



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO

2017

ANÁLISIS DE REGISTROS DE TURBIDEZ Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL EBRO



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO





ANÁLISIS DE REGISTROS DE TURBIDEZ Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL EBRO

PROMOTOR:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



ÁREA:

Comisaría de Aguas. Área de Calidad de las Aguas

DIRECCIÓN DEL PROYECTO:

Javier San Román Saldaña

EMPRESA CONSULTORA:

RIUS: Fluvial Dynamics Research Group,

Universitat de Lleida



EQUIPO DE TRABAJO:

Ramon Batalla, Damià Vericat, Alvaro Tena

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:

11.663,19 EUROS (IVA INCLUIDO)

CONTENIDO:

MEMORIA/ANEJOS/CARTOGRAFÍA/CD

AÑO DE EJECUCIÓN:

2017

FECHA ENTREGA:

Enero 2018



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior izquierda: Río Cinca en Monzón durante aguas bajas (Alvaro Tena)

Superior derecha: Río Cinca en Monzón durante una crecida (Alvaro Tena)

Inferior izquierda: Caja de lecturas en la estación de calidad de aguas de Xerta (910, Alvaro Tena),

Inferior derecha: Equipo de filtrado (Alvaro Tena)

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2017). Análisis de registros de turbidez y transporte de sedimentos en la cuenca del Ebro. 2017, 117 pág. Disponible en PDF en la web: <http://www.chebro.es>

El presente informe pertenece al Dominio Público en cuanto a los Derechos Patrimoniales recogidos por el Convenio de Berna. Sin embargo, se reconocen los Derechos de los Autores y de la Confederación Hidrográfica del Ebro a preservar la integridad del mismo, las alteraciones o la realización de derivados sin la preceptiva autorización administrativa con fines comerciales, o la cita de la fuente original en cuanto a la infracción por plagio o colusión. A los efectos prevenidos, las autorizaciones para uso no científico del contenido deberán solicitarse a la Confederación Hidrográfica del Ebro.



ANÁLISIS DE REGISTROS DE TURBIDEZ Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL EBRO

Este informe presenta los resultados y recomendaciones del análisis de las series de turbidez registradas por la red de alerta SAICA para su uso en el estudio del transporte y balance de sedimentos en la cuenca, incluyendo la aportación de sedimentos a embalses, una vez transformados los datos de turbidez a concentraciones de sedimentos (sólidos) en suspensión. Para el análisis de estas series ha sido necesaria la utilización del paquete estadístico R[®], lo cual ha permitido trabajar con un volumen más grande de datos que con otros programas de estadística básica. Una vez analizadas las series se han calibrado un total de 4 sensores, representativos de todos los equipos presentes en las estaciones del Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA), con el objetivo de establecer relaciones estadísticas entre turbidez y concentración de sólidos en suspensión. Estas relaciones permiten transformar la totalidad de los registros a concentración para el posterior cálculo de balance sedimentario. En este contexto, se describen los métodos empleados para la calibración de los diferentes turbidímetros con los que están equipadas las estaciones de calidad de aguas de la Red SAICA, y la evaluación de estas calibraciones. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo y se enumeran una serie de consideraciones para la mejora en la obtención y de la representatividad de las series de turbidez.

TURBIDITY RECORDS ANALYSIS AND SEDIMENT TRANSPORT IN THE EBRO BASIN

This report presents the results and recommendations of the analysis of the turbidity series recorded by the SAICA network for use in the study of sediment transport and budget in the basin, including the contribution of sediments to reservoirs, once the data has been transformed from turbidity to suspended sediment concentrations. For the analysis of these series it has been necessary to use the R[®] statistical package, which has allowed us to work with a larger volume of data than with other basic statistics programs. Once the series have been analysed, a total of 4 sensors representative of all the equipment present in the stations of the Automatic Water Quality Information System (SAICA), have been calibrated with the objective of establishing statistical relationships between turbidity and suspended sediment concentration. These relationships allow converting all the records to concentration for the subsequent calculation of sedimentary budget. In this context, the methods used for the calibration of the different turbidimeters with which the water quality stations of the SAICA Network are equipped, and the evaluation of these calibrations are described. Finally, the conclusions of the work are presented and a series of considerations for the improvement of the representativeness of the turbidity series are listed.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

ANÁLISIS DE REGISTROS DE TURBIDEZ Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL EBRO.....	1
ANÁLISIS DE REGISTROS DE TURBIDEZ Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL EBRO.....	3
1. ANTECEDENTES	19
2. RED DE ALERTA (SAICA)	20
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1 REVISIÓN COMPLETA Y UNIFICACIÓN DE LA BASE DE DATOS EXISTENTE	21
3.2 MUESTREOS DE CAMPO Y CALIBRACIONES IN-SITU EN ESTACIONES DE REFERENCIA.....	27
3.2.1. Calibración de las sondas de turbidez seleccionadas.....	28
4. RESULTADOS	30
4.1. CINCA EN FRAGA (968)	30
4.2. CINCA EN MONZÓN (916)	33
4.3. ALCANADRE EN BALLOBAR (926)	34
4.4. EBRO EN XERTA (910)	34
5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA.....	36
5.1. PROPUESTAS PARA ESTACIONES DE REFERENCIA EN LA RED DE ESTACIONES SAICA (DOBLE DECANTADOR DE TRES COMPARTIMENTOS Y TURBIDÍMETRO HACH® SS6)	37
5.2. PROPUESTAS PARA ESTACIONES EQUIPADAS CON UN ISCO® CONECTADO A UNA SONDA YSI® EN POZO TRANQUILIZADOR ESTACIÓN AFORO.....	38
5.3. DOBLE DECANTADOR DE TRES COMPARTIMENTOS CON TURBIDÍMETRO ENDRESS+HAUSER® EN EL PRIMER COMPARTIMENTO	38
5.4. CONSIDERACIONES FINALES	39

ÍNDICE ANEXOS

Estación de Calidad de Aguas 901 - Ebro en Miranda	45
Estación de Calidad de Aguas 902 - Ebro en Pignatelli.....	47
Estación de Calidad de Aguas 903 - Arga en Etxauri	49
Estación de Calidad de Aguas 904 - Gállego en Jabarrella.....	51
Estación de Calidad de Aguas 905 - Ebro en Presa Pina.....	53
Estación de Calidad de Aguas 906 - Ebro en Ascó	55
Estación de Calidad de Aguas 907 - Ebro en Haro.....	57
Estación de Calidad de Aguas 908 - Ebro en Mendavia.....	59
Estación de Calidad de Aguas 909 - Ebro en Zaragoza	61
Estación de Calidad de Aguas 910 - Ebro en Xerta.....	63
Estación de Calidad de Aguas 911 - Zadorra en Arce	65
Estación de Calidad de Aguas 912 - Iregua en Islallana.....	67
Estación de Calidad de Aguas 913 - Segre en Ponts	69
Estación de Calidad de Aguas 914 - Canal de Serós en Lleida	70
Estación de Calidad de Aguas 916 - Cinca en Monzón	73
Estación de Calidad de Aguas 918 - Aragon en Gallipenzo	75
Estación de Calidad de Aguas 919 - Gállego en Villanueva.....	77
Estación de Calidad de Aguas 920 - Arakil en Errotz	79
Estación de Calidad de Aguas 921 - Ega en Andosilla.....	81
Estación de Calidad de Aguas 922 - Oca en Oña.....	83
Estación de Calidad de Aguas 924 - Tirón en Ochánduri	85
Estación de Calidad de Aguas 926 - Alcanadre en Ballobar	87
Estación de Calidad de Aguas 927 - Guadalope en Calanda.....	89
Estación de Calidad de Aguas 928 - Martin en Alcaine	91
Estación de Calidad de Aguas 929 - Elorz en Pamplona (Echavacóiz).....	93
Estación de Calidad de Aguas 930 - Ebro en Cabañas	95
Estación de Calidad de Aguas 968 - Cinca en Fraga	97



Estación de Calidad de Aguas 969 - Ebro en Gelsa	99
Estación de Calidad de Aguas 970 - Ebro en Tortosa	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Correspondencia entre las Estaciones de Calidad de Aguas (SAICA) y Estaciones de Aforo (SAIH) utilizadas en el presente estudio.	22
Tabla 2. Ejemplo de tabla obtenida para cada estación de calidad del agua. En ellas se presenta el porcentaje de vacíos, máximos, mínimos y promedios en la series de caudal (A001) y turbidez (901) del río Ebro en Miranda de Ebro. El anexo I presenta la totalidad de las tablas obtenidas.	23
Tabla 3. Relación de los distintos sistemas de medición y decantación en las diferentes estaciones de calidad de aguas de la cuenca del Ebro.	27
Tabla 4. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A001) y turbidez (901) del río Ebro en Miranda de Ebro.	46
Tabla 5. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A284) y turbidez (902) del río Ebro en Pignatelli y Tudela, respectivamente.	48
Tabla 6. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A069) y turbidez (903) del río Arga en Etxauri, respectivamente.	50
Tabla 7. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal del río Gállego en Sabiñanigo (A319) y turbidez (904) del río Gállego en Jabarrella, respectivamente.	52
Tabla 9. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A163) y turbidez (906) del río Ebro en Ascó.	56
Tabla 10. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de nivel y turbidez (907) del río Ebro en Haro.	58
Tabla 11. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A120) y turbidez (908) del río Ebro en Mendavia.	60
Tabla 12. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A011) y turbidez (909) del río Ebro en Zaragoza.	62
Tabla 13. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A027) del río Ebro en Tortosa y turbidez (910) en Xerta.	64
Tabla 14. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A074) y turbidez (911) del río Zadorra en Arce.	66
Tabla 15. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A036) y turbidez (912) del río Iregua en Islallana.	68
Tabla 16. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A083) del río Segre en Oliana y turbidez (913) en Ponts.	70



Tabla 17. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de nivel (914) y turbidez (914) del Canal de Serós en Lleida.	72
Tabla 18. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A293) y turbidez (916) del río Cinca en las Pilas y en Monzón, respectivamente.	74
Tabla 19. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A005) del río Aragón en Caparrosos y turbidez (918) en Gallipienzo.	76
Tabla 20. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A089) del río Gállego en Zaragoza y turbidez (919) en Villanueva.	78
Tabla 21. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A068) del río Arakil en Asiáin y turbidez (920) en Errotz.	80
Tabla 22. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A003) y turbidez (921) del río Ega en Andosilla.	82
Tabla 23. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A093) y turbidez (922) del río Oca en Oña.	84
Tabla 24. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A050) y turbidez (924) del río Tirón en Ochánduri.....	86
Tabla 25. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A193) y turbidez (926) del río Alcanadre en Ballobar.	88
Tabla 26 Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de nivel y turbidez (927) del río Guadalope en Calanda.....	90
Tabla 27. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A127) y turbidez (928) del río Martín en Alcaine.....	92
Tabla 28. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A270) y turbidez (929) del río Elorz en Pamplona (Echavacóiz), respectivamente.	94
Tabla 29. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de nivel (914) y turbidez (914) del Canal de Serós en Lleida.	96
Tabla 30. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A017) y turbidez (968) del río Cinca en Fraga.....	98
Tabla 31. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A263) y turbidez (969) del río Ebro en Gelsa.	100
Tabla 32. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A027) y turbidez (970) del río Ebro en Tortosa.....	102

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones SAICA y porcentaje de vacíos de las series de turbidez.	24
Figura 2. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A001 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 901 registra turbidez (azul claro), ambas en el río Ebro en Miranda de Ebro. El anexo I presenta la totalidad de las CFC obtenidas.	25
Figura 3. Hidrograma (estación de aforo A001) y turbidigrama (estación 901 de calidad de aguas) del río Ebro en Miranda de Ebro. El anexo I presenta la totalidad de los hidrogramas y turbidigramas obtenidos.	26
Figura 4. Relación caudal (estación de aforo A001) y turbidez (estación 901 de calidad de aguas) en el río Ebro en Miranda de Ebro. El anexo I presenta la totalidad de las relaciones obtenidas.	26
Figura 5. (izquierda) Equipo de filtrado y, (Derecha) ejemplo de filtros después del proceso de filtrado.	29
Figura 6. Sensor YSI® 6136 (Izquierda) conectado a un tomamuestras automático ISCO 6712 (Derecha) 31	
Figura 7. Calibración del sensor YSI® 6136 con muestras de laboratorio (estación de Fraga) (CSS indica Concentración de Sedimentos en Suspensión, mientras que NTU indica las unidades de turbidez). 31	
Figura 8. Muestreados automático ISCO 3700 en la estación del Cinca en Fraga (Izquierda). Río Cinca durante una crecida el 15-10-18 (Derecha).	32
Figura 9. Calibración del sensor YSI® 6136 con todas las muestras obtenidas en la estación (muestras de laboratorio y muestras de ISCO).	32
Figura 10. Turbidímetro Hach SS6® la estación de calidad de aguas de Monzón (Izquierda) y, ISCO® 3700 instalado de manera permanente dentro de la misma estación (Derecha).	33
Figura 11. Calibración del sensor Hach® SS6 con muestras directas del río en la estación de Monzón.	33
Figura 12. Calibración del sensor Hach® SS6 en la estación del río Alcanadre en Ballobar.	34
Figura 13. Turbidímetro Endress+Hauser® en la estación de calidad de aguas de Xerta (Izquierda) y, Doble tanque de decantación en el que se encuentra el turbidímetro tomando las medidas (Derecha)	35
Figura 14. Calibración del sensor Endress + Hauser® en la estación del río Ebro en Xerta.	35
Figura 15. Distribución geográfica de las estaciones de la red SAICA y porcentaje de vacíos de las series de turbidez	44

Figura 16. Distribución del % de vacíos (ND) en la estación de calidad de aguas 901 del río Ebro en Miranda de Ebro.	45
Figura 17. (Izquierda) Hidrograma (estación de aforo A001) y turbidograma (estación 901 de calidad de aguas) y (Derecha) Relación entre caudal y turbidez con la totalidad de los datos con registro en el río Ebro en Miranda de Ebro.	46
Figura 18. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 901 del río Ebro en Miranda de Ebro.	47
Figura 19. (Izquierda) Hidrograma (estación de aforo A001) y turbidograma (estación 901 de calidad de aguas) y (Derecha) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Miranda de Ebro.....	48
Figura 20. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 903 del río Arga en Etxauri.	49
Figura 21. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Arga en Etxauri y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A069) y turbidograma (estación 903 de calidad de aguas).	50
Figura 22. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 903 del río Arga en Etxauri.	51
Figura 23. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Gállego en Sabiñanigo y río Gállego en Jabarrella, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A319) y turbidograma (estación 904 de calidad de aguas).	52
Figura 24. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 905 - Ebro en Presa Pina.....	53
Figura 25. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en el río Ebro en la Presa de Pina, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo E286) y turbidograma (estación 905 de calidad de aguas).	54
Figura 26. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 906 del río Ebro en Ascó.....	55
Figura 27. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Ascó y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A163) y turbidograma (estación 906 de calidad de aguas).	56
Figura 28. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 907 - Ebro en Haro.....	57
Figura 29. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en el río Ebro en Haro y (Derecha) Hidrograma y turbidograma (estación 907 de calidad de aguas).	58
Figura 30. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 908 del río Ebro en Mendavia.	59
Figura 31. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Mendavia y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A120) y turbidograma (estación 908 de calidad de aguas).	60
Figura 32. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 909 del río Ebro en Zaragoza.	61
Figura 33. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Zaragoza y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A011) y turbidograma (estación 909 de calidad de aguas).	62

Figura 34. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 910 del río Ebro en Xerta.....	63
Figura 35. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Tortosa y Xerta, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A027) y turbidograma (estación 910 de calidad de aguas).	64
Figura 36. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 911 del río Zadorra en Arce.	65
Figura 37. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Zadorra en Arce, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A074) y turbidograma (estación 911 de calidad de aguas).	66
Figura 38. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 912 del río Iregua en Islallana.....	67
Figura 39. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Iregua en Islallana, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A036) y turbidograma (estación 912 de calidad de aguas).	68
Figura 40. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 913 del río Segre en Ponts.	69
Figura 41. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Segre en Oliana y Ponts, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A083) y turbidograma (estación 913 de calidad de aguas).	70
Figura 42. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 914 - Canal de Serós en Lleida	71
Figura 43. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en Canal de Serós en Lleida y (Derecha) Hidrograma y turbidograma (estación 914 de calidad de aguas).....	72
Figura 44. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 916, Cinca en Monzón	73
Figura 45. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en el río Cinca en las Pilas y en Monzón, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A293) y turbidograma (estación 916 de calidad de aguas).	74
Figura 46. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 918, Aragón en Gallipenzo.	75
Figura 47. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Aragón en Caparrosos y Gallipienza, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A005) y turbidograma (estación 918 de calidad de aguas).	76
Figura 48. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 919, Gállego en Villanueva.	77
Figura 49. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Gállego en Zaragoza y Villanueva, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A089) y turbidograma (estación 919 de calidad de aguas).	78
Figura 50. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 920, Arakil en Errotz.	79

Figura 51. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Arakil en Asiáin y Errotz, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A068) y turbidograma (estación 920 de calidad de aguas).	80
Figura 52. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 921 - Ega en Andosilla.	81
Figura 53. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ega en Andosilla, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A003) y turbidograma (estación 921 de calidad de aguas).	82
Figura 54. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 922 - Oca en Oña.....	83
Figura 55. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Oca en Oña, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A093) y turbidograma (estación 922 de calidad de aguas).	84
Figura 56. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 924 - Tirón en Ochánduri	85
Figura 57. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Tirón en Ochánduri y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A050) y turbidograma (estación 924 de calidad de aguas).	86
Figura 58. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 926, Alcanadre en Ballobar.....	87
Figura 59. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Alcanadre en Ballobar y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A193) y turbidograma (estación 926 de calidad de aguas).	88
Figura 60. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 927, Guadalope en Calanda.	89
Figura 61. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en el río Guadalope en Calanda y (Derecha) Hidrograma y turbidograma (estación 927 de calidad de aguas).....	90
Figura 62. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 928, Martin en Alcaine	91
Figura 63. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Martin en Alcaine y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A127) y turbidograma (estación 928 de calidad de aguas).	92
Figura 64. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 929, Elorz en Echavacóiz.....	93
Figura 65. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Elorz en Pamplona (Echavacóiz), respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A270) y turbidograma (estación 929 de calidad de aguas).	94
Figura 66. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 930 - Ebro en cabañas.....	95
Figura 67. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en Canal de Serós en Lleida y (Derecha) Hidrograma y turbidograma (estación 914 de calidad de aguas).....	96
Figura 68. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 968, Cinca en Fraga.....	97

Figura 69. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Cinca en Fraga y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A017) y turbidigrama (estación 968 de calidad de aguas).....	98
Figura 70. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 929, Elorz en Echavacóiz	99
Figura 71. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Gelsa y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A263) y turbidigrama (estación 969 de calidad de aguas).....	100
Figura 72. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 970, Ebro en Tortosa	101
Figura 73. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Tortosa y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A027) y turbidigrama (estación 970 de calidad de aguas).....	102
Figura 74. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A001 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 901 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Miranda de Ebro.	103
Figura 75. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A284 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 902 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro Pignatelli.....	103
Figura 76. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A069 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 903 está activo (azul claro), ambas en el río Arga en Etxauri	104
Figura 77. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A319 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 904 está activo (azul claro), ambas en el río Gállego en Jabarrella	104
Figura 78. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo E286 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 905 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Presa Pina.....	105
Figura 79. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A163 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 906 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro Ascó CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 907	105
Figura 80. Curva de Frecuencia de Niveles (CFN) de la estación de aforo 907 (azul oscuro) y CFN de los niveles registrados mientras que el turbidímetro de la estación 907 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Haro	106
Figura 81. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A120 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 908 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Mendavia.....	106

Figura 82. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A011 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 909 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Zaragoza	107
Figura 83. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A027 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 910 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Xerta.....	107
Figura 84. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A074 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 911 está activo (azul claro), ambas en el río Zadorra en Arce	108
Figura 85. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A036 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 912 está activo (azul claro), ambas en el río Iregua en Islallana CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 913	108
Figura 86. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A083 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 913 está activo (azul claro), ambas en el río Segre en Ponts	109
Figura 87. Curva de Frecuencia de Niveles (CFN) de la estación de aforo 914 (azul oscuro) y CFN de los niveles registrados mientras que el turbidímetro de la estación 914 está activo (azul claro), ambas en el Canal de Serós en Lleida	109
Figura 88. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A293 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 916 está activo (azul claro), ambas en el río Cinca en Monzón.....	110
Figura 89. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A005 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 918 está activo (azul claro), ambas en el río Aragon en Gallipenzo	110
Figura 90. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A089 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 919 está activo (azul claro), ambas en el río Gállego en Villanueva.....	111
Figura 91. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A089 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 920 está activo (azul claro), ambas en el río Arakil en Errotz	111
Figura 92. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A003 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 921 está activo (azul claro), ambas en el río Ega en Andosilla.....	112

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 922.....	112
Figura 93. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A093 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 922 está activo (azul claro), ambas en el río Oca en Oña	112
Figura 94. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A050 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 924 está activo (azul claro), ambas en el río Tirón en Ochánduri.....	113
Figura 95. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A193 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 926 está activo (azul claro), ambas en el río Alcanadre en Ballobar	113
Figura 96. Curva de Frecuencia de Niveles (CFN) de la estación de aforo 927 (azul oscuro) y CFC de los niveles registrados mientras que el turbidímetro de la estación 927 está activo (azul claro), ambas en el río Guadalupe en Calanda.....	114
Figura 97. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A127 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 928 está activo (azul claro), ambas en el río Martín en Alcaine	114
Figura 98. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A270 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 929 está activo (azul claro), ambas en el río Elorz en Pamplona (Echavacóiz)	115
Figura 99. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A286 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 930 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Cabañas.....	115
Figura 100. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A018 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 968 está activo (azul claro), ambas en el río Cinca en Fraga	116
Figura 101. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A263 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 969 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Gelsa.....	116
Figura 102. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A027 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 970 está activo (azul claro), ambas en el río Cinca en Fraga Ebro en Tortosa	117





1. ANTECEDENTES

La mayor parte de los ríos de la cuenca del Ebro están regulados por grandes presas que alteran su dinámica hidrológica y geomorfológica, y los procesos bio-físicos asociados (p.ej. hábitat de peces e invertebrados, vegetación de ribera). La dinámica morfosedimentaria es un elemento fundamental para el correcto funcionamiento de los ecosistemas fluviales, y un aspecto fundamental para el correcto diseño, seguimiento y evaluación de, de proyectos de gestión y restauración o mejora fluvial, como por ejemplo aquellos basados en las crecidas de mantenimiento y la rehabilitación del régimen ambiental de caudales. Entendemos por dinámica morfosedimentaria todos los elementos y procesos asociados a la erosión y transporte de sedimentos y su sedimentación. Esta dinámica incluye la caracterización de los procesos de generación, transferencia y sedimentación de material particulado (desde arcilla y limos, hasta gravas, cantos y bloques) a lo largo del perfil longitudinal de los ríos. Estos elementos, su distribución granulométrica, disposición, estructura en el lecho y movilidad son esenciales interactúan con la hidráulica del flujo de agua circulante y crean las condiciones necesarias para el sustento de las comunidades bentónicas y de ribera.

