosion studies in Spain, 203-210.
- Ollero, A. y Sánchez Fabre, M. (2015): "Las inundaciones del Ebro en febrero y marzo de 2015". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23, 150-151.
- Ollero, A., García, H., Ibisate, A., Ballarín Ferrer, D., Blanco, A., Sánchez Fabre, Miguel. (2021): La Geografía Física en la caracterización, evaluación y restauración hidromorfológica fluvial. *Comité Español de la UGI*, In book: España, puente entre continentes, Aportación Española al 34 Congreso de la Unión Geográfica Internacional, 167-178.
- Ollero, A., García, J., Ibisate, A., Sánchez-Fabre, M. (2021): "Updated knowledge on floods and risk management in the Middle Ebro River: The "Anthropocene" context and river resilience". *Cuadernos de Investigación Geográfica (CIG)*, 47(1), 73-94, EISSN:1697-9540, <http://doi.org/10.18172/cig.4730>
- Ollero, A., Sánchez Fabre, M., Losada, J., Hernández, C. (2003): "El comportamiento hídrico del río Ebro en su recorrido por Aragón". ISBN: 84-96214-29-X.

Penton, D.J., Teng, J., Ticehurst, C. et al. (2023): "The floodplain inundation history of the Murray-Darling Basin through two-monthly maximum water depth maps". *Scientific Data* 10(1), 652, <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02559-4>

Pérez Morales, A. y Gil Guirado, S. (2012): "La avenida de 22 de octubre de 1948 en la cuenca del Segura. Revisión y análisis". *Estudios Geográficos*, 73(272), 163–187, ISSN:0014-1496, <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201206>

Pino, D., Ruiz-Bellet, J. L., Balasch, J. C., Romero-León, L., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J., Castelltort, X. (2016): "Meteorological and hydrological analysis of major floods in NE Iberian Peninsula", *Journal of Hydrology*, 541(A), 63-89, ISSN:0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.008>

Rodríguez Estrella, T., López Bermúdez, F., Navarro Hervás, F., Albacete Carreira, M. (1992): "El riesgo de inundabilidad y zonación para diferentes usos del llano de inundación de la rambla litoral de Las Moreras. La avenida de septiembre de 1989". *Estudios de Geomorfología en España*, Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia, 353-364.

Romero-Díaz M.A. (2021): "Floods in Spain's Mediterranean region: Causes and effects". *Cuadernos de Investigación Geografica (CIG)*, 47(1), 3-12, EISSN:1697-9540, <http://doi.org/10.18172/cig.5058>

Sánchez Fabre, M. (2018): "Valoración y clasificación de la irregularidad interanual: Aplicación en la cuenca del Ebro". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 38(1), 137-160, ISSN:0211-9803, DOI:10.5209/AGUC.60472.

Sánchez Fabre, M. y Moya Media, C. (2011): "La cuenca del río Alfambra: análisis de las variables del medio físico que inciden en su comportamiento hidrológico". *Teruel*, 92, 7- 40.

Sánchez Fabre, M. y Ollero, A. (2017): "La crecida de junio de 1933 del río Turia en Teruel: estimación y puesta en valor". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 75, 75-100, ISSN:0212-9426, DOI:10.21138/bage.2493.

Sánchez Fabre, M., Ballarín Ferrer, D., Mora Mur, D., Ollero Ojeda, A., Serrano Notivoli, R., Saz Sánchez, M.A. (2015): "Las crecidas del Ebro medio en el comienzo del siglo XXI". *Universidad de Zaragoza-AGE*, ISBN:978-84-92522-95-8.

Sánchez Fabre, M., Ollero, A., Ballarín Ferrer, D. (2022): "Aproximación al análisis del tiempo base y distribución espacial de los episodios de crecida del río Alfambra (Cuenca del Turia)". *Cuadernos de Geografía de la Universitat de València*, 108-109(2), 833-854, ISSN: 0210-086X, DOI: 10.7203/CGUV.109.23727.

Sánchez Fabre, M., Ollero, A., del Valle, J. (2004): "La red fluvial de Aragón". *Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza*, 55-70, ISBN:84-96214-29-X.

Sánchez Fabre, M., Ollero, A., Lozano Tena, M.V. (2008): "El río Guadalaviar: su comportamiento hidrológico". *Rehald: Revista del Centro de Estudios de la Comunidad de Albarracín*, 7, 39-54.

Sánchez Fabre, M. (2022/2023): "Apuntes asignatura de Hidrogeografía". *Grado de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza*.

Sánchez O. (2018): "La cuenca del río Ara. Algunas propuestas de gestión". Repositorio Institucional de Documentos, Universidad de Zaragoza, <https://zaguan.unizar.es/record/76166?ln=es>

Sánchez, O. (2017): "Caracterización de la Cuenca Hidrográfica del río Ara. Estudio de las inundaciones y su afección en núcleos de población". Repositorio Institucional de Documentos, Universidad de Zaragoza, <https://zaguan.unizar.es/record/60795?ln=es>

Segura, F. (2003): “Model d'inundacions en ventalls al·luvials: el cas de les planes costaneres valencianes”. *Cuadernos de Geografía*, 73/74, 207-232, ISSN:0210-086X.

Segura, F. (2009): “Geomorfología, inundaciones y alteración antrópica del espacio inundable: el caso del riu Girona (Alacant, octubre de 2007)”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 49(49), 83-103.