La presión o impactos antrópicos ocasionados por ejemplo por las presas las extracciones de áridos, las escolleras y las motas fragmentan el corredor fluvial e impiden la conexión entre el cauce y la llanura de inundación, y deben ser analizados en cuanto su impacto sobre el transporte de sedimentos a lo largo de las cuencas. Esta información es fundamental para el diseño, implementación y seguimiento de las acciones de gestión y restauración fluvial que las confederaciones hidrográficas y las agencias del agua llevan a cabo para la mejora de la calidad de las masas de agua presentes en sus demarcaciones. Los científicos otorgan una importancia fundamental de los procesos físicos (agua, sedimentos, morfología) sobre el funcionamiento de los ríos y es por ello que se justifica cada vez más llevar a cabo estudios que profundicen en este tema, que generen información de calidad y que soporten los planes de gestión y sus acciones concretas como los planes de regímenes ambientales de caudales y la gestión de los sedimentos en los embalses. En este sentido los estudios sobre sedimentos experimentan un importante retraso en relación con los estudios hidrológicos y ecológicos.

La cuantificación de los flujos de sedimentos en las cuencas afectadas por presas (tanto entradas como salidas) es fundamental para comprender el impacto de estas sobre la retención de sedimentos, el aterramiento de embalses, anticipar los efectos de los escenarios de cambio ambiental y ayudar en el desarrollo de los programas de caudales ecológicos y gestión cuencas.

Históricamente, el estudio de la dinámica del sedimento en suspensión se ha llevado a cabo mediante el muestreo puntual de sedimentos, que posteriormente es extrapolado a escalas temporales mayores. Este método es adecuado quizás para el cálculo de cargas transportadas por el río anualmente, sin embargo, cuando el objetivo es estudiar la variabilidad de estos procesos, este método tiene una incertidumbre asociada, ya que los procesos de transporte de sedimentos no son lineales. En las últimas décadas, la necesidad de tener registros en continuo para analizar la variabilidad de los flujos sedimentarios en el tiempo y espacio, ha incrementado el uso de la turbidez como variable representativa de la concentración de sedimentos en suspensión transportada por los ríos. La disponibilidad de estas series en continuo permite analizar la variabilidad de un proceso tan complejo como es el transporte de sedimentos con una gran precisión, ya que la frecuencia de registro de estos instrumentos puede llegar a ser muy alta (por ej. minutal e incluso superior). Todo ello permite estudiar las relaciones que existen entre variables ambientales (precipitación y temperatura), hidrológicas (caudal), y de transporte de sedimentos (concentraciones de sedimentos) a múltiples escalas temporales. Dichos análisis son fundamentales para entender las relaciones causa-efecto y su variabilidad, lo que permite entender el ciclo de producción, transporte y transferencia de sedimentos a lo largo de los sistemas fluviales.

La Confederación Hidrográfica del Ebro, dispone de series de turbidez recogidas por las estaciones de calidad de las estaciones del Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA) a lo largo de la cuenca del Ebro. Estas series son de gran interés, y si su calidad se pudiera verificar permitirían avanzar en el conocimiento de la dinámica hidrosedimentaria de la cuenca del río Ebro. Este conocimiento serviría como instrumento científico-técnico para avanzar en la mejora de la gestión ambiental de sus ríos, y su aplicación a temas y casos de estudio concretos y relevantes para la Confederación Hidrográfica del Ebro.

En este contexto, el **objetivo** de este estudio es realizar un análisis detallado de las series de turbidez que se obtienen en la red de estaciones SAICA para determinar su bondad de cara al estudio de patrones de transporte de sedimentos en ríos, balance de sedimentos en cuencas y aterramiento de embalses, y la propuesta, si es necesario, de mejoras en la gestión de los equipos de medición.

2. RED DE ALERTA (SAICA)

El Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA) fue implementado por la Dirección General de Calidad de las Aguas del Ministerio de Obras Públicas, Transportes

y Medio Ambiente (hoy Dirección General del Agua y Ministerio de Medio Ambiente, respectivamente), en dos fases entre septiembre de 1993 y noviembre de 1995.

La Red SAICA actualmente consta de aproximadamente 200 estaciones automáticas de alerta de las cuales 26 en la cuenca del Ebro. Se ubican en zonas con usos especialmente críticos (abastecimiento, zonas protegidas, etc.) que necesitan acciones preventivas y en puntos en los que se prevé posibles episodios de contaminación (grandes aglomeraciones urbanas, vertidos industriales, etc.). Estas estaciones registran la información cada 15 minutos a partir de la media de los valores obtenidos por los equipos cada 30 segundos. Con estos valores se forma una base de datos histórica que es enviada al centro de control de cada cuenca hidrográfica. La finalidad de acumular toda esta información sobre la situación de la calidad de las aguas continentales superficiales, es la de realizar un seguimiento cualitativo sobre la contaminación del agua y su evolución en el tiempo. En esta red se registran de manera automática y en continuo varios parámetros físico-químicos indicadores de calidad de las aguas continentales superficiales como son: nivel, caudal, **turbidez**, pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, carbono orgánico disuelto, carbono orgánico total, amonio, fosfatos, nitratos y algunos metales pesados. Para la consecución de este trabajo se utilizarán las series de turbidez y se analizará su representatividad. Para ello se plantea realizar un análisis crítico de los registros y una propuesta de mejoras.

3. METODOLOGÍA

3.1 REVISIÓN COMPLETA Y UNIFICACIÓN DE LA BASE DE DATOS EXISTENTE

El objetivo es realizar un análisis de la utilidad de las medidas de turbidez obtenidas en la red de estaciones SAICA. Se considera que la utilidad estará determinada por el periodo disponible de registros, la representatividad de estos y el rango de operatividad de las sondas en base al rango de turbidez potencialmente alcanzada en el punto de muestreo. Para ello se procedió a la descarga de la totalidad de las series de turbidez disponibles en la página del SAICA (<http://www.saicaebro.com/redalerta/inicio.php>; la descarga de los datos se completó el día 4 de 10 de 2017). Debido al gran volumen de datos y a la imposibilidad de utilizar softwares básicos para el tratamiento de bases de datos (i.e. Excel®) se ha utilizado el paquete estadístico R®, capaz de manejar bases de datos de gran tamaño. Mediante este programa, se ha procedido a la localización de los huecos y llenado de serie (sustituidos por valores NA), proceso fundamental para que las series temporales sean continuas y comparables las unas con las otras. Para poder realizar un análisis coherente de estas series de turbidez, es necesario complementarlas con las series de caudal disponibles. En la mayoría de los casos se puede

encontrar una estación de aforo de la red del Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro (SAIH; <http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/principal>) al lado de las estaciones de calidad. En el caso en el que no exista una estación de aforo cercana se han utilizado los datos de la estación más cercana y han sido transitados hasta la estación analizada (Tabla 1). En los casos en los que había demasiada distancia hasta la estación de aforo más próxima, o simplemente no había ninguna cercana, se utilizaron las series de nivel de agua obtenidas en la misma estación de calidad de agua del SAICA, aunque como se podrá ver en el anexo I (i.e. fichas sintéticas de las estaciones de calidad), el resultado no es el idóneo. Como se hizo con la series de turbidez, se ha procedido al rellenado de los huecos de la serie de caudal o profundidad en su defecto.

Tabla 1. Correspondencia entre las Estaciones de Calidad de Aguas (SAICA) y Estaciones de Aforo (SAIH) utilizadas en el presente estudio.

Estaciones de Calidad de Aguas (SAICA)	Estaciones de Aforo (SAIH)
901 - Ebro en Miranda	A001 - Ebro en Miranda
902 - Ebro en Pignatelli (El Bocal)	A284 - Ebro en Tudela
903 - Arga en Echauri	A069 - Arga en etxauri
904 - Gállego en Jabarrella	A319 - Gállego en Sabiñanigo
905 - Ebro en Presa Pina	E286 - Presa Pina
906 - Ebro en Ascó	A163 - Ebro en Ascó
908 - Ebro en Mendavia	A120 - Ebro en Mendavia
909 - Ebro en Zaragoza-La Almozara	A011 - Ebro en Zaragoza
910 - Ebro en Xerta	A027 - Ebro en Tortosa
911 - Zadorra en Arce	A074 - Zadorra Arce
912 - Iregua en Islallana	A036 - Iregua Islallana
913 - Segre en Ponts	A083 - Segre Oliana
916 - Cinca en Monzón	A293 - Cinca en el puente las pilas
918 - Aragon en Gallipenzo	A005 - Aragon Caparroso
919 - Gallego en Villanueva	A089 - Gállego en Zaragoza
920 - Arakil en Errotz	A068 - Arakil en Asiáin
921 - Ega en Andosilla	A003 - Ega en Andosilla
922 - Oca en Oña	A093 - Oca en Oña
924 - Tirón en Ochánduri	A050 - Tirón Ochánduri
926 - Alcanadre en Ballobar	A193 - Alcanadre en Ballobar
928 - Martin en Alcaine	A127 - Martín Alcaine
929 - Elorz en Echavacóiz	A270 - Elorz Pamplona
930 - Ebro en cabañas	A286 - Ebro en Alagon
968 - Cinca en Fraga	A017 - Cinca en Fraga
969 - Ebro en Gelsa	A263 - Ebro en Gelsa
970 - Ebro en Tortosa	A027 - Ebro en Tortosa

Una vez completadas las series, se ha realizado un análisis estadístico básico de todas las series: porcentaje de vacíos en la serie, registro máximo, mínimo y promedio (Tabla 2). Con esta información se ha podido evaluar la duración de las series y la bondad de estas series en función de los periodos en los que las sondas no registraban datos. A partir de estos datos, se ha realizado una figura (Figura 1) en la que se muestra el porcentaje de tiempo en el que las sondas de turbidez no registran valores, y se ha establecido una clasificación en la que se diferencian **series aceptables para su uso**, con un porcentaje de vacíos inferior al 10%, series **moderadamente aceptables**, con un porcentaje de vacíos entre el 10 y el 20%, y por último las **series no aceptables**, con un porcentaje de vacíos superior al 20%.

Tabla 2. Ejemplo de tabla obtenida para cada estación de calidad del agua. En ellas se presenta el porcentaje de vacíos, máximos, mínimos y promedios en la series de caudal (A001) y turbidez (901) del río Ebro en Miranda de Ebro. El anexo I presenta la totalidad de las tablas obtenidas.

	Series de Turbidez (901)				Series de Caudal (A001)			
	% NA	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% NA	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1995-96	-	-	-	-	-	-	-	-
1996-97	40,58	236,00	1,00	21,10	-	-	-	-
1997-98	13,73	999,00	9,00	28,00	0,00	530,20	11,60	44,47
1998-99	6,30	999,00	3,00	35,89	29,83	313,80	10,50	42,64
1999-00	19,74	83,00	4,00	16,59	80,15	484,30	51,00	104,82
2000-01	3,39	249,00	2,00	17,57	80,74	622,00	51,00	129,25
2001-02	3,79	73,00	1,00	4,72	98,48	242,00	51,00	109,26
2002-03	3,48	312,00	1,00	10,93	81,68	1216,30	51,00	154,30
2003-04	33,59	175,00	1,00	12,58	80,36	600,60	51,00	131,52
2004-05	7,47	242,00	0,00	15,47	61,28	356,50	51,00	120,81
2005-06	3,43	212,00	1,00	10,41	86,28	454,30	51,00	122,64
2006-07	13,36	218,00	2,00	12,97	75,98	645,80	51,00	130,60
2007-08	2,86	246,00	2,00	12,61	63,23	942,70	7,80	67,44
2008-09	6,99	230,00	2,00	22,33	42,98	529,40	9,50	76,14
2009-10	5,77	250,00	3,00	17,70	16,52	677,60	0,00	56,53
2010-11	3,36	120,00	2,00	12,71	18,08	296,50	0,00	37,53
2011-12	2,70	240,00	0,00	12,80	17,89	290,10	0,00	32,77
2012-13	4,81	497,00	0,00	20,25	7,88	588,80	0,00	68,83
2013-14	33,27	124,00	0,00	12,34	2,76	510,40	10,60	51,18
2014-15	4,56	236,00	2,00	10,51	2,50	1024,60	8,20	76,71
2015-16	28,65	230,00	1,00	10,61	0,00	719,50	0,00	56,67
2016-17	10,00	92,00	0,00	7,41	5,34	582,70	0,00	21,33
Total	11,70	999,00	0,00	15,27	42,49	1216,30	0,00	61,47

Posteriormente, se ha procedido a un análisis específico de las relaciones entre los registros disponibles de las series de turbidez y de las series de caudal para evaluar su representatividad con respecto al régimen sedimentario del río. Este análisis determinará su validez a la hora de ser utilizados para el estudio de patrones y dinámica sedimentaria.

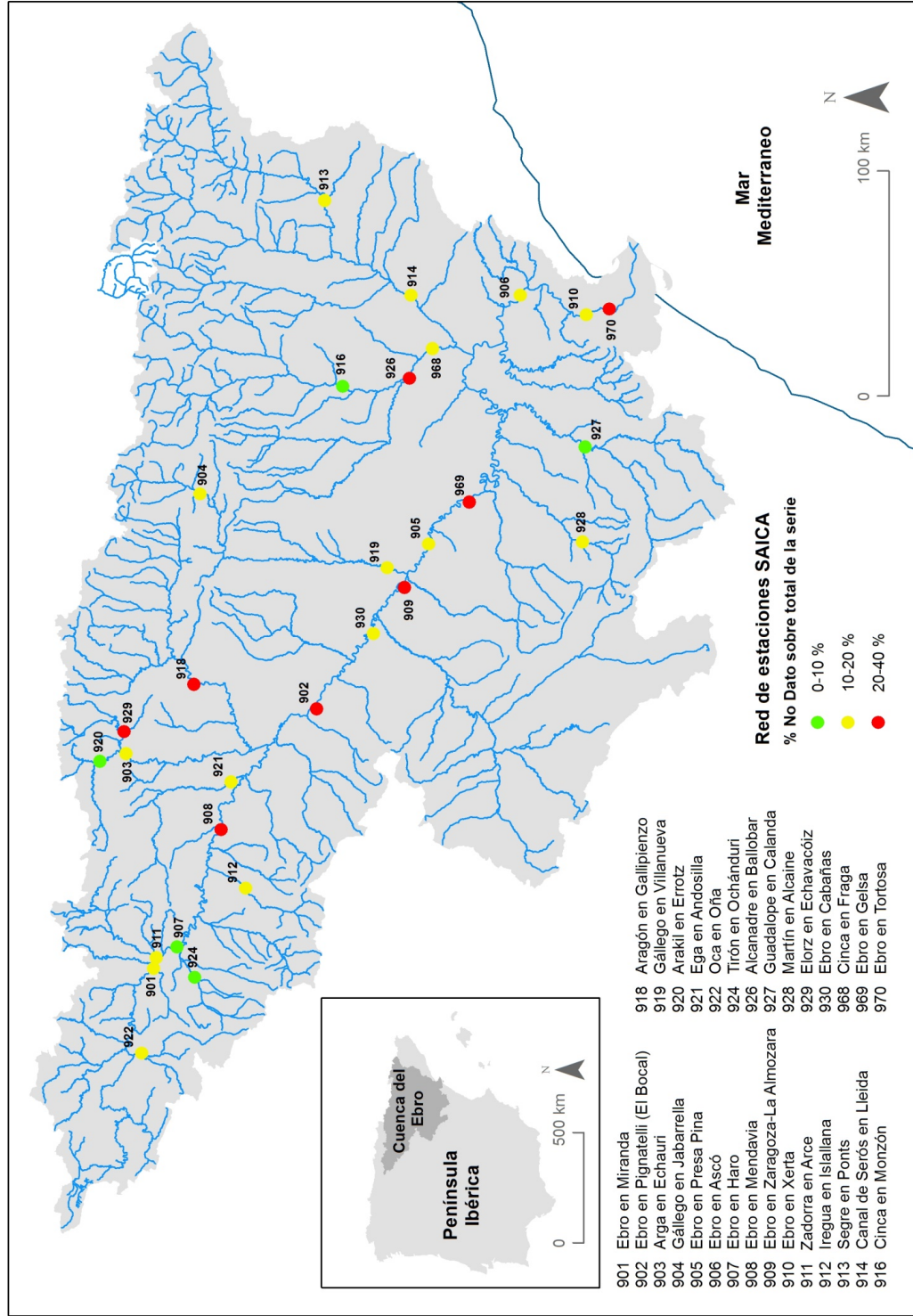


Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones SAICA y porcentaje de vacíos de las series de turbidez.

En primer lugar se han analizado las series de caudales mediante las Curvas de Frecuencia de Caudal (CFC; ver ejemplo en la figura 2). Las curvas de frecuencia de caudal se construyen a partir de registros históricos de caudales y sirven para describir el comportamiento hidrológico de un río a partir de la relación entre caudal y el porcentaje de tiempo que será igualado o excedido. En este caso, se han empleado para ver la similitud entre las curvas de las series históricas de caudal de las estaciones de aforo (CFC Total) y las series de caudal solo en los momentos en los que el sensor de turbidez está en funcionamiento (CFC TA, Turbidímetro Activo). Este ejercicio ha permitido saber qué rangos de caudal están asociados con los momentos en los que los sensores de turbidez no registran valores.

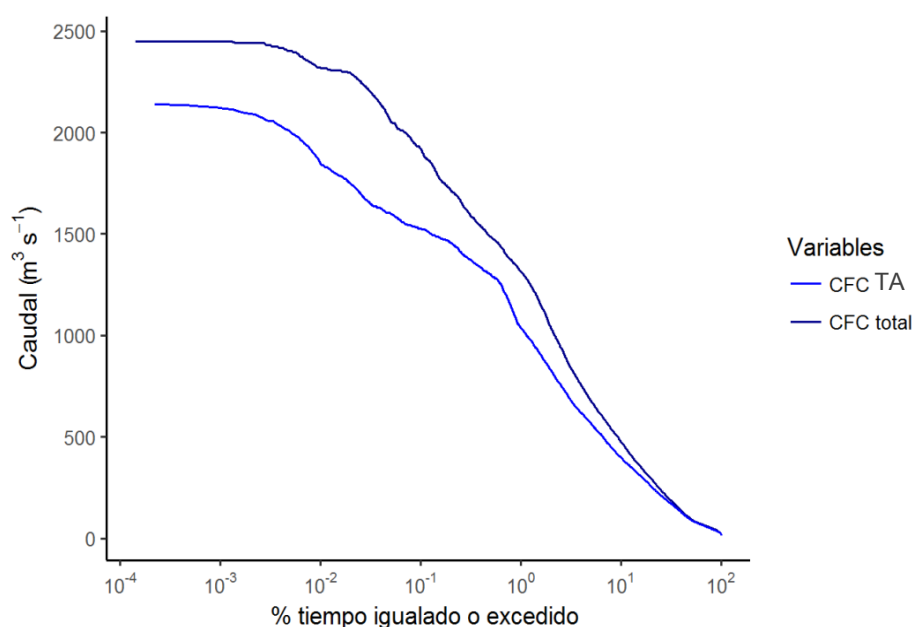


Figura 2. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A001 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 901 registra turbidez (azul claro), ambas en el río Ebro en Miranda de Ebro. El anexo I presenta la totalidad de las CFC obtenidas.

En un segundo lugar se ha obtenido un hidrograma y turbidigrama (Figura 3), cuyo estudio de forma conjunta también ayuda a comprender el funcionamiento de las sondas de turbidez a lo largo del tiempo, puesto que analizar solamente los valores máximos de las series de turbidez podría llevar a un error de interpretación de los resultados.

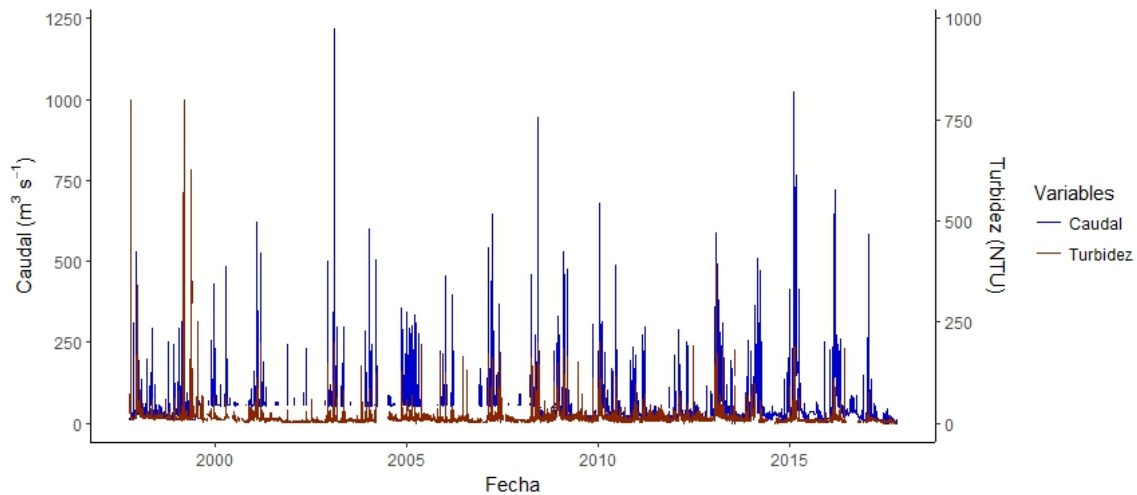


Figura 3. Hidrograma (estación de aforo A001) y turbidograma (estación 901 de calidad de aguas) del río Ebro en Miranda de Ebro. El anexo I presenta la totalidad de los hidrogramas y turbidogramas obtenidos.

Por último, para profundizar en las relaciones entre caudal (Q) y turbidez (NTU), y estudiar el nivel de linealidad de las relaciones, las relaciones Q -NTU fueron representadas gráficamente (Figura 4). Estas figuras marcan las tendencias en estas relaciones, (normalmente a mayor caudal mayor turbidez) aunque los coeficientes de determinación entre estas variables nunca sean demasiado elevados debido a los fenómenos de histéresis durante crecidas. La histéresis es la variación de la turbidez en función del caudal en diferentes escalas temporales (crecida, mensual o estacional). Este tipo de estudios ayuda a entender la dinámica sedimentaria de un río en un punto concreto (i.e. disponibilidad o agotamiento de sedimentos en el cauce)

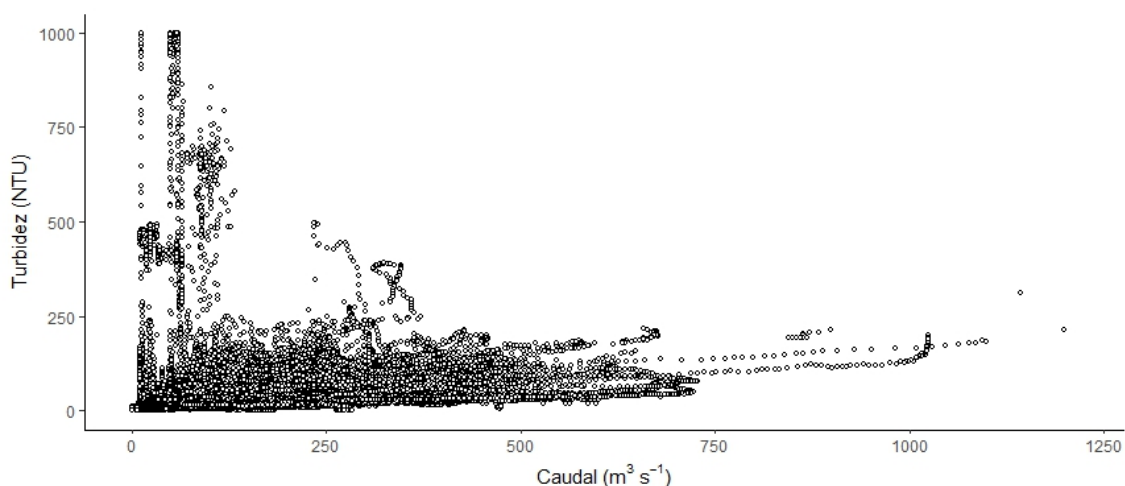


Figura 4. Relación caudal (estación de aforo A001) y turbidez (estación 901 de calidad de aguas) en el río Ebro en Miranda de Ebro. El anexo I presenta la totalidad de las relaciones obtenidas.

3.2 MUESTREOS DE CAMPO Y CALIBRACIONES IN-SITU EN ESTACIONES DE REFERENCIA

Cada estación de la red de sistema de alerta SAICA utiliza un sistema de medición diferente dependiendo de las características y de la situación técnica de cada punto. Uno de los principales problemas que se encuentra en estas estaciones es que cuando por el río circula una concentración alta de sedimentos, el agua obstruye los conductos de los instrumentos de medición de parámetros físico-químicos indicadores de calidad de las aguas (oxígeno disuelto, carbono orgánico disuelto, carbono orgánico total, amonio, fosfatos, nitratos, etc.). Así, la medida que se ha tomado en la mayoría de estaciones ha sido equiparlas con sistemas de decantación. Estos sistemas de decantación están compuestos de tanques de agua separados en diferentes compartimentos. En función de la disponibilidad de espacio en las estaciones y del rango de concentración de sedimentos en el agua, los sistemas variarán desde un decantador pequeño (<100 litros) con un solo compartimento, hasta dos tanques de decantación de 200 litros cada uno, y tres compartimentos en cada tanque. En la tabla 3 se presenta una relación de las estaciones de calidad de aguas, los sistemas de decantación y el modelo de sonda utilizados (Tabla 3; información facilitada por Salvador Romera, ADASA Sistemas). Así, la representatividad de las lecturas de turbidez estarna influenciadas por estos sistemas. La calibración de las sondas de turbidez (y los muestreos de campo) se han realizado en función de la diversidad de sistemas de medida, y con el objetivo de poder calibrar los diferentes sistemas de medida de la turbidez del agua, para su correcta evaluación.

Tabla 3. Relación de los distintos sistemas de medición y decantación en las diferentes estaciones de calidad de aguas de la cuenca del Ebro.

Nombre y código de la estación	Sistema de decantación y modelo de sonda de turbidez
Ebro en Miranda (901)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Ebro en Pignatelli (902)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Arga en Echauri (903)	Un decantador pequeño de un compartimento + turbidímetro Hach SS6
Gállego en Jabarrella (904)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Ebro en presa Pina (905)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro E+H en primer compartimento
Ebro en Haro (907)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Ebro en Xerta (910)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro E+H en primer compartimento
Zadorra en Arce (911)	Un decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Iregua en Islallana (912)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Segre en Lleida (914)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Cinca en Monzón (916)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Alcanadre en Ballobar (926)	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro Hach SS6
Elorz en Echavacoiz (929)	Un decantador pequeño de un compartimento + turbidímetro Hach SS6
Ebro en Flix (942)	Un decantador de 3 compartimentos + turbidímetro E+H en primer compartimento
RIUADE	Doble decantador de 3 compartimentos + turbidímetro E+H en primer compartimento
Cinca en Fraga (968)	ISCO mas sonda YSI en pozo tranquilizador estación aforo
Ebro en Gelsa (969)	ISCO mas sonda YSI en pozo tranquilizador estación aforo
Ebro en Tortosa (970)	ISCO mas sonda YSI en pozo tranquilizador estación aforo

Finalmente, todos los modelos de sondas de turbidez utilizados en las estaciones SAICA han sido testados y calibrados, a partir de estaciones de referencia para cada modelo. Las estaciones que han sido seleccionadas para llevar a cabo estas calibraciones han sido la estación del Cinca en Fraga (968), equipada con un sensor YSI® 6136 (Figura 6) (muestreando directamente el agua del pozo tranquilizador de la estación de aforo). Las del Alcanadre en Ballobar (926) y la del Cinca en Monzón (916), equipadas con un sensor Hach® SS6 (Figura 10) tras pasar el agua por los tanques de decantación. Y finalmente, la estación del Ebro en Xerta (910), equipada con un turbidímetro Endress+Hauser® (Figura 13) en el primer compartimento del tanque de decantación. Se trata de estaciones cuyas series están categorizadas, según la figura 1 y lo expuesto anteriormente, como aceptables (Cinca en Monzón) moderadamente aceptables, en el caso del Cinca en Fraga y el río Ebro en Xerta, y finalmente no aceptable en el caso del Alcanadre en Ballobar.

3.2.1. Calibración de las sondas de turbidez seleccionadas

Las unidades de medida de la turbidez (Unidades de Turbidez Nefelométrica, NTU) no se pueden transformar directamente a concentración de sedimento en suspensión (CSS, mg l⁻¹ o g l⁻¹). Sin embargo, se pueden convertir en CSS por medio de un sistema de calibración, tomando muestras de agua y sedimentos simultáneamente y en el mismo lugar donde se encuentran los turbidímetros. Los valores de CSS de estas muestras se comparan con los registros de turbidez en el mismo momento de obtención de las muestras. En este caso se ha tenido que realizar una calibración diferente para cada tipo de sonda, puesto que el funcionamiento de cada una es distinto y no tienen por qué dar los mismos valores para una misma concentración. Las sondas de turbidez de la misma marca deberían arrojar los mismos valores, ya que la calibración en laboratorio es la misma para cada uno de ellos.

Las calibraciones se llevaron a cabo a partir de dos procedimientos: (a) por medio de muestreos de agua y sedimento en las estaciones, y (b) por calibraciones in-situ con patrones de turbidez hechos en el laboratorio con sedimentos fluviales de fracciones granulométricas típicas a las transportadas en suspensión. Por lo que se refiere a (a), se realizó un programa de muestreo de sedimento en suspensión para las estaciones seleccionadas. Las muestras de agua fueron tomadas mediante muestreos manuales y automáticos. Las muestras manuales se recogieron puntualmente. Además, se utilizó un muestreador automático ISCO 3700® (ver un ejemplo en la Figura 8) dependiendo de las necesidades de cada momento. El muestreador fue programado para tomar muestras durante crecidas y algunas veces durante caudales bajos. Este muestreador puede tomar hasta 24 muestras de 1 litro con una frecuencia de tiempo

predeterminada (en este trabajo se han utilizado las frecuencias de 3 y 24 h). Por último, todas las muestras fueron etiquetadas y transportadas al laboratorio para ser procesadas. En total, alrededor de 300 muestras de sedimentos en suspensión fueron recogidas en las estaciones de calidad de aguas para complementar y calibrar los datos de turbidez.

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron filtradas al vacío mediante filtros de celulosa (Filter Lab[®], 0,0012 mm de tamaño de poro), midiendo simultáneamente el volumen de agua filtrada. Finalmente, todas las muestras se secaron y pesaron para determinar la concentración de sedimento en suspensión. La figura 5 muestra el equipo utilizado para filtrar las muestras y algunos ejemplos de los filtros resultantes. La concentración de sedimentos en suspensión (CSS, en mg l⁻¹) se calculó para cada muestra de agua utilizando la siguiente ecuación:

$$SSC = P_n/V$$

donde, P_n representa el peso neto del sedimento retenido en el filtro (en mg) y V representa el volumen de agua de la muestra (en l).



Figura 5. (izquierda) Equipo de filtrado y, (Derecha) ejemplo de filtros después del proceso de filtrado.

Una vez obtenidas las concentraciones, se estableció una correlación entre la concentración de la muestra y los NTU que marca la sonda en el mismo momento. Los registros de turbidez se transformaron en la concentración de sedimento en suspensión por medio de un procedimiento de calibración específica para cada turbidímetro. Estas relaciones obedecen, generalmente, a un modelo de regresión lineal (i.e., $SSC = m \times NTU \pm b$), donde m y b son coeficientes que varían dependiendo de la sonda. Las rectas de calibración obtenidas para los diferentes turbidímetros se muestran en los apartados de resultados.

Por último, cabe resaltar que, si las series de turbidez son aceptables, la aplicación de las calibraciones permite tener de concentración de sedimentos en suspensión en continuo, series que se pueden utilizar para obtener la carga de sedimentos en suspensión multiplicando el registro horario de CSS (transformada a mg l^{-1} a partir de la turbidez) por el registro horario de caudal (en l s^{-1}).

Por lo que se refiere a (b), la calibración in-situ de los turbidímetros, se crearon patrones con una concentración de sedimentos en suspensión conocida. Para ello se tomó sedimento depositado por una crecida en las cercanías de la estación de calidad del agua. Este sedimento se dejó secar 72 horas a temperatura ambiente, se tamizó hasta una fracción inferior a $63 \mu\text{m}$. Posteriormente se prepararon 12 muestras con un rango de concentraciones entre los 10 y los 5000 mg l^{-1} . Una vez en la estación, se introdujo el turbidímetro en la muestra y se estableció una relación entre la concentración de la muestra y los NTU que marcaba el aparato. Al igual que en los casos anteriores, esta calibración permite la conversión de las series de turbidez a series de concentración de sedimentos en suspensión, si bien, es recomendable añadir más puntos a esta calibración obtenidos mediante muestreo manual o automáticos ya que hay factores como el tamaño o el color del sedimento que pueden hacer variar estas relaciones. A continuación se mostrarán las calibraciones llevadas a cabo en cada una de las estaciones.

4. RESULTADOS

En este apartado se describen los resultados obtenidos tras la calibración de las sondas de turbidez seleccionadas.

4.1. CINCA EN FRAGA (968)

Diferentes métodos se han empleado para calibrar el sensor de turbidez de la estación del Cinca en Fraga. En primer lugar se ha llevado a cabo una calibración in situ con muestras de laboratorio de diferentes concentraciones.



Figura 6. Sensor YSI® 6136 (Izquierda) conectado a un tomamuestras automático ISCO 6712 (Derecha)

Una vez las muestras preparadas, se realizó una calibración con los pares de valores de la muestra con una concentración conocida y el valor de turbidez que devuelve la sonda. Este ejercicio se realizó para muestras con concentraciones de 10, 25, 50, 100, 250, 500, 750, 1000, 2000, 3000, 4000 y 5000 mg l⁻¹. La relación obtenida se muestra en la figura 6.

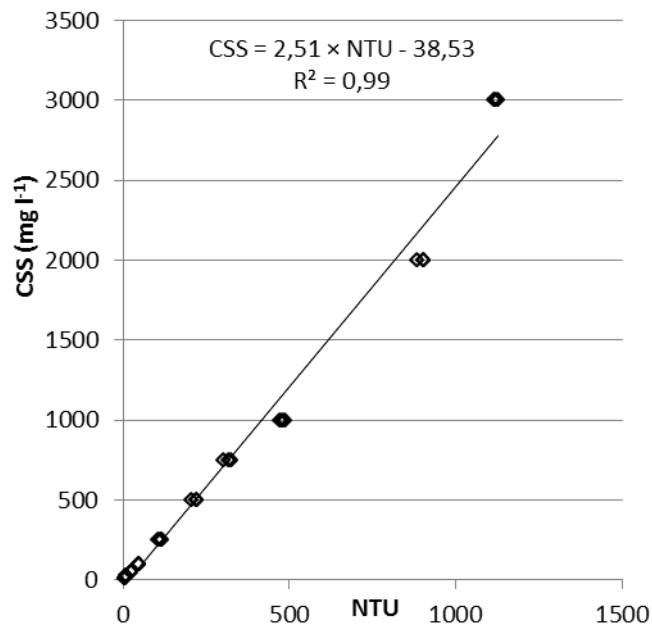


Figura 7. Calibración del sensor YSI® 6136 con muestras de laboratorio (estación de Fraga) (CSS indica Concentración de Sedimentos en Suspensión, mientras que NTU indica las unidades de turbidez).

Además, esta estación fue equipada con un muestreador automático (ISCO® 3700, figura 8), tomando muestras de un amplio rango de caudales (crecidas y caudales bajos), para verificar la calibración de laboratorio y analizar la representatividad de las lecturas de turbidez.



Figura 8. Muestreados automático ISCO 3700 en la estación del Cinca en Fraga (Izquierda). Río Cinca durante una crecida el 15-10-18 (Derecha).

La representación de todas las muestras tomadas en la estación de calidad de Fraga permite comprobar que la relación obtenida es significativa con un R^2 de 0,8; aun así, se puede observar una gran variabilidad en esta relación que podría estar determinada por el tamaño de partículas transportadas o por el color de los sedimentos.

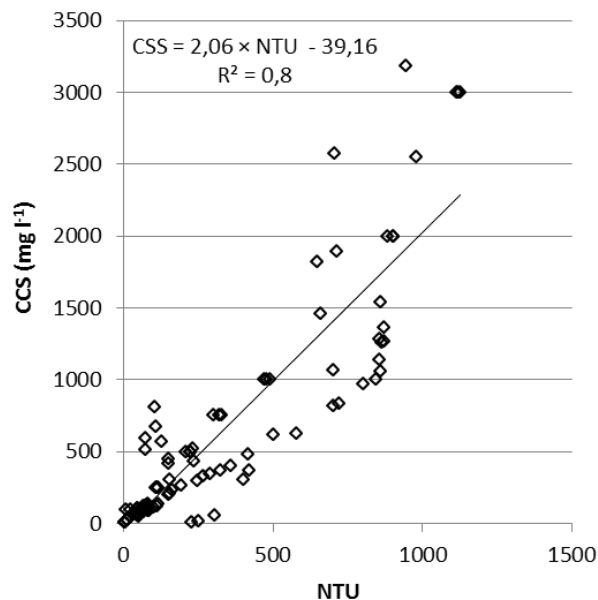


Figura 9. Calibración del sensor YSI® 6136 con todas las muestras obtenidas en la estación (muestras de laboratorio y muestras de ISCO).

4.2. CINCA EN MONZÓN (916)

En la estación del Cinca en Monzón se obtuvieron muestras durante crecidas, y también se instaló un muestreador automático de manera puntual al lado del río, para ser posteriormente instalado de manera permanente en el interior de la estación (Figura 10).