Serrano-Notivolí, R., Mur, D., Ollero, A., Sánchez Fabre, M., Saz, M. (2014): “Respuesta hidrológica al evento de precipitación de junio de 2013 en el Pirineo central”. *Investigaciones Geográficas*, 62(62), 05-21, ISSN:0213-4691, eISSN:1989-9890, DOI: 10.14198/INGEO2014.62.01.

Soler, M. y Puigdefábregas, C. (1972): “Esquema litológico del Alto Aragón occidental”. *Digital CSIC, Pirineos*, 106, 5-15, ISSN: 0373-2568.

Sutanto, S. y Van Lanen, H. (2020): “Streamflow drought: implication of drought definitions and its application for drought forecasting”. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(7), 3991-4023, <https://doi.org/10.5194/hess-25-3991-2021>

Tarasova, L., Lun, D., Merz, R. et al. (2023): “Shifts in flood generation processes exacerbate regional flood anomalies in Europe”. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 49, <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00714-8>

Tramblay, Y., Arnaud, P., Artigue, G., Lang, M., Paquet, E., Neppel, L., Eric, S. (2023): “Changes in Mediterranean flood processes and seasonality”. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(15), 2973-2987, <https://doi.org/10.5194/hess-27-2973-2023>

Zegait, R., Şen, Z., Pulido-Bosch, A., Madi, H., & Hamadeha, B. (2022): “Flash Flood Risk and Climate Analysis in the Extreme South of Algeria (the Case of In-Guezzam City)”. *Geomatics and Environmental Engineering*, 16(4), 157–185. <https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.4.157>

11.2. Recursos utilizados.

Ballester, G. Ogimet home page. *Ogimet.com*, <https://www.ogimet.com/home.phtml.en>

Cuencas y subcuencas hidrográficas. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/cuencas-y-subcuencas.html>

Datos climáticos mundiales. *Climate-data.org*, <https://es.climate-data.org/>

De la Hoz Montoya, J. (s.f.): “Los regímenes fluviales”. *Iesnestoralmendros.es*, https://www.iesnestoralmendros.es/joaquin/asignaturas/Geo/03_aguas/32_los_regmenes_fluviales.html

F-Zarza, L., (2021): “¿Cuáles son los afluentes del río Ebro?”. *IAgua*, <https://www.iagua.es/respuestas/cuales-son-afluentes-rio-ebro>

GeoPortal Sitebro. *Chebro.es*, <https://iber.chebro.es/geoportal/>

Glosario de términos geográficos del Atlas didáctico del IGN. *Ign.es*, https://educativo.ign.es/atlas-didactico/recursos/Glosario_terminos_geograficos_IGN_AGE.pdf

Gobierno de Aragón. *Atlas Climático de Aragón*. Portal del Gobierno de Aragón, Gobierno de Aragón. <https://www.aragon.es/-/atlas-climatico-de-aragon>

Gobierno de Aragón. *Instituto Aragonés de Estadística (IAEST)*. Portal del Gobierno de Aragón, Gobierno de Aragón. <https://www.aragon.es/organismos/departamento-de-economia-empleo-e-industria/direccion-general-de-politica-economica/instituto-aragones-de-estadistica-iaest->

Gobierno de Aragón. *Padrón municipal de habitantes. Pirámides de población, Aragón*. Portal del Gobierno de Aragón, Gobierno de Aragón. <https://www.aragon.es/-/piramides-de-poblacion.-aragon>

INE. Instituto Nacional de Estadística, <https://ine.es/>

Inicio. Portal CHEbro, <https://www.chebro.es/>

La Hidrología: Un Estudio del Agua en la Tierra. *Algoreducation.com*, <https://cards.algoreducation.com/es/content/GiiXZ6dO/evolucion-hidrologia-impacto>

MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie)*, <https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx>

MTIAE. *Aragon.es*, <https://aplicaciones.aragon.es/mtiae/menu?idp=4&action=menu&tipo=7>

Organismo Autónomo Centro Nacional de Información Geográfica. *Centro de Descargas del CNIG (IGN)*, <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>

Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica. *Gob.es*, <https://sig.mapama.gob.es/redes-seguimiento/>

SAIH Ebro. Datos: Aforos en río. *Saihebro.com*, <http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/datos/mapas/tipoestacion:A/mapa:H16>

SUBCUENCA DEL RÍO ARAGÓN TRAMO SUPERIOR -54- (s. f.). *Chebro.es*, https://src.chebro.es/documents/20121/61178/54_Aragon_tramo_superior.pdf/c00813fe-d3de-2443-5621-eda5c4fda232

12. Anexos.

12.1. Anexo 1. Excel: Relación de eventos de crecida determinados a partir de los caudales medios diarios.

En este apartado lo que se ha realizado es relacionar y ordenar todos los eventos de crecida ocurridos en la subcuenca del Alto Aragón (en las estaciones de aforo de Sigüés en el río Esca, Zuriza y Biniés en el río Veral, Javierregay en el río Aragón Subordán y Martes, Canfranc y Jaca en el río Aragón) para el periodo de tiempo disponible en el Sistema de Anuario de Aforos, es decir, todos los datos que superaban un determinado nivel, y a partir de ellos, se ha detectado diferentes eventos de crecida. El número de eventos que salen es muy elevado, tal y como se ve en tabla 40.