Figura 10. Turbidímetro Hach SS6[®] la estación de calidad de aguas de Monzón (Izquierda) y, ISCO[®] 3700 instalado de manera permanente dentro de la misma estación (Derecha).

Las muestras obtenidas con el muestreador automático, tanto dentro como fuera de la estación, se presentan en la figura 11. Estas muestras han permitido una calibración muy buena del sensor Hach SS6 para un rango de concentraciones no muy elevado (<500 NTU).

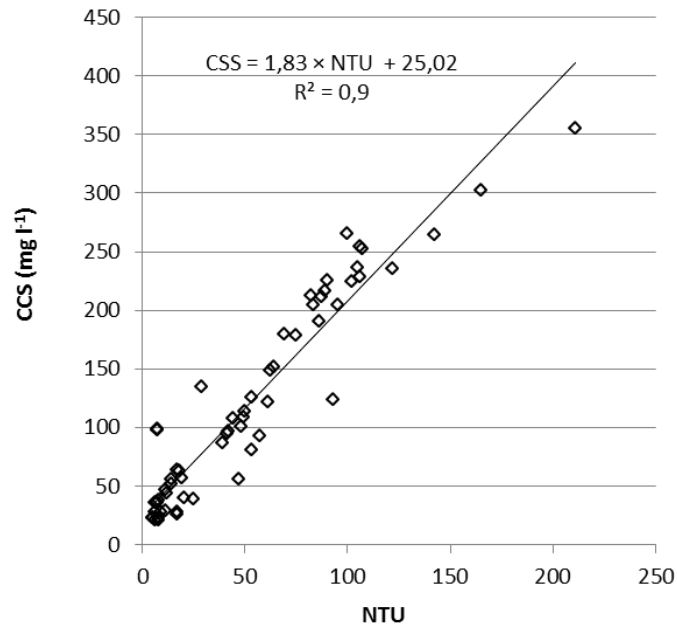


Figura 11. Calibración del sensor Hach[®] SS6 con muestras directas del río en la estación de Monzón.

4.3. ALCANADRE EN BALLOBAR (926)

La estación del Alcanadre en Ballobar está equipada con el mismo sistema de decantación y sensor de turbidez que la estación del Cinca en Monzón. Este punto ha sido objeto de estudio del grupo de investigación RIUS de la Universidad de Lleida desde hace varios años, y ha podido ser calibrado gracias a gran cantidad de muestras manuales así como del muestreador automático. Estas muestras han permitido una buena calibración del turbidímetro para valores inferiores a los 500 NTU, como ocurre en el Cinca en Monzón, pero debido a la gran carga sedimentaria transportada por este río, este dato no es muy representativo.

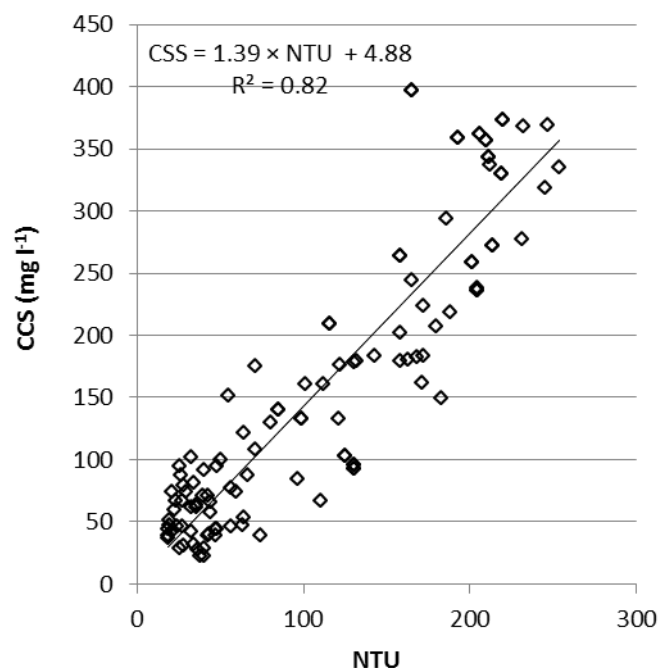


Figura 12. Calibración del sensor Hach® SS6 en la estación del río Alcanadre en Ballobar.

4.4. EBRO EN XERTA (910)

La estación del Ebro en Xerta dispone de un sensor Endress+Hauser® en el primer compartimento del primer tanque decantador (Figura 13). Para realizar la calibración de este sensor se utilizaron los mismos patrones de turbidez que se habían usado en la estación del Cinca en Fraga. La calibración del turbidímetro Endress+Hauser® con las muestras de laboratorio es casi perfecta. A diferencia de los casos del Cinca y del Alcanadre, el umbral de lectura en esta estación es adecuado, ya que es difícil que el Ebro en este tramo supere los 1000 NTU. Sin embargo, para tener una relación más robusta sería necesaria la toma de muestras de manera continuada.



Figura 13. Turbidímetro Endress+Hauser® en la estación de calidad de aguas de Xerta (Izquierda) y, Doble tanque de decantación en el que se encuentra el turbidímetro tomando las medidas (Derecha)

La calibración del turbidímetro Endress+Hauser® con las muestras de laboratorio es perfecta. A diferencia de los casos del Cinca y del Alcanadre, el umbral de lectura en esta estación es adecuado, ya que es difícil que el Ebro en este tramo supere los 1000 NTU. Sin embargo, para tener una relación más robusta sería necesaria la toma de muestras de manera continuada.

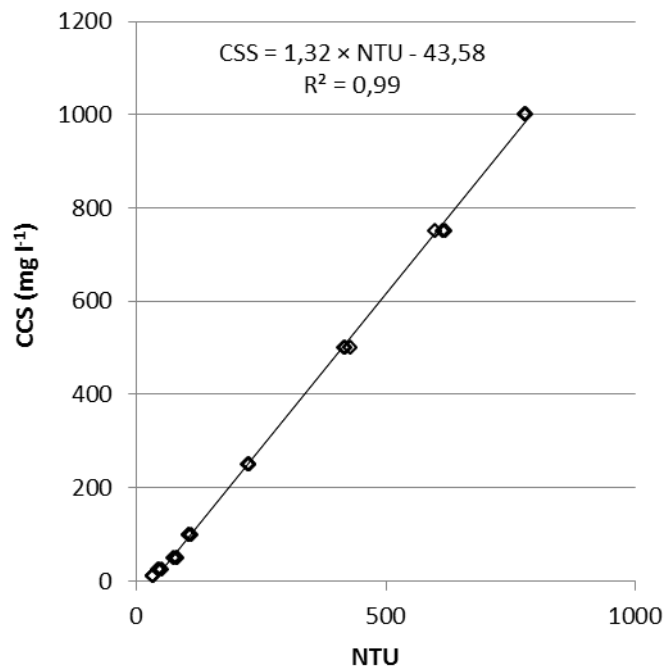


Figura 14. Calibración del sensor Endress + Hauser® en la estación del río Ebro en Xerta.

Por último, es importante señalar que las visitas de campo y los intercambios con el Sr. Salvador Romera y los técnicos de ADASA Sistemas acerca de los aspectos técnicos de los sensores, de los sistemas de bombas y decantadores de las estaciones, ha permitido

acercarnos a la problemática de una manera más detallada, fundando una base para las posibles propuestas de mejora que se proponen en el siguiente apartado.

5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

Tras la realización de las tareas 1.1 (Revisión completa y unificación de la base de datos existente) y 1.2 (Muestreos de campo y calibraciones in-situ en estaciones de referencia) se concluye que las series de turbidez obtenidas por la red de estaciones SAICA no son válidas para la evaluación del procesos sedimentarios en la cuenca del Ebro.

Tras una primera evaluación realizada en la tarea 1.1, se concluyó que algunas series, en función de su amplitud temporal y del rango de operatividad (vacíos en la serie), eran aceptables. Éste fue el caso de las siguientes estaciones: Ebro en Haro (907), Cinca en Monzón (916), Arakil en Herrotz (920), Tirón en Ochánduri (924) y Guadalupe en Calanda (927). Sin embargo, tras un análisis más exhaustivo de los datos, se observó que en la mayoría de los casos los registros tenían un umbral máximo, a partir del cual los aparatos no registraban (ver fichas en ANEXO I). Este umbral solía ser superado en los momentos de avenida, perdiendo unos datos clave para la elaboración de un balance sedimentario, ya que en los ríos de carácter mediterráneo la mayor parte del sedimento es transportado durante estos eventos (e.g. López-Tarazón y Batalla, 2014; Tena y Batalla, 2013). Además, durante la realización de la tarea 1.2, se encontraron respuestas a algunas de las preguntas formuladas durante la tarea 1.1 como por ejemplo: ¿Por qué encontramos un umbral máximo de medida que no está definido en las especificaciones técnicas de los instrumentos? Además se pudieron constatar otros problemas de nivel técnico que impiden la utilización de estas series para su uso en estudios de transporte de sedimento en suspensión.

El principal inconveniente es que el sistema de obtención de datos de turbidez del agua no fue concebido con el fin de crear una base de datos enfocada a la gestión hidrosedimentaria, sino que fue concebido como sistema de alerta. En cuanto el sensor de turbidez supera un umbral limitado, la bomba de extracción de agua y todos los instrumentos de la estación, incluido el sensor de turbidez, se detienen para evitar la obstrucción de los conductos de los equipos de medida de otras variables de calidad del agua (por ej. amonio, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, pH, etc.), muy sensibles a la presencia de sedimento en el agua.

Con el objetivo de reducir la cantidad de sedimento en el agua analizada, las estaciones de la red SAICA fueron equipadas con sistemas de decantación. Los sistemas actuales de decantación constan de dos depósitos de decantación de 200 litros, separados cada uno en tres compartimentos (Figura 13). El agua utilizada para la lectura de los diversos parámetros, incluida

la turbidez, se obtiene del último de estos compartimentos, una vez la mayor parte del sedimento ha quedado depositado en los tanques. Esto quiere decir que las lecturas de turbidez obtenidas en las estaciones de calidad de agua no son representativas de la turbidez real del agua que circula por el río, y por lo tanto, no pueden ser utilizadas en ningún caso para el estudio del transporte de sedimentos. El sistema de referencia en las estaciones de la red SAICA consta de los tanques de decantación anteriormente descritos y de sensores de turbidez Hach® SS6 (Figura 10), pero como hemos visto, no todas las estaciones disponen del mismo sistema, ni de los mismos sensores de turbidez. Dependiendo de los sistemas utilizados para la obtención de valores de turbidez, las recomendaciones o propuestas de mejora son diferentes. Las propuestas que se plantean son las siguientes:

5.1. PROPUESTAS PARA ESTACIONES DE REFERENCIA EN LA RED DE ESTACIONES SAICA (DOBLE DECANTADOR DE TRES COMPARTIMENTOS Y TURBIDÍMETRO HACH® SS6)

Una medida que mejoraría la representatividad de los datos, en el tipo de estaciones de referencia en la red de estaciones SAICA (tanques de decantación y sensores de turbidez Hach® SS6), sería obtener, solamente para el caso de la turbidez (y del muestreador automático, si fuera posible), el agua del primer compartimento del tanque de decantación, lo que representaría el agua circulante por el río, sin previa decantación. Para esto, habría que aumentar los umbrales de los sensores de turbidez, ya que el agua que circula por el río posee mayor turbidez que la del último compartimento del tanque de decantación, siempre teniendo en cuenta no poner en peligro los equipos de medición de otros parámetros de calidad. En caso de que esta medida se pudiera llevar a cabo, el problema sería que se continuarían perdiendo los picos de turbidez, puesto que una vez superados los nuevos umbrales de turbidez la estación se detendría. En este tipo de estaciones la situación ideal sería que el sensor de turbidez tomara el agua en el primer compartimento del tanque de decantación, y que cuando se superase un umbral establecido como peligroso para los equipos de medición de otros parámetros de calidad de agua, estos equipos se detuvieran, y la sonda de turbidez siguiera registrando. Una propuesta técnicamente posible según los técnicos de ADASA sistema.

Como se ha dicho anteriormente, sería importante que el muestreador automático del que disponen las estaciones de la red SAICA tomara sus muestras del mismo compartimento que el sensor de turbidez, con el fin de poder realizar una calibración entre las lecturas realizadas por el sensor de turbidez y la concentración de sedimento en suspensión en el agua circulante por el río. Proceso imprescindible para poder convertir las series de turbidez en series de concentración de sedimento en suspensión (mg l^{-1} o g l^{-1}).

5.2. PROPUESTAS PARA ESTACIONES EQUIPADAS CON UN ISCO® CONECTADO A UNA SONDA YSI® EN POZO TRANQUILIZADOR ESTACIÓN AFORO

Para las estaciones equipadas con este sistema, como es el caso de la estación del Cinca en Fraga (968), o de estaciones con un diseño similar (Por ej. Ebro en Gelsa (969) y Ebro en Tortosa (970)), las propuestas de mejora son mucho más asequibles. Esta estación, además de disponer de un instrumento diferente, el punto de lectura también es diferente, tomando las lecturas directamente del agua del pozo tranquilizador de la estación, siendo estas medidas mucho más representativas del agua circulante por el río que en el caso anterior. El sistema empleado en esta estación consta de un sensor YSI® 6136, que realiza las medidas, conectado a un muestreador automático ISCO® 6712, que además de poder tomar muestras automáticamente, realiza la conversión de la señal eléctrica (mV) a medida de turbidez (NTU) y almacena los datos. Una de las ventajas de este sistema con respecto al anterior es que en este caso, estas sondas no tenían un umbral de lectura preestablecido, sino que era el umbral de lectura máximo del aparato (≈ 1000 NTU). Una de las medidas que podrían ser tomadas en esta estación sería el cambio del punto de lectura del sensor de turbidez. Éste se encuentra en el pozo tranquilizador y es muy posible que haya cierta divergencia entre las concentraciones registradas dentro del pozo y las circulantes en el canal principal. En este caso, con sacar el punto de lectura fuera de la estación sería suficiente. Al igual que en el caso anterior, para alcanzar una situación óptima, la toma de muestras se debería llevar a cabo en el mismo punto que la lectura de turbidez.

5.3. DOBLE DECANTADOR DE TRES COMPARTIMENTOS CON TURBIDÍMETRO ENDRESS+HAUSER® EN EL PRIMER COMPARTIMENTO

Este sistema es una mezcla de los dos sistemas anteriores, puesto que utiliza una sonda con un funcionamiento similar al del caso anterior (YSI), pero toma sus muestras del decantador, como en el primer caso. Los valores de turbidez obtenidos mediante este sistema podrían ser apto para su uso en estudios de transporte de sedimentos, puesto que al estar el turbidímetro localizado en el primer compartimento representaría al agua circulante por el río. Como en el primer caso, el problema asociado a este sistema de medición, es que cuando se supera el umbral de lectura establecido por el sistema de alarma, la bomba se detiene. Para este caso se sugiere lo mismo que en el caso anterior, que los equipos susceptibles de ser dañados por las altas concentraciones se detengan, y que la bomba de agua y el sensor de turbidez continúen funcionando. Además, sería importante que el muestreador automático del que disponen las

estaciones de la red SAICA tomara sus muestras del mismo compartimento que el sensor de turbidez.

5.4. CONSIDERACIONES FINALES

Con la aplicación de las medidas propuestas se podrían obtener datos cualitativamente mejores que permitieran alcanzar objetivos de gestión hidrosedimentaria, sin embargo, llevar a cabo estos cambios en las estaciones de referencia puede ser complejo a nivel técnico. Si el objetivo es obtener una base de datos de transporte de sedimento en suspensión de calidad, la medida más adecuada sería equipar las estaciones con equipos similares al de la estación ES1 (sonda de turbidez YSI® 6136 conectado a un muestreador automático ISCO® 6712), siguiendo las medidas propuestas para este caso. En su defecto, la instalación de un sensor de turbidez Endress+Hauser® en el primer compartimento del tanque de decantación, junto con la toma de muestras de agua en el mismo punto, mejoraría la calidad de los datos obtenidos hasta el momento.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Vicente Sancho-Tello, de la Confederación Hidrográfica del Ebro, por permitir instalar los muestreadores automáticos en las estaciones de calidad y realizar las calibraciones de las diferentes sondas de turbidez. Agradecemos especialmente la ayuda de Salvador Romera y los técnicos de ADASA Sistemas. También agradecemos el apoyo de diferentes miembros del grupo de investigación RIUS de la Universidad de Lleida.



REFERENCIAS

- López-Tarazón, J.A., Batalla, R.J., 2014. Dominant discharges for suspended sediment transport in a highly active Pyrenean river. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 2019-2030.
- Tena, A., Batalla, R. J. (2013): The sediment budget of a large river regulated by dams (The lower River Ebro, NE Spain). *Journal of Soils and Sediments*, 13 (5), 966-980.





ANEXO 1. FICHAS SINTÉTICAS DE LAS ESTACIONES DE CALIDAD

CURVAS DE FRECUENCIA DE CAUDAL

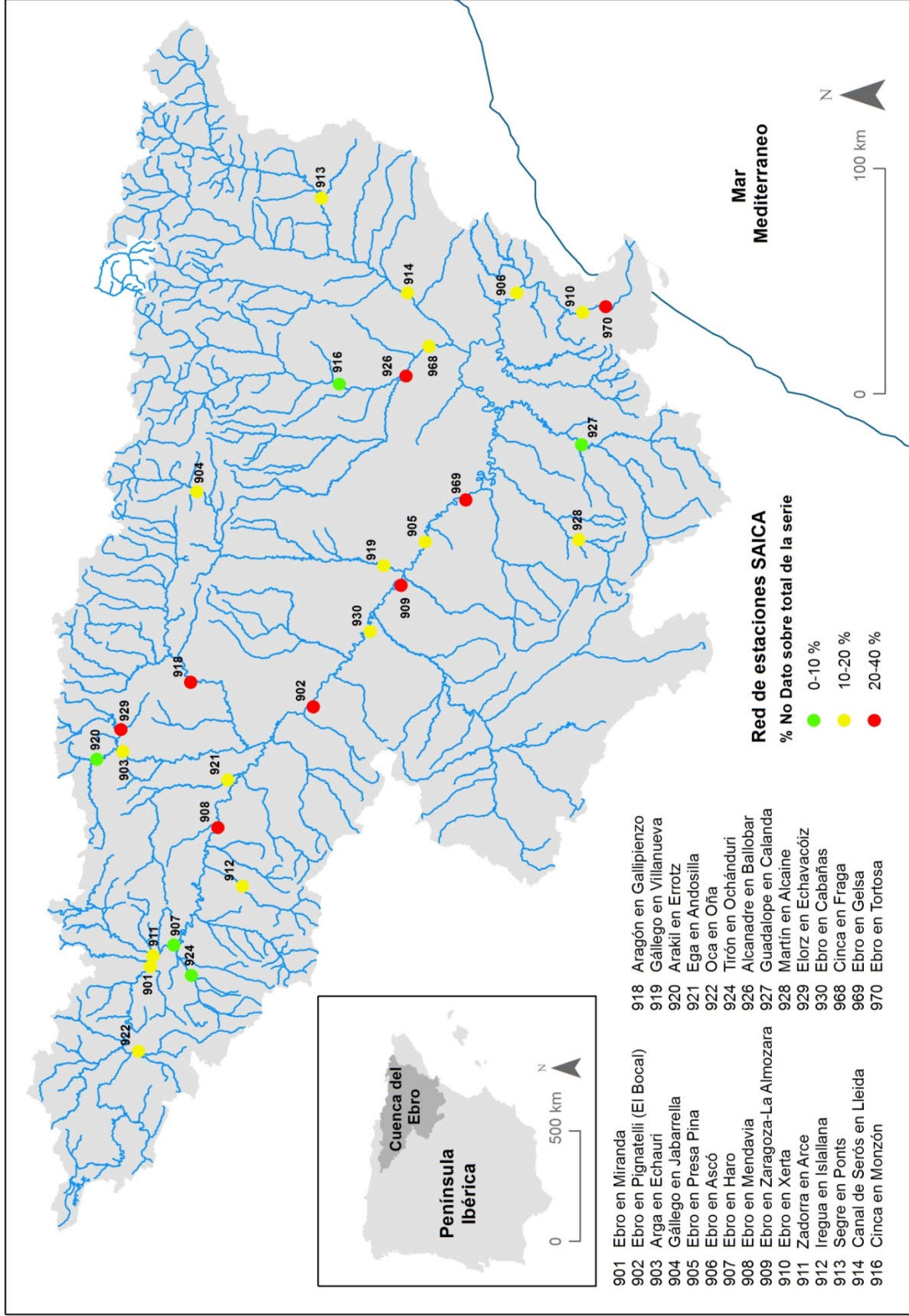


Figura 15. Distribución geográfica de las estaciones de la red SAICA y porcentaje de vacíos de las series de turbidez

Estación de Calidad de Aguas 901 - Ebro en Miranda

Diagnóstico de la serie: Calidad aceptable, con un 11,7% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Existen datos de caudal aunque faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, sobre todo durante caudales altos | **Recomendaciones:** Cambiar sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 901 (Ebro en Miranda) dispone de registros de turbidez desde febrero de 1997 hasta la actualidad. La duración de esta serie es superior a los 20 años (20 años y 8 meses). El valor medio de turbidez de la serie es 15,3 NTU. Los valores máximos de la serie son 999 NTU (alcanzados en 1997-98 y 1998-99), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez y caudal

Con un 11,7% de la serie sin datos (ND), la estación 901 se sitúa en los valores inferiores del rango que determina el segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, no se observa un patrón temporal claro.

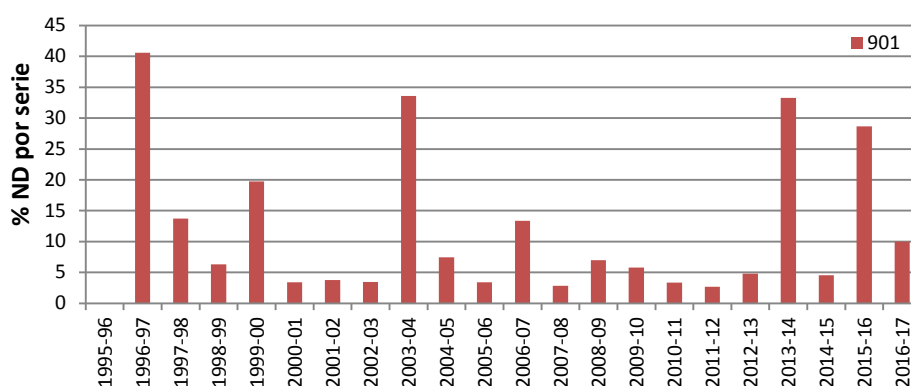


Figura 16. Distribución del % de vacíos (ND) en la estación de calidad de aguas 901 del río Ebro en Miranda de Ebro.

Por el contrario, la calidad de la serie de caudal en esta estación (A001-Ebro en Miranda) es mucho menor sin, por ejemplo, prácticamente datos en el año 2001-02 y con un valor medio de falta de datos superior al 40% en el total de la serie.

3. Relación caudal - turbidez

Tras el análisis de las series de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) se confirma que todo el rango de caudales está presente, tanto a la serie completa de caudales, como a la que tan solo dispone de datos de caudal asociados a registros con lectura de turbidez. Esta observación nos permite concluir que en esta estación el turbidímetro tiene errores de lectura en todos los rangos de caudal registrados. Sin embargo, al analizar los diferentes percentiles de estas frecuencias de caudal, encontramos que en la serie en la que el sensor de turbidez no registra los valores de caudal eran más elevados, lo que nos indica que estos sensores de turbidez tienen más fallos de lectura cuando los caudales son altos. Probablemente asociados al umbral máximo de lectura del instrumento. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 4. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A001) y turbidez (901) del río Ebro en Miranda de Ebro.

	Series de Turbidez (901)				Series de Caudal (A001)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo ($m^3 s^{-1}$)	Mínimo ($m^3 s^{-1}$)	Promedio ($m^3 s^{-1}$)
1995-96	-	-	-	-	-	-	-	-
1996-97	40.6	236	1	21.1	-	-	-	-
1997-98	13.7	999	9	28.0	0.0	530.2	11.6	44.5
1998-99	6.3	999	3	35.9	29.8	313.8	10.5	42.6
1999-00	19.7	83	4	16.6	80.1	484.3	51.0	104.8
2000-01	3.4	249	2	17.6	80.7	622.0	51.0	129.2
2001-02	3.8	73	1	4.7	98.5	242.0	51.0	109.3
2002-03	3.5	312	1	10.9	81.7	1216.3	51.0	154.3
2003-04	33.6	175	1	12.6	80.4	600.6	51.0	131.5
2004-05	7.5	242	0	15.5	61.3	356.5	51.0	120.8
2005-06	3.4	212	1	10.4	86.3	454.3	51.0	122.6
2006-07	13.4	218	2	13.0	76.0	645.8	51.0	130.6
2007-08	2.9	246	2	12.6	63.2	942.7	7.8	67.4
2008-09	7.0	230	2	22.3	43.0	529.4	9.5	76.1
2009-10	5.8	250	3	17.7	16.5	677.6	0.0	56.5
2010-11	3.4	120	2	12.7	18.1	296.5	0.0	37.5
2011-12	2.7	240	0	12.8	17.9	290.1	0.0	32.8
2012-13	4.8	497	0	20.2	7.9	588.8	0.0	68.8
2013-14	33.2	124	0	12.3	2.8	510.4	10.6	51.2
2014-15	4.6	236	2	10.5	2.5	1024.6	8.2	76.7
2015-16	28.6	230	1	10.6	0.0	719.5	0.0	56.7
2016-17	10.0	92	0	7.4	5.3	582.7	0.0	21.3
Total	11.7	999	0	15.2	42.49	1216.3	0.0	61.5

El valor máximo de la serie es 999 NTU; sin embargo, este valor fue registrado tan sólo durante los tres primeros años de la serie y no vuelve a ocurrir en los 17 años siguientes, con lo que tomar este valor como referencia del valor máximo de las series de turbidez podría conllevar un error. La tabla 1 y figura 2A indican que se han duplicado ampliamente los caudales con los que se registran los picos de turbidez y, a su vez, los valores de turbidez son mucho menores (aunque no siempre hay una relación directa entre caudal y turbidez, normalmente una crecida con mayor caudal genera un mayor pico de turbidez). Las relación entre caudal y turbidez se muestra en la figura 2B. En ella se observa una doble tendencia, un aumento súbito de la turbidez con caudales muy bajos, y viceversa. El primer caso podría indicar una respuesta del río a la aportación desde fuentes de sedimento cercanas durante caudales de baja magnitud, o por la aportación de un afluente que aporta gran cantidad de sedimento y poco caudal. El caso contrario se podría explicar por el agotamiento de la fuente de sedimento o por una limitación del propio turbidímetro.

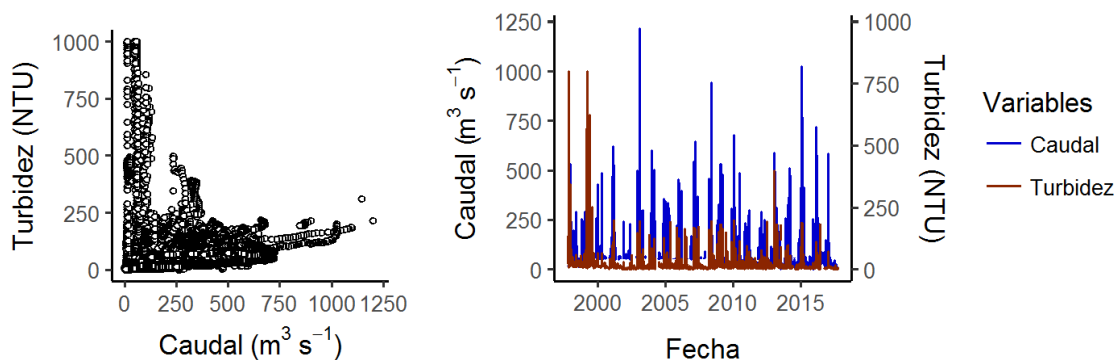


Figura 17. (Izquierda) Hidrograma (estación de aforo A001) y turbidígrama (estación 901 de calidad de aguas) y (Derecha) Relación entre caudal y turbidez con la totalidad de los datos con registro en el río Ebro en Miranda de Ebro.

Estación de Calidad de Aguas 902 - Ebro en Pignatelli

Diagnóstico de la serie: Calidad aceptable, con un 13.1 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, sobre todo durante caudales altos | **Recomendaciones:** Aumentar el rango de medida del sensor.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 902 (Ebro en Pignatelli, El Bocal) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta la actualidad. La duración de esta serie superior a los 21 años. El valor medio de turbidez de la serie es 55.5 NTU. Los valores máximos de la serie son 999 NTU (alcanzados en los tres primeros años de la serie), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 13.1% de la serie sin datos (ND), la estación 902 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, sin que se llegue a diferenciar un patrón temporal claro.

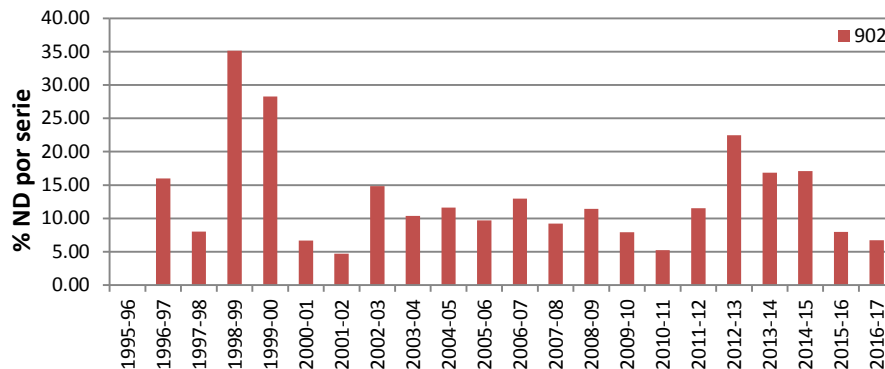


Figura 18. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 901 del río Ebro en Miranda de Ebro.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A284 (Ebro en Tudela). La calidad de esta serie es óptima, con un promedio de falta de valores inferior al 2 %, destacando solamente el año 2013-2014 con un valor superior al 18 %. El único problema de esta serie es el solapamiento con la serie de turbidez, puesto que esta comienza en el año 2003-2004, mientras que la de turbidez lo hace en 1996.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez), de lo que inferimos que en esta estación el turbidímetro tiene errores de lectura en todos los rangos de caudal. Sin embargo, al analizar los diferentes percentiles de estas series de caudal, encontramos que en la serie en la que el sensor de turbidez no registraba los valores eran más elevados, lo que nos indica que estos sensores de turbidez tienen más fallos de lectura cuando los caudales son altos. Probablemente los errores de registro en esta estación estén más relacionados con problemas técnicos del instrumento. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 5. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A284) y turbidez (902) del río Ebro en Pigntelli y Tudela, respectivamente.

	Series de Turbidez (902)				Series de Caudal (A284)			
	% ND	Máximo (NTU)	Promedio (NTU)	Mínimo (NTU)	% ND	Máximo (NTU)	Promedio (NTU)	Mínimo (NTU)
1995-96	-	-	-	-	-	-	-	-
1996-97	15.97	999.00	27.23	2.00	-	-	-	-
1997-98	8.01	999.00	51.77	2.00	-	-	-	-
1998-99	35.12	999.00	45.43	2.00	-	-	-	-
1999-00	28.26	383.00	70.85	3.00	-	-	-	-
2000-01	6.67	484.00	64.45	14.00	-	-	-	-
2001-02	4.73	333.00	80.40	3.00	-	-	-	-
2002-03	14.83	249.00	58.32	10.00	-	-	-	-
2003-04	10.38	417.00	73.06	12.00	-	-	-	-
2004-05	11.61	500.00	58.22	11.00	0.80	805.00	190.76	25.00
2005-06	9.70	318.00	70.60	10.00	0.08	1700.00	170.08	13.00
2006-07	12.95	248.00	82.10	25.00	0.00	2279.00	223.24	16.00
2007-08	9.23	249.00	60.12	17.00	0.00	1734.00	194.07	18.00
2008-09	11.42	246.00	41.91	2.00	2.64	1854.00	276.77	51.00
2009-10	7.95	247.00	39.12	6.00	0.00	1965.00	224.28	39.00
2010-11	5.24	247.00	43.81	6.00	0.19	1111.00	149.99	28.00
2011-12	11.54	249.00	52.57	13.00	0.00	1083.00	74.54	-
2012-13	22.47	303.00	58.91	0.00	0.00	2119.00	388.05	-
2013-14	16.85	535.00	62.81	10.00	18.07	1661.00	253.90	33.00
2014-15	17.09	238.00	44.00	10.00	0.08	2582.00	293.52	35.00
2015-16	7.97	237.00	43.71	7.00	1.08	1519.00	200.57	0.00
2016-17	6.74	234.00	32.93	12.00	0.06	1553.00	105.03	0.00
Total	13.07	999.00	55.43	0.00	1.77	2582.00	209.83	-72.00

El valor máximo de la serie es 999 NTU; sin embargo, este valor fue registrado tan sólo durante los tres primeros años de la serie y no vuelve a ocurrir en los 17 años siguientes, con lo que tomar este valor como referencia del valor máximo de las series de turbidez podría conllevar un error. Al no disponer de datos de caudal cuando los picos de turbidez se registraron, no se puede comparar con datos recientes. Sin embargo se ve claramente que el sensor de turbidez está limitado en torno a los 250 NTU, aunque puntualmente este valor ha sido superado. La tabla 1 y figura 2 dcha nos muestra como el turbidímetro no sobrepasa los 250 NTU de turbidez sin importar la magnitud de los caudales. La relación estadística entre caudal y turbidez se muestra en la figura 2 izq. En ella se observa una gran variabilidad. Caudales de $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ alcanzan la misma turbidez que caudales de $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

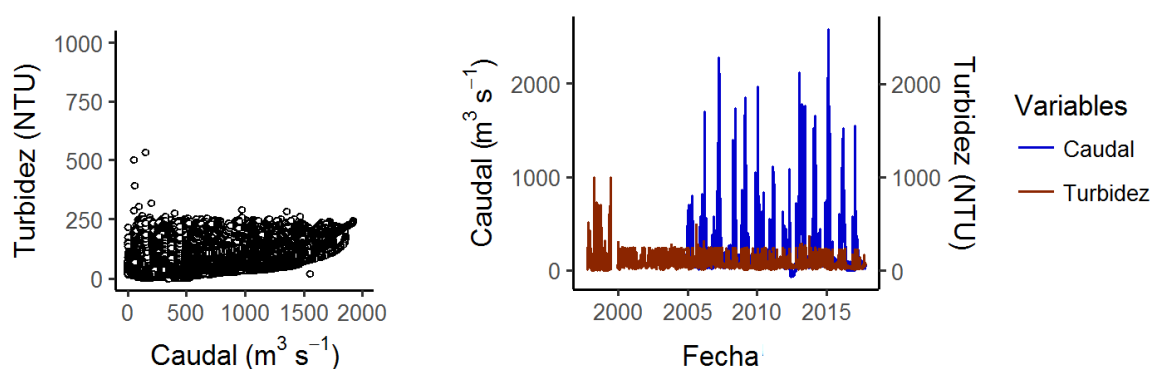


Figura 19. (Izquierda) Hidrograma (estación de aforo A001) y turbidígrama (estación 901 de calidad de aguas) y (Derecha) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Miranda de Ebro.

Estación de Calidad de Aguas 903 - Arga en Etxauri

Diagnóstico de la serie: Calidad aceptable, con un 12,6% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, sobre todo durante caudales altos | **Recomendaciones:** Aumentar el rango de medida del sensor.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 903 (Arga en Etxauri) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta la actualidad. La duración de esta serie superior a los 21 años. El valor medio de turbidez de la serie es 24.99 NTU. El valor máximo de la serie es de 834 NTU (alcanzado el primer año de la serie), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 12,6% de la serie sin datos (ND), la estación 903 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, sin que se llegue a diferenciar un patrón temporal claro.

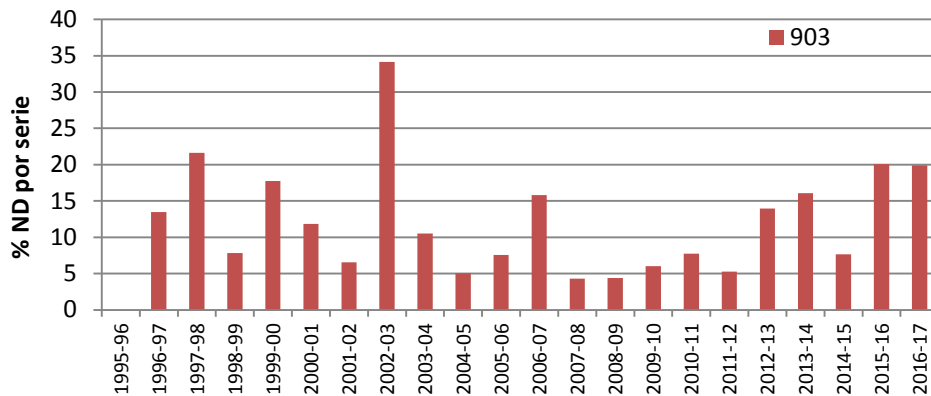


Figura 20. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 903 del río Arga en Etxauri.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A069 (Arga en Etxauri). La calidad de esta serie es óptima, con un promedio de falta de valores inferior al 0.6%, destacando solamente el año 2000-2001 con un valor superior al 4%. El solapamiento de las series de caudal y sedimento es óptimo, con un único año en el que no hay registros de caudal (1995-1996).

3. Relación caudal - turbidez

Tras el análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) se confirma que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez). Se podría distinguir sobre todo una diferencia en los caudales altos, que no aparecen en la serie de caudal en la que la sonda de turbidez está activa. Sin embargo, al comparar los percentiles de ambas series de caudal, encontramos que en la serie completa (incluyendo los momentos en los que el sensor de turbidez no registraba) los valores eran más elevados, lo que nos indica que estos sensores de turbidez tienen más fallos de lectura cuando los caudales son altos. Probablemente la falta de registros en esta estación esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento o con problemas técnicos (averías, mantenimiento, etc.). La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 6. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A069) y turbidez (903) del río Arga en Etxauri, respectivamente.

	Series de Turbidez (903)				Series de Caudal (A069)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1995-96	-	-	-	-	-	-	-	-
1996-97	13.47	834.00	1.00	52.16	-	-	-	-
1997-98	21.63	631.00	1.00	54.40	0.00	455.20	1.70	28.97
1998-99	7.82	467.00	3.00	33.88	1.06	373.80	2.80	41.24
1999-00	17.73	446.00	3.00	21.04	2.06	361.40	2.40	26.06
2000-01	11.84	436.00	3.00	16.52	4.66	479.90	0.90	37.58
2001-02	6.56	209.00	0.00	17.03	0.17	181.20	0.80	14.48
2002-03	34.14	247.00	2.00	18.21	2.72	1014.90	1.00	41.31
2003-04	10.53	369.00	3.00	19.02	0.69	439.40	2.00	41.68
2004-05	5.03	257.00	0.00	20.01	0.08	322.30	1.10	33.13
2005-06	7.57	257.00	0.00	37.13	0.57	911.80	1.20	32.84
2006-07	15.80	249.00	0.00	32.68	0.00	841.70	0.60	36.85
2007-08	4.31	250.00	2.00	24.58	0.00	602.10	1.40	34.46
2008-09	4.41	247.00	2.00	23.88	0.00	767.00	1.70	43.05
2009-10	6.03	249.00	0.00	22.08	0.00	726.00	1.70	33.66
2010-11	7.73	246.00	0.00	18.29	0.00	451.60	1.90	25.01
2011-12	5.28	243.00	1.00	17.28	0.00	494.00	2.40	28.73
2012-13	13.95	321.00	0.00	21.82	0.00	974.40	2.80	75.99
2013-14	16.08	500.00	0.00	29.17	0.00	656.90	4.40	50.55
2014-15	7.67	500.00	0.00	29.69	0.01	972.00	6.00	56.97
2015-16	20.10	262.00	2.00	18.88	0.01	597.20	4.80	42.84
2016-17	19.93	500.00	3.00	26.58	0.07	842.40	2.00	30.42
Total	12.64	834.00	0.00	24.99	0.60	1014.90	0.60	37.70

El valor máximo de la serie es 834 NTU; sin embargo, este valor fue registrado tan sólo el primer año de la serie y no vuelve a ocurrir en los 20 años siguientes, con lo que tomar este valor como referencia del valor máximo de las series de turbidez podría conllevar un error. Al no disponer de datos de caudal cuando los picos de turbidez se registraron, no se puede comparar con datos recientes. En la serie de turbidez se pueden distinguir varios periodos en los que el sensor de turbidez está limitado en torno a los 250 NTU, aunque puntualmente este valor ha sido superado. La tabla 1 y figura 2 (dcha) indican que en el año en el que se registra mayor caudal (2002-03) los valores máximos de turbidez se encuentran entre los más bajos de la serie. Se puede distinguir que los umbrales de lectura del aparato han sido aumentados en los últimos años de 250 NTU a 500 NTU. La relación estadística entre caudal y turbidez se muestra en la figura 2 (izq). En ella se observa una gran variabilidad en cuanto a la turbidez, en la que se registran valores de turbidez bajos (inferiores a 50 NTU) en todo el rango de caudales, y vice-versa, se registra el pico máximo de turbidez durante caudales muy bajos. Este último caso se corresponde con una crecida aislada y nos podría indicar una respuesta del río a la aportación desde fuentes de sedimento cercanas durante caudales de baja magnitud, o por la aportación de un afluente que aporta gran cantidad de sedimento y poco caudal. El caso contrario se podría explicar por el agotamiento de la fuente de sedimento.

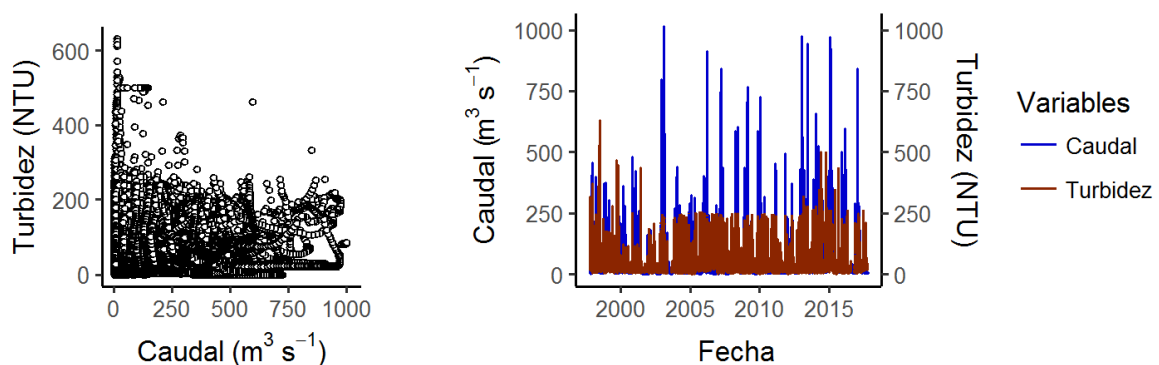


Figura 21. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Arga en Etxauri y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A069) y turbidograma (estación 903 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 904 - Gállego en Jabarrella

Diagnóstico de la serie: Calidad aceptable, con un 13,3% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de adquisición de datos.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 904 (Gállego en Jabarrella) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta la actualidad. La duración de esta serie superior a los 20 años. El valor medio de turbidez de la serie es 20.9 NTU. El valor máximo de la serie es de 976 NTU (alcanzado en 1998-99), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 13,3% de la serie sin datos (ND), la estación 904 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que se puede observar un patrón decreciente de los vacíos a partir del año 2005. Cabría destacar el porcentaje de vacíos en 2002-03, coincidiendo con las grandes crecidas acaecidas este año.

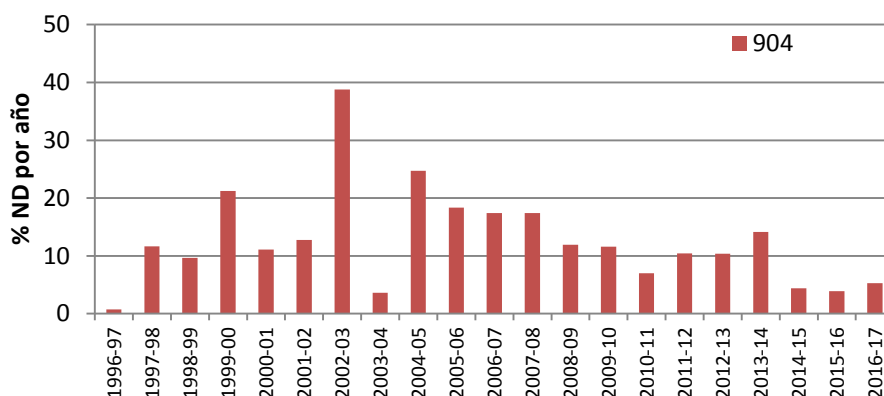


Figura 22. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 903 del río Arga en Etxauri.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A319 (Gállego en Sabiñanigo). La calidad de esta serie es mediocre, con un promedio de falta de valores superior al 8 %. Un problema añadido es duración de la serie, ya que tiene registros solo desde 2010. El patrón de esta serie es extraño, ya que en los primeros 5 años el % de vacíos varía entre el 0-0.1%, pero el sexto año el porcentaje aumenta hasta el 50%. El solapamiento de las series de caudal y sedimento es corto, contando solamente con 7 años en común, a partir del año 2011.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que la sonda de turbidez está activa). Hay muy poca distancia entre ambas curvas, principalmente en los caudales intermedios. En general, se podría decir que la falta de datos está repartida en todo el rango de caudales. Al comparar los percentiles de ambas series de caudal, encontramos valores muy semejantes, confirmando la similitud de las series. Probablemente la falta de registros en esta estación esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento o con problemas técnicos (averías, mantenimiento, etc.), aunque el caudal máximo es el mismo en ambas series. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 7. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal del río Gállego en Sabiñanigo (A319) y turbidez (904) del río Gállego en Jabarrella, respectivamente.

	Series de Turbidez (904)				Series de Caudal (A319)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo ($m^3 s^{-1}$)	Mínimo ($m^3 s^{-1}$)	Promedio ($m^3 s^{-1}$)
1997-98	11.6	834	1.0	30	-	-	-	-
1998-99	9.6	976	6.0	36	-	-	-	-
1999-00	21.2	755	0.0	21	-	-	-	-
2000-01	11.1	500	0.0	16	-	-	-	-
2001-02	12.8	433	2.0	19	-	-	-	-
2002-03	38.8	450	2.0	22	-	-	-	-
2003-04	3.6	450	3.0	22	-	-	-	-
2004-05	24.7	500	1.0	29	-	-	-	-
2005-06	18.3	500	2.0	23	-	-	-	-
2006-07	17.4	246	0.0	20	-	-	-	-
2007-08	17.4	249	1.0	16	-	-	-	-
2008-09	11.9	247	0.0	18	-	-	-	-
2009-10	11.6	247	3.0	19	-	-	-	-
2010-11	7.0	251	2.0	17	0.0	152	0.3	2
2011-12	10.4	242	4.0	19	0.0	44	0.4	2
2012-13	10.4	234	4.0	23	0.0	306	0.7	11
2013-14	14.1	248	0.0	22	0.0	108	0.3	5
2014-15	4.4	500	3.0	21	0.1	38	0.5	2
2015-16	3.9	487	2.0	14	49.4	159	0.1	8
2016-17	5.3	484	0.0	14	10.2	366	0.4	3
Total	13.3	976.00	0.0	20.88	8.6	366	0.1	4

El valor máximo de la serie es 976 NTU, siendo registrado el segundo año de la serie. En esta serie se pueden diferenciar varios cambios en el umbral de lectura de la sonda. Los primeros tres años (1997-2000), en los que el umbral estaba en los 1000 NTU, posteriormente se reduce a 500 NTU entre el 2000-06 y vuelve a reducirse hasta 250 hasta que en 2014 se aumenta definitivamente hasta los 500 NTU que registra en la actualidad. El escaso solape entre la serie de caudal y la de turbidez dificulta su análisis en conjunto. Al no disponer de datos de caudal cuando los picos de turbidez se registraron, no se puede comparar con datos recientes. Sin embargo, en la tabla 1 y figura 2 (dcha) se puede observar que en el periodo de coincidencia de ambas series, los valores más altos de turbidez se producen en el único periodo en el que no se registran crecidas, dato que nos corrobora la perdida de datos durante estos eventos de gran importancia. La relación estadística entre caudal y turbidez se muestra en la figura 2 (izq). En ella volvemos a encontrar una gran variabilidad, registrando valores de turbidez bajos (inferiores a 20 NTU) en casi todo el rango de caudales, y el pico máximo de turbidez se produce durante caudales bajos. Como en anteriores casos, se debe a una respuesta del río a la aportación desde fuentes de sedimento cercanas durante caudales de baja magnitud, o a la aportación de un pequeño barranco o afluente que aporta gran cantidad de sedimento y poco caudal. El caso contrario se podría explicar por el agotamiento de la fuente de sedimento. Por otro lado, el efecto de la distancia entre estaciones, a pesar de haber realizado el tránsito puede influenciar esta relación.

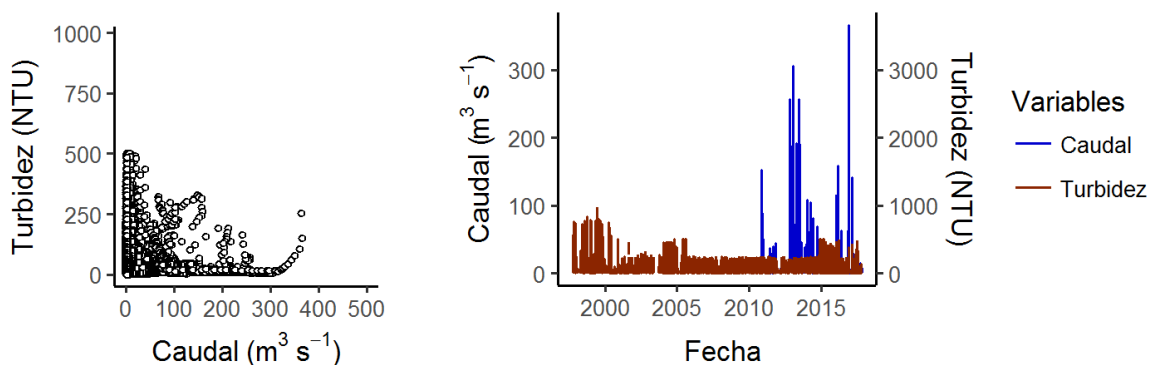


Figura 23. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Gállego en Sabiñanigo y río Gállego en Jabarrella, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A319) y turbidigrama (estación 904 de calidad de aguas).

Estación de Calidad 905 - Ebro en Presa Pina

Diagnóstico de la serie: Buena calidad, con un 10.9 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en los rangos de nivel medios y altos | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 905 - Ebro en Presa Pina, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1997 hasta 2017. La duración de esta serie es de 20 años. El valor medio de turbidez de la serie es 44.66 NTU. El valor máximo de la serie es de 522 NTU (alcanzado en el año 1997-98), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 10.94 % de la serie sin datos (ND), la estación 905 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. A pesar de la gran variabilidad, se puede diferenciar una tendencia creciente en el número de vacíos por año. Se podría destacar únicamente el año 2006-07, con un porcentaje de vacíos superior al 35 %.

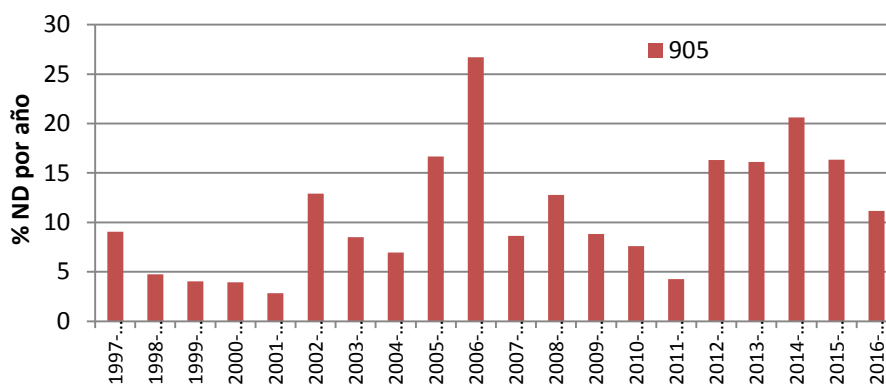


Figura 24. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 905 - Ebro en Presa Pina

En este caso no se disponía de serie de caudal, así que se ha empleado la serie de nivel de agua de la estación E286 (Ebro en Presa Pina). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 5 %. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 20 años en común, permitiendo un buen solapamiento.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de niveles mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que los niveles medios y altos están representados menos representados en la serie en la que el sensor está activo. Las curvas comienzan a divergir con niveles que son excedidos alrededor del 90% del tiempo, con valores en torno a los 4 m. Todos los niveles superiores a estos 4 m están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los niveles altos, mientras en la serie completa el máximo es 9.89 m, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de 9.64 m. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación está relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante niveles más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 8. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (E286) y turbidez (905) del río Ebro en la Presa de Pina

	Series de Turbidez (905)				Series de Nivel (E286)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	9.05	522	2	23.17	7.22	3.59	1.9	2.60
1998-99	4.76	174	4	18.45	0.90	3.83	2.3	3.10
1999-00	4.03	500	5	23.32	8.53	3.9	2.38	3.06
2000-01	3.93	124	6	19.05	0.31	4.14	2.19	3.12
2001-02	2.83	441	1	40.96	4.13	3.71	1.65	3.05
2002-03	12.91	259	5	44.51	0.44	4.9	2.58	3.22
2003-04	8.49	382	0	47.15	16.31	4.19	3	3.43
2004-05	6.96	462	3	37.77	26.30	4.78	0.65	3.69
2005-06	16.68	250	0	60.10	4.10	4.81	0	3.19
2006-07	26.72	249	0	75.49	0.13	4.99	2.77	3.29
2007-08	8.64	242	4	29.67	1.18	9.89	1.57	3.34
2008-09	12.77	248	2	42.23	6.86	3.98	0.61	3.08
2009-10	8.82	249	3	27.99	8.00	4.03	0.33	3.07
2010-11	7.59	246	4	42.30	0.10	4.02	2.91	3.14
2011-12	4.25	249	6	44.73	0.98	3.94	2.97	3.20
2012-13	16.32	250	9	80.50	0.01	4.79	3.16	3.62
2013-14	16.13	249	14	86.90	0.02	4.7	3.33	3.69
2014-15	20.62	250	10	76.66	0.01	5.58	3.5	3.79
2015-16	16.33	250	20	61.44	0.09	4.72	3.63	3.86
2016-17	11.16	248	8	33.87	1.01	4.78	1.45	4.02
Total	10.94	522	0	44.66	4.33	9.89	0	3.33

El valor máximo de la serie es 522 NTU, siendo registrado en el primer año de la serie (1997-98). En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha variado entre los 250 y los 500 NTU. En la tabla 1 se ve como el umbral de lectura fue de 500 NTU los primeros años y a partir del 2004-05 se redujo a 250 NTU. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, no hay ninguna relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. La interpretación de la figura 2 izq es más complicada al hacerla con niveles de agua en vez de con caudales, ya que al no haber una conversión nivel caudal, hay veces que se producen cambios de nivel muy bruscos. También hay una gran variabilidad, niveles entre 2.3 y 5 m pueden alcanzar valores altos de turbidez cercanos al umbral máximo de lectura.

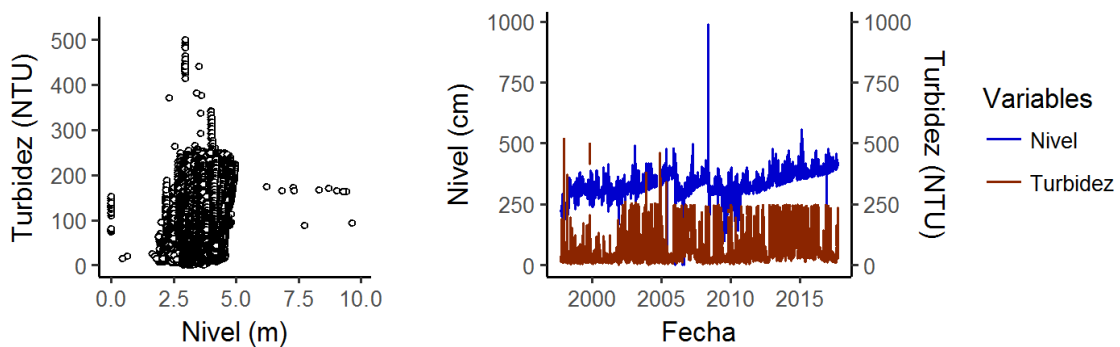


Figura 25. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en el río Ebro en la Presa de Pina, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo E286) y turbidograma (estación 905 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 906 – Ebro en Ascó

Diagnóstico de la serie: Calidad aceptable, con un 10% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, sobre todo durante caudales medios y altos (i.e. $1000-2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar sistema de obtención de datos.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 906 (Ebro en Ascó) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta la actualidad. La duración de esta serie superior a los 21 años. El valor medio de turbidez de la serie es 10.43 NTU. El valor máximo de la serie es de 999 NTU (alcanzado el primer año de la serie), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 10,03% de la serie sin datos (ND), la estación 906 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que se puede observar un patrón decreciente de los vacíos desde el principio de la serie. Cabría destacar el porcentaje de vacíos en 1996-97, el primer año de la serie, en el que este porcentaje supera el 70%.

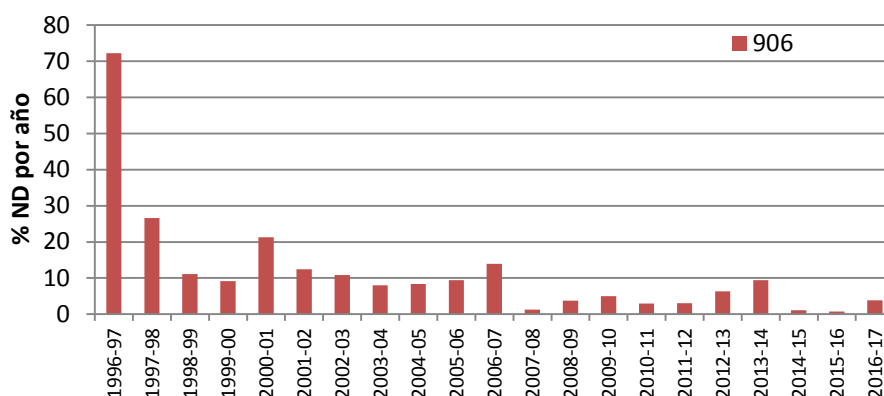


Figura 26. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 906 del río Ebro en Ascó.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A163 (Ebro en Ascó). La calidad de esta serie es muy buena, con un promedio de falta de valores inferior al 2 %. La duración de esta serie es también la máxima, permitiendo un solapamiento muy largo con la serie de turbidez, en total 20 años en común.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez). La diferencia entre ambas curvas se comienza a hacer patente en los caudales que son superados el 1% del tiempo. Estos son caudales de crecida, superiores a $1500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Las diferencias más notables entre ambas curvas se sitúan en torno a las $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, siendo por tanto estos caudales los que generan una turbidez suficiente para que el turbidímetro exceda su límite de lectura. Al comparar los percentiles de ambas series de caudal, encontramos valores muy semejantes, confirmando la similitud de las series. Probablemente la falta de registros en esta estación esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento o con problemas técnicos (averías, mantenimiento, etc.). La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 9. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A163) y turbidez (906) del río Ebro en Ascó.

	Series de Turbidez (906)				Series de Caudal (A163)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo ($m^3 s^{-1}$)	Mínimo ($m^3 s^{-1}$)	Promedio ($m^3 s^{-1}$)
1996-97	72.3	999	7.0	21	-	-	-	-
1997-98	26.6	774	13.0	27	17.8	2369.0	112.0	351.4
1998-99	11.1	72	8.0	20	0.8	786.0	107.0	232.2
1999-00	9.1	46	10.0	17	0.0	1174.0	94.0	249.2
2000-01	21.2	298	5.0	17	0.3	2609.0	91.0	412.6
2001-02	12.4	33	0.0	7	0.0	502.0	96.0	153.1
2002-03	10.8	291	0.0	10	0.0	2545.0	111.0	438.5
2003-04	8.0	111	1.0	13	0.0	1404.0	116.0	464.1
2004-05	8.3	41	0.0	7	0.0	798.0	124.0	253.5
2005-06	9.4	106	0.0	7	0.3	1527.0	116.0	227.3
2006-07	13.9	251	4.0	10	0.0	1880.0	108.0	287.3
2007-08	1.2	294	3.0	11	0.0	1949.0	101.0	268.3
2008-09	3.7	170	3.0	11	0.2	1149.0	48.0	355.3
2009-10	5.0	341	3.0	10	0.0	1333.0	128.0	348.2
2010-11	2.9	313	0.0	6	0.0	1484.0	112.0	220.3
2011-12	3.0	184	0.0	5	0.0	1323.0	99.0	158.2
2012-13	6.3	173	2.0	14	0.0	1639.0	115.0	517.2
2013-14	9.5	114	1.0	8	0.0	1373.0	124.0	376.5
2014-15	1.1	133	0.0	8	3.1	1860.0	107.0	430.6
2015-16	0.8	124	0.0	4	0.0	1075.0	116.0	296.7
2016-17	3.8	143	0.0	3	1.7	1206.0	102.0	212.9
Total	10.0	999.00	0.0	10.43	1.2	2609	94.0	311

El valor máximo de la serie es 999 NTU, siendo registrado el primer año de la serie. En esta serie se puede diferenciar algún cambio en el umbral de lectura de la sonda. Los dos primeros años (1996-1998), el umbral estaba en los 1000 NTU. Posteriormente parece que el umbral se ha reducido, puesto que la crecida ocurrida en 1997-98, con un caudal de $2369 m^3 s^{-1}$ genera un pico de turbidez de 774 NTU, y la crecida ocurrida en el año 2000-01, con caudales incluso superiores genera un pico de turbidez 3 veces menor. Hay que destacar que como conocedores de este tramo de río, éste raramente supera los 300 NTU (i.e. $\approx 300 mg l^{-1}$). Al ver la figura 2 (izq) se puede observar mucha variabilidad en la relación caudal-turbidez, pero al contrario que en otras estaciones, en este caso no parece que el límite de detección del turbidímetro sea un problema, pues se ve que hay pocos eventos en los que la tendencia sea superar los 400 NTU. En este caso no se percibe una relación bimodal, los valores de turbidez no son muy elevados incluso con caudales extremos, y no se ven incrementos contrastados de turbidez con caudales bajos como ocurre en otros ríos. Cabe destacar los ínfimos valores de turbidez registrados durante los caudales máximos. Este hecho está relacionado con un agotamiento de las fuentes de sedimento en este tramo fuertemente regulado.

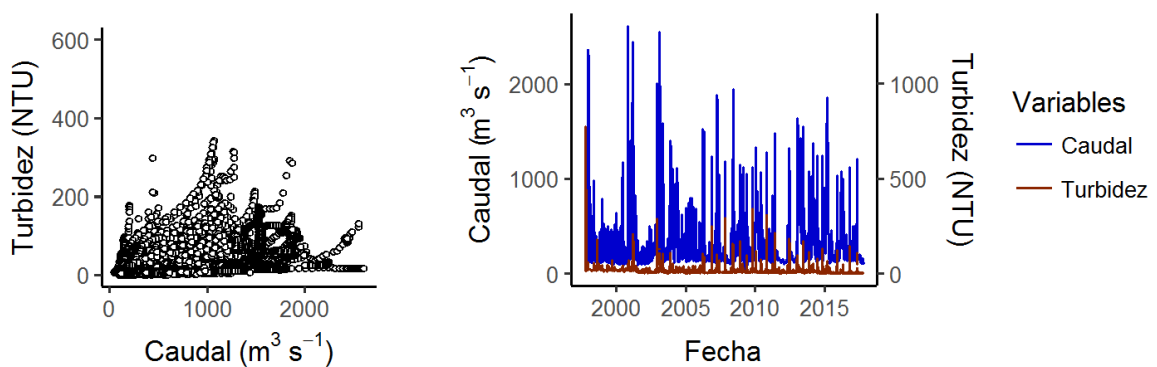


Figura 27. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Ascó y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A163) y turbidigrama (estación 906 de calidad de aguas).

Estación de Calidad 907 - Ebro en Haro

Diagnóstico de la serie: Calidad alta, con un 11 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez principalmente en los rangos de nivel medios y altos | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 907, Ebro en Haro, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1997 hasta 2017. La duración de esta serie es de 20 años. El valor medio de turbidez de la serie es 15.8 NTU. El valor máximo de la serie es de 496 NTU (alcanzado en el año 1997-98), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 10.68% de la serie sin datos (ND), la estación 907 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. La tendencia en esta serie es más o menos constante, contando con pocos años que superen el 20%. Contrastando con esto aparece el último año de la serie contando con un porcentaje de vacíos superior al 70%.

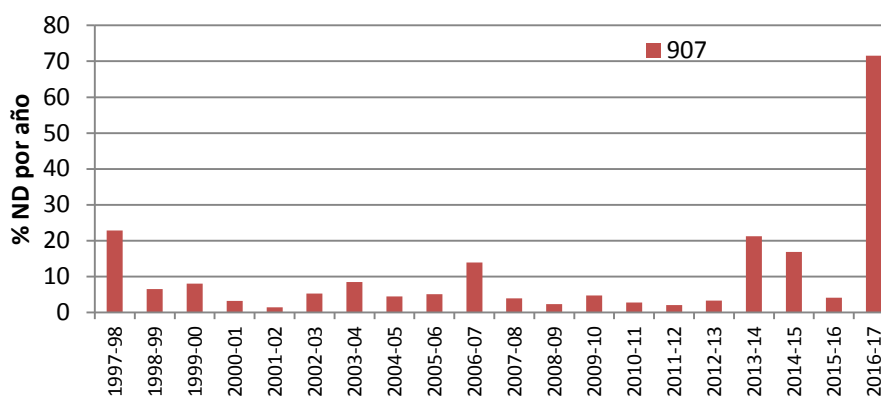


Figura 28. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 907 - Ebro en Haro.

En este caso no se disponía de serie de caudal, así que se ha empleado la serie de nivel de agua de la estación 907 (Ebro en Haro). La calidad de esta serie no es muy buena, con un promedio de falta de valores cercano al 13 %. La duración de esta serie es de 19 años, desde 1997 hasta 2016. Ambas series comparten un total de 19 años en común, permitiendo un muy buen solapamiento.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de niveles mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de niveles están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que el sensor está activo). Las curvas son muy similares hasta alcanzar niveles superiores a 550 cm, solo excedidos el 1 % del tiempo. Es durante este 1% del tiempo que los valores de nivel están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los niveles más altos. Mientras en la serie completa el máximo es 999 cm, en la otra serie, en la que el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de 835 cm. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 10. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de nivel y turbidez (907) del río Ebro en Haro

	Series de Turbidez (907)				Series de Nivel (907)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Promedio (cm)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	22.89	496	0	16.07	15.06	619	141	200.09
1998-99	6.48	248	0	11.78	5.04	483	151	201.38
1999-00	8.04	236	2	12.34	5.27	590	147	194.04
2000-01	3.22	248	3	15.87	1.78	695	148	210.49
2001-02	1.46	148	2	7.24	0.46	517	148	349.51
2002-03	5.24	249	1	11.62	2.71	999	284	442.13
2003-04	8.52	202	1	13.58	2.66	635	326	448.80
2004-05	4.50	246	5	18.68	3.44	609	326	469.22
2005-06	5.13	242	0	17.42	2.79	627	205	486.32
2006-07	13.96	237	4	21.72	2.98	755	372	490.13
2007-08	3.94	245	2	16.59	4.90	860	455	494.16
2008-09	2.36	232	3	16.72	12.62	656	381	440.24
2009-10	4.77	235	2	14.12	0.31	642	325	416.53
2010-11	2.80	217	2	16.78	1.42	505	396	407.62
2011-12	2.05	221	5	16.39	0.66	487	384	399.81
2012-13	3.32	241	3	22.25	2.17	635	387	422.20
2013-14	21.20	190	0	15.97	62.17	507	328	416.95
2014-15	16.89	236	3	13.32	4.79	967	327	485.75
2015-16	4.09	208	2	10.63	27.41	771	334	485.83
2016-17	71.51	162	0	8.52	-	-	-	-
Total	10.68	496	0	15.08	12.98	999	0	391.80

El valor máximo de la serie es 496 NTU, siendo registrado en el año 1997-98. En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha variado entre los 250, los 500 NTU. En la tabla 1 se puede ver que únicamente el primer año de la serie, en el que se produce el máximo de turbidez, el umbral de lectura es superior a 250 NTU, a partir de ese momento ningún año supera este valor. La figura 2 (dcha) nos muestra que quizás debido a la escasa carga sedimentaria transportada por el río, este umbral no sea superado en multitud de ocasiones. Por otro lado, esta figura nos muestra la problemática de trabajar con series de nivel que no han sido transformadas a caudal. En un momento dado, la sección puede cambiar, o el limnigrafo y cambiar la relación nivel caudal, y los valores que se han tomado antes dejan de ser representativos. En esta figura se observa que hasta el año 2000 la turbidez alcanza los 1000 NTU, para luego alternar periodos entre los 500 y los 250 NTU. La figura 2 izq nos muestra una gran variabilidad en la relación Nivel-Turbidez, esta figura seguramente está muy influenciada por el cambio de nivel que se produjo en el año 2001.

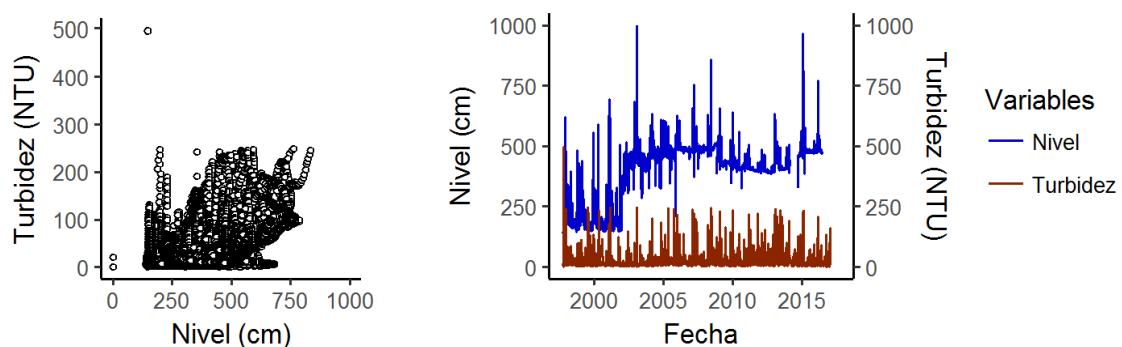


Figura 29. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en el río Ebro en Haro y (Derecha) Hidrograma y turbidigrama (estación 907 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 908 – Ebro en Mendavia

Diagnóstico de la serie: Calidad no aceptable, con un 27.56 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, sobre todo durante caudales muy altos (i.e. $>1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar sistema de obtención de datos

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 908 (Ebro en Mendavia) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta la actualidad. La duración de esta serie es de 17 años. El valor medio de turbidez de la serie es 36.21 NTU. El valor máximo de la serie es de 488 NTU (alcanzado el primer año de la serie), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 27.56 % de la serie sin datos (ND), la estación 908 aparecería entre los valores superiores del tercer grupo de estaciones (i.e. ND entre un 20 y un 40% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que se puede observar un patrón creciente de los vacíos desde el principio de la serie. Cabría destacar los años 2002-03/2003-04 dentro de este incremento general, puesto que estos años los valores son mucho más elevados que en los años anteriores y posteriores (i.e. 40 y 70% frente al 8-12%). Esto puede deberse a que en estos años se dieron caudales elevados pudiendo superar el umbral de lectura de la sonda. Los tres últimos años de la serie también registran una falta de datos superior al 30%.

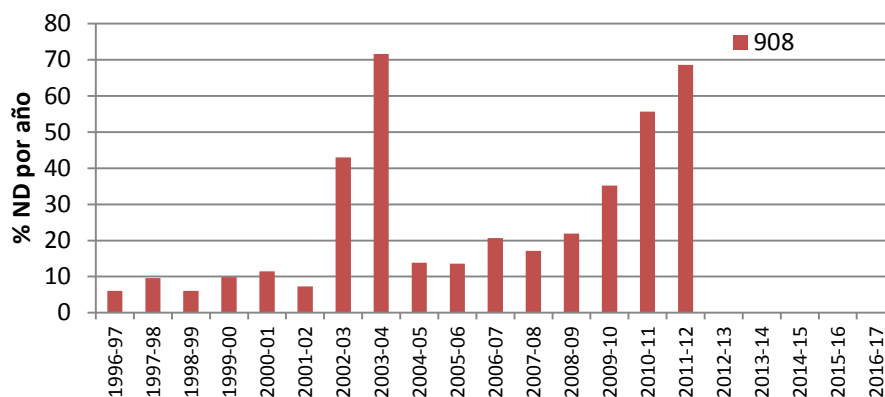


Figura 30. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 908 del río Ebro en Mendavia.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A120 (Ebro en Mendavia). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 5 %. La duración de esta serie es también la máxima, permitiendo un solapamiento muy largo con la serie de turbidez, en total 15 años en común.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez). La diferencia entre ambas curvas se comienza a hacer patente desde el principio, y es muy importante en todos los rangos de valores. Al comparar los percentiles de ambas series de caudal, encontramos valores bastante diferentes. Como en la mayoría de casos en los caudales superiores. El caudal máximo de la serie completa es de $1280 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mientras que en la otra serie (cuando el turbidímetro está en funcionamiento) el máximo es de $907 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. La falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento o con problemas técnicos (averías, mantenimiento, etc.). La tabla 1 muestra los

estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 11. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A120) y turbidez (908) del río Ebro en Mendavia.

	Series de Turbidez (908)				Series de Caudal (A120)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m^3s^{-1})	Mínimo (m^3s^{-1})	Promedio (m^3s^{-1})
1996-97	6.02	420	0	36.27	-	-	-	-
1997-98	9.59	472	0	41.02	4.67	636	19	90.82
1998-99	6.03	248	0	34.84	1.39	449	19	76.49
1999-00	9.86	248	3	31.32	5.17	626	19	72.93
2000-01	11.48	248	0	25.73	10.02	1227	14	106.65
2001-02	7.28	250	1	27.8	0.39	473	10	42.39
2002-03	43.02	248	3	35.14	15.74	1279	13	131.29
2003-04	71.65	249	2	64.36	37.01	663	17	103.6
2004-05	13.86	250	7	47.45	0.14	522	12	107.52
2005-06	13.55	488	4	66.12	0.07	663	13	86.76
2006-07	20.66	247	3	40.29	0	942	13	104.7
2007-08	17.14	238	3	30.84	0.07	1210	22	90.78
2008-09	21.93	247	3	25.53	0.19	934	25	123.02
2009-10	35.19	231	3	26.35	0	968	25	103.18
2010-11	55.64	231	2	20.12	0.1	634	25	64.26
2011-12	68.56	223	6	30.93	0	486	25	61.04
2012-13	-	-	-	-	0	963	14	133.04
2013-14	-	-	-	-	0	727	13	91.36
2014-15	-	-	-	-	3.44	1280	15	143.62
2015-16	-	-	-	-	16.82	1124	30	128.8
2016-17	-	-	-	-	0	861	6	42.23
Total	27.56	488	0	36.21	4.75	1280	6	94.17

El valor máximo de la serie es 488 NTU, siendo registrado en el año 2005-06. En esta serie se puede diferenciar algún cambio en el umbral de lectura de la sonda. Los dos primeros años (1996-1998), el umbral estaba en los 500 NTU. El umbral se reduce a 250 NTU hasta el año 2005-06, año en el que se produce el máximo de turbidez, para luego volver a ser reducido a 250 NTU hasta el final de la serie. Esta limitación se percibe claramente en la figura 2. En la figura 2 (izq) se puede ver claramente el umbral a 250 NTU. En el único momento en el que este umbral desaparece, la turbidez aumenta drásticamente. Este incremento se produce en caudales bajos y constantes, indicándonos la contribución de un tributario o de una fuente de sedimentos cercana que ha podido ser re suspendida con caudales bajos. En esta figura se puede observar una gran variabilidad, pero a diferencia de otras secciones, en este caso los caudales más altos siempre registran valores de turbidez elevada, dejando patente que no hay una limitación en la fuente de sedimentos. En la figura de la derecha queda patente que por mucho que los caudales aumenten los valores de turbidez no pasan de los 250 NTU.

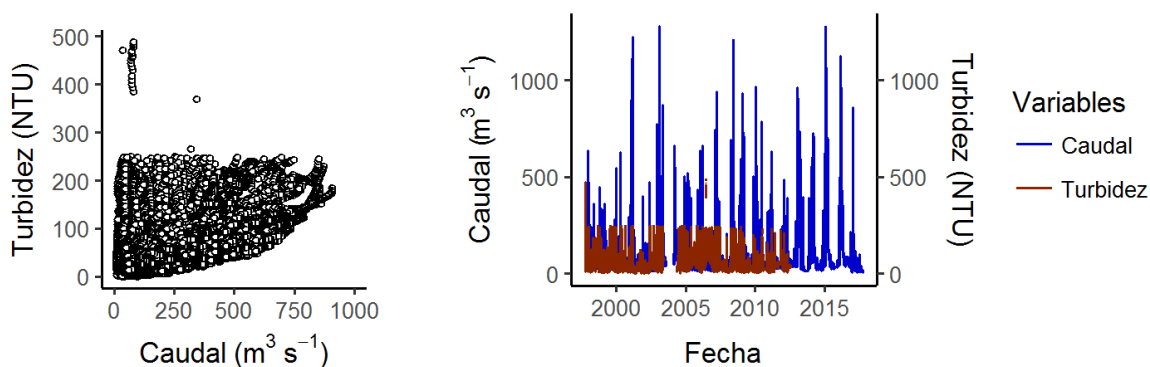


Figura 31. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Mendavia y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A120) y turbidigrama (estación 908 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 909 – Ebro en Zaragoza

Diagnóstico de la serie: Calidad no aceptable, con un 26.54 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, sobre todo durante caudales muy altos (i.e. $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar sistema de obtención de registros

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 909 (Ebro en Zaragoza) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta 2013. La duración de esta serie es de 17 años. El valor medio de turbidez de la serie es 44.66 NTU. El valor máximo de la serie es de 495 NTU (alcanzado en el año 2002-03), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 26.54 % de la serie sin datos (ND), la estación 909 aparecería entre los valores superiores del tercer grupo de estaciones (i.e. ND entre un 20 y un 40 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que no se puede observar un patrón claro. Cabría destacar los años 2006-08 y el 2012-13 con vacíos entre el 40 y el 80 %.

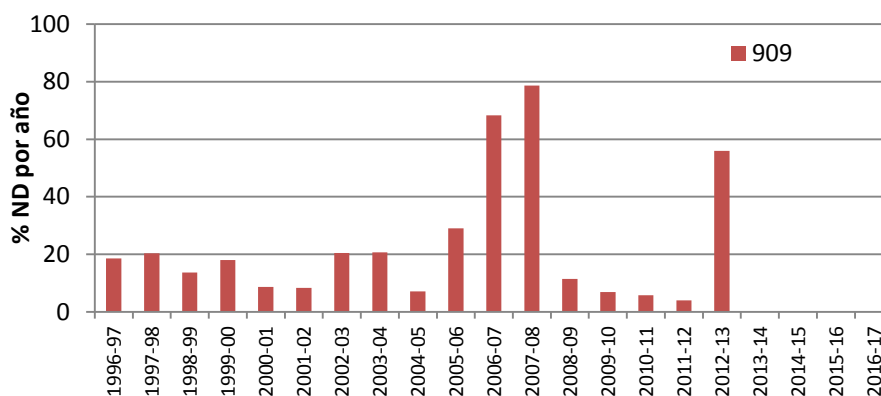


Figura 32. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 909 del río Ebro en Zaragoza.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A011 (Ebro en Zaragoza). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 1 %. La duración de esta serie es también la máxima, permitiendo un solapamiento muy largo con la serie de turbidez, en total 16 años en común.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que el turbidímetro está activo). La diferencia entre ambas curvas se comienza a hacer patente desde el principio, y es más importante en los caudales superiores a los $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Al comparar los percentiles de ambas series de caudal, encontramos valores bastante diferentes a partir del percentil 50 y sobretodo en los máximos. El caudal máximo de la serie completa es de $2448 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mientras que en la otra serie (cuando el turbidímetro está en funcionamiento) el máximo es de $2140 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. La falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento o con problemas técnicos (averías, mantenimiento, etc.). La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 12. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal (A011) y turbidez (909) del río Ebro en Zaragoza.

	Series de Turbidez (909)				Series de Caudal (A011)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m^3s^{-1})	Mínimo (m^3s^{-1})	Promedio (m^3s^{-1})
1996-97	18.59	406	0	63.71	-	-	-	-
1997-98	20.37	371	1	53.10	4.43	1488	31	181.48
1998-99	13.66	495	2	55.82	0.83	859	34	168.11
1999-00	18.05	260	0	39.95	0.00	771	26	143.64
2000-01	8.64	250	0	37.06	4.66	1548	28	241.55
2001-02	8.36	249	1	40.96	0.00	582	14	71.67
2002-03	20.47	495	2	64.64	0.00	2321	22	271.10
2003-04	20.74	424	6	51.17	0.00	1160	32	260.76
2004-05	7.09	247	0	30.76	0.06	796	24	171.45
2005-06	29.03	461	0	42.56	0.00	1470	22	152.36
2006-07	68.28	295	21	83.14	0.00	2026	29	221.35
2007-08	78.62	96	7	40.44	0.10	1498	36	178.92
2008-09	11.42	314	3	44.15	0.00	1604	38	241.96
2009-10	6.87	247	1	38.26	0.00	1549	30	207.28
2010-11	5.80	388	2	43.65	0.00	999	27	128.76
2011-12	3.97	285	3	33.24	0.00	623	30	100.07
2012-13	55.93	247	10	77.33	0.00	1755	38	384.66
2013-14	-	-	-	-	0.00	1554	50	242.65
2014-15	-	-	-	-	0.02	2448	28	295.70
2015-16	-	-	-	-	0.26	1357	28	205.32
2016-17	-	-	-	-	0.02	1236	22	103.86
Total	26.54	495	0	44.66	0.52	2448	14	198.10

El valor máximo de la serie es 495 NTU, siendo registrado en el tercer año de la serie. Atendiendo a la tabla 1, no se podría confirmar si el límite de detección de la sonda ha sido siempre 500 NTU o ha ido cambiando entre 250 y 500 NTU. Aunque al observar la figura 2 se puede ver claramente que el umbral de 250 NTU ha sido sobrepasado de manera muy puntual en toda la serie. Cabría remarcar que no hay una relación significativa entre los picos de caudal y los picos de turbidez. El máximo de turbidez (495 NTU) se alcanza con uno de los caudales más bajos de la serie ($859 m^3 s^{-1}$). En la figura 2 izq, se puede ver una gran variabilidad, pero a diferencia de otros casos, a medida que aumentan los caudales aumenta la turbidez, dejando patente que no hay una limitación en la fuente de sedimentos. En la figura de la derecha queda patente que por mucho que los caudales aumenten los valores de turbidez no pasan de los 250 NTU.

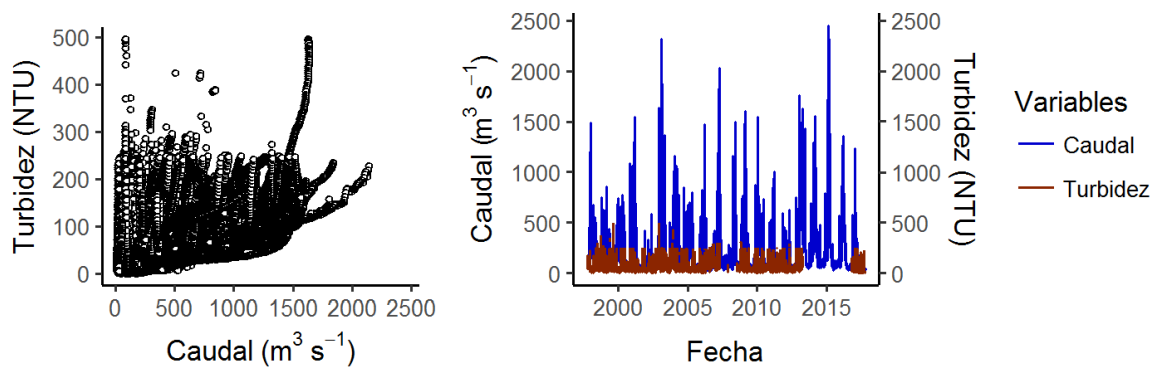


Figura 33. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Zaragoza y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A011) y turbidograma (estación 909 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 910 – Ebro en Xerta

Diagnóstico de la serie: Calidad media, con un 18% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de muy altos (i.e. $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Evitar que la bomba se apague cuando se supere el umbral de lectura del sensor

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 910 (Ebro en Xerta) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta 2017. La duración de esta serie es de 21 años. El valor medio de turbidez de la serie es 12.53 NTU. El valor máximo de la serie es de 344 NTU (alcanzado en el año 2006-07), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 18.02 % de la serie sin datos (ND), la estación 910 aparecería entre los valores superiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que no se puede observar un patrón claro. Cabría destacar los años 1996-98, 2002-03 y el 2011-12 con vacíos entre el 40 y algo más del 70%.

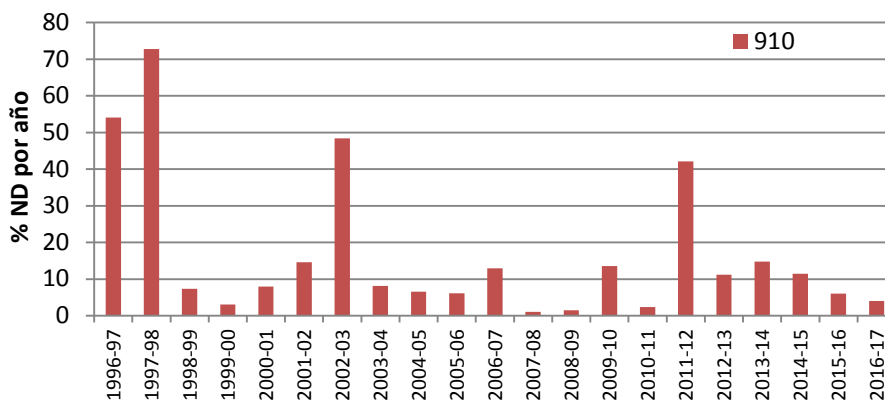


Figura 34. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 910 del río Ebro en Xerta.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A027 (Ebro en Tortosa). La calidad de esta serie es media, con un promedio de falta de valores ligeramente superior al 8 %. La duración de esta serie es de 19 años, desde 1997 hasta 2017, pero con el año 2003-04 en el que no se obtuvieron registros. Ambas series comparte un total 19 años en común, permitiendo un solapamiento muy bueno.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que el sensor está activo). Ambas curvas son muy similares, simplemente en caudales en torno a los $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ esta diferencia entre las curvas es palpable. Al comparar los percentiles de ambas series de caudal, encontramos que, a diferencia de otras secciones, en los valores inferiores también se observan diferencias importantes. El caudal mínimo en los momentos en los que el turbidímetro estaba inactivo es de $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mientras que en la serie total es de $54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. La falta de registros en esta estación probablemente no esté solamente relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que también faltan lecturas en caudales bajos. En este caso la falta de lecturas de la sonda puede estar relacionada con problemas técnicos (averías, mantenimiento, etc.). La tabla

1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 13. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A027) del río Ebro en Tortosa y turbidez (910) en Xerta.

	Series de Turbidez (910)				Series de Caudal (A027)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo ($m^3 s^{-1}$)	Mínimo ($m^3 s^{-1}$)	Promedio ($m^3 s^{-1}$)
1996-97	54.04	73	0	11.85	-	-	-	-
1997-98	72.81	61	3	9.41	0.00	2354	96	326.80
1998-99	7.33	99	0	12.20	4.08	535	78	196.66
1999-00	3.08	85	6	18.15	0.00	945	87	225.82
2000-01	7.97	213	3	20.61	4.66	2490	87	396.41
2001-02	14.57	49	0	4.34	0.00	541	56	132.55
2002-03	48.38	180	0	10.82	24.92	2475	70	467.27
2003-04	8.11	241	3	15.01	100.00	-	-	-
2004-05	6.54	41	5	11.21	26.31	653	70	199.62
2005-06	6.10	236	5	25.84	0.00	1289	80	194.64
2006-07	12.97	344	3	23.27	0.00	1845	79	255.30
2007-08	1.05	153	5	11.70	2.48	1741	85	193.67
2008-09	1.45	159	3	12.47	0.00	1191	92	322.89
2009-10	13.59	195	3	11.98	0.21	1345	97	302.32
2010-11	2.41	167	1	6.51	0.51	958	86	176.18
2011-12	42.11	58	0	7.80	0.00	738	104	123.53
2012-13	11.18	203	1	15.69	0.00	1514	86	493.13
2013-14	14.73	88	1	5.07	0.00	1345	82	325.61
2014-15	11.48	300	1	13.50	0.05	1808	83	390.26
2015-16	6.06	126	1	5.97	0.00	1084	75	273.07
2016-17	4.03	51	1	4.36	0.14	723	75	161.03
Total	18.02	344	0	12.53	8.15	2490	56	269.18

El valor máximo de la serie es 344 NTU, siendo registrado en 2006-07. Atendiendo a la tabla 1, no se podría confirmar si el límite de detección de la sonda ha sido siempre 500 NTU o ha ido cambiando entre 250 y 500 NTU. Al observar la figura 2 izq, no se ve tan claramente como en otros casos el umbral de lectura. En este caso se podría decir que la escasa carga sedimentaria transportada por el río no supera el umbral establecido en la sonda. La relación entre los máximos de turbidez y los de caudal son más coherentes que en otros casos, aunque hay algunas crecidas de gran magnitud en las que sorprende la escasa turbidez registrada. Aunque en esta estación parece que el límite de turbidez establecido en la sonda abarca todo el rango de concentraciones transportado por el río, no se descarta que se produjeran errores de lectura en algún caso puntual. Por ejemplo, se puede ver en la figura 2 dcha, que en el momento de máxima turbidez hay un vacío en la serie, aunque solo sea de unas horas.

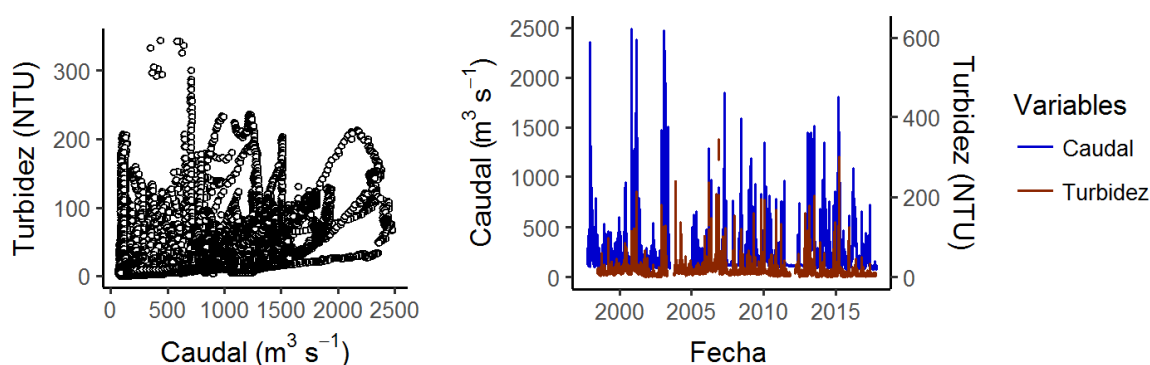


Figura 35. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Tortosa y Xerta, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A027) y turbidograma (estación 910 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 911 – Zadorra en Arce

Diagnóstico de la serie: Calidad media, con un 14.5 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, durante caudales medios y altos | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 911 (Zadorra en Arce) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta 2017. La duración de esta serie es de 21 años. El valor medio de turbidez de la serie es 12.66 NTU. El valor máximo de la serie es de 288 NTU (alcanzado en el año 1997-98), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 14.48 % de la serie sin datos (ND), la estación 911 aparecería entre los valores intermedios del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que no se puede observar un patrón claro. Cabría destacar los años 2003-04 y el 2013-14 con vacíos entre el 30 y algo más del 70%.

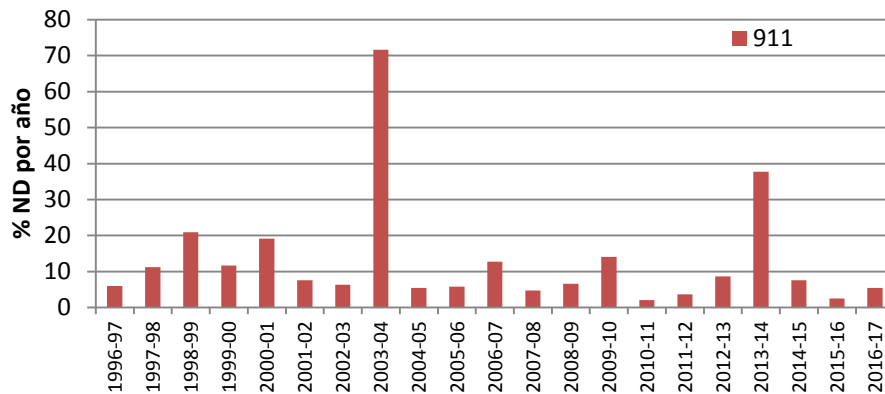


Figura 36. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 911 del río Zadorra en Arce.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A074 (Zadorra en Arce). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores ligeramente inferior al 2 %. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 20 años en común, permitiendo un solapamiento muy bueno.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que el sensor está activo). Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos solamente el 10% del tiempo, con valores en torno a los $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Al comparar los percentiles de ambas series de caudal, encontramos que la diferencia entre las dos series se empieza a percibir a partir del percentil 75. En la curva de frecuencia de caudales no se percibe, pero durante hay una diferencia entre los caudales mínimos de ambas series, de los 0.18 a los $0.37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente no esté solamente relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que también faltan lecturas en caudales bajos. En este caso la falta de lecturas de la sonda puede estar relacionada con problemas técnicos (averías, mantenimiento, etc.). La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 14. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal (A074) y turbidez (911) del río Zadorra en Arce.

	Series de Turbidez (911)				Series de Caudal (A074)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	6.00	245	0	11.21	-	-	-	-
1997-98	11.23	288	0	9.98	0.14	128	1	8.30
1998-99	20.90	189	2	10.47	2.35	101	1	10.74
1999-00	11.66	230	3	9.44	0.06	73	1	6.72
2000-01	19.10	249	0	20.09	4.66	138	1	8.98
2001-02	7.55	248	0	6.41	0.00	69	0	5.62
2002-03	6.34	249	1	9.10	0.00	390	0	13.66
2003-04	71.61	128	3	12.30	29.15	127	1	10.37
2004-05	5.44	249	2	13.20	0.14	127	0	12.74
2005-06	5.77	242	2	10.48	0.00	122	1	9.69
2006-07	12.77	246	2	15.08	0.00	218	0	11.67
2007-08	4.73	240	3	17.95	0.00	255	1	10.85
2008-09	6.62	248	0	23.90	0.00	274	1	15.54
2009-10	14.11	248	2	14.61	0.00	188	1	10.16
2010-11	2.05	227	2	13.16	0.00	90	1	7.44
2011-12	3.69	241	1	11.49	0.00	66	1	6.87
2012-13	8.63	245	0	15.30	0.00	233	1	24.10
2013-14	37.77	213	2	12.64	0.00	165	1	13.21
2014-15	7.53	247	4	12.24	0.01	400	2	21.43
2015-16	2.46	227	3	8.73	0.44	266	0	12.93
2016-17	5.47	236	2	7.36	0.00	178	1	6.82
Total	14.48	288	0	12.66	1.85	400	0	11.39

El valor máximo de la serie es 288 NTU, siendo registrado en el segundo año de la serie (1997-98). Atendiendo a la tabla 1, se podría confirmar que el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha sido siempre 250 NTU, siendo superado este valor únicamente una vez en toda la serie. Al observar la figura 2 izq, se diferencia claramente el umbral de lectura. En esta figura se puede ver que con caudales máximos aparecen dos grupos de puntos aislados, uno con valores de turbidez muy bajos (20 NTU), y otro con valores más elevados (200 NTU). Si este hecho se produjo durante la misma crecida (solo hubo dos de esta magnitud en la serie de datos) nos indicaría que el río en las primeras fases de la crecida transportaba cargas de sedimento importante que posteriormente fueron agotadas.

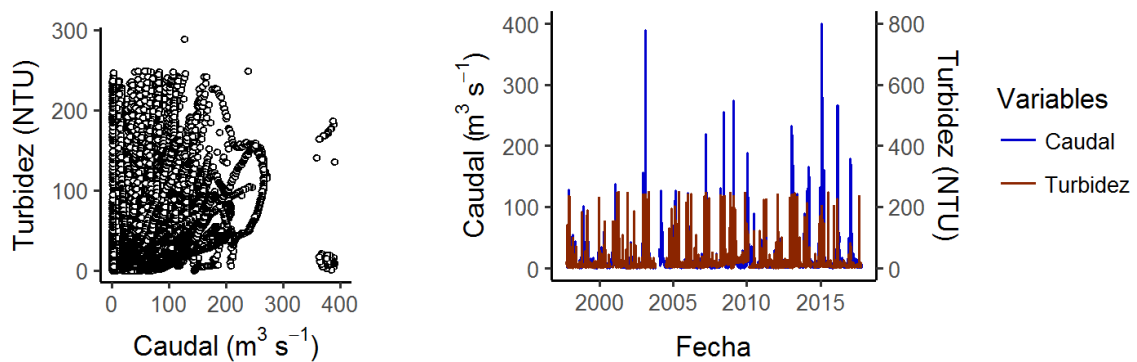


Figura 37. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Zadorra en Arce, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A074) y turbidograma (estación 911 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 912 – Iregua en Islallana

Diagnóstico de la serie: Calidad alta, con un 10% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en rangos de caudal altos y muy altos (i.e. $75-180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Modificar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 912 (Iregua en Islallana) dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta 2017. La duración de esta serie es de 21 años. El valor medio de turbidez de la serie es 10.10 NTU. El valor máximo de la serie es de 249 NTU (alcanzado en el año 2002-03), mientras que el mínimo es 2 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 10.30% de la serie sin datos (ND), la estación 912 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que no se puede observar un patrón claro. Cabría destacar los años 2002-03 con un porcentaje de vacíos cercano al 50%.

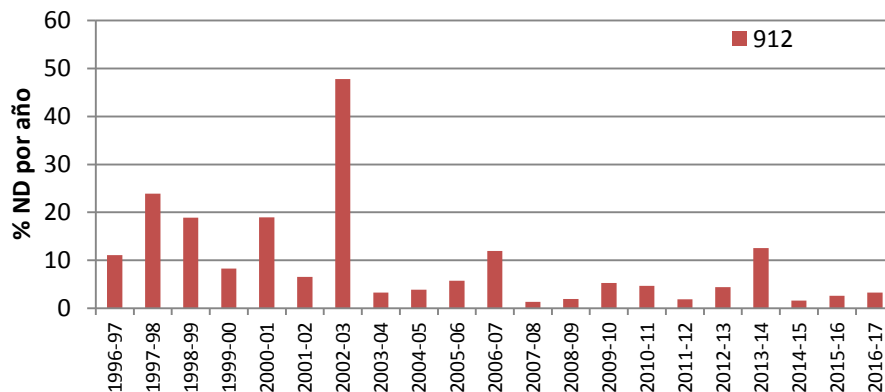


Figura 38. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 912 del río Iregua en Islallana.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A036 (Iregua en Islallana). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores ligeramente inferior al 2 %. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 20 años en común, permitiendo un solapamiento muy bueno.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica grandes diferencias entre ambas series (i.e. serie completa y serie en la que el sensor está activo). Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos solamente el 5% del tiempo, con valores en torno a los $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, para alcanzar unas diferencias muy marcadas en los caudales de mayor magnitud. Al comparar los percentiles de ambas series de caudal, encontramos que la diferencia entre las dos series se empieza a percibir en percentiles superiores al percentil 75. Como hemos visto las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras que en la serie completa el máximo es $173 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que también faltan lecturas se da principalmente altos. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 15. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal (A036) y turbidez (912) del río Iregua en Islallana.

	Series de Turbidez (912)				Series de Caudal (A036)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	11.07	241	1	5.95	-	-	-	-
1997-98	23.92	226	0	3.75	0.00	68	1	5.69
1998-99	18.92	244	0	3.46	1.89	20	1	3.23
1999-00	8.26	234	0	3.71	6.12	30	2	4.93
2000-01	18.98	243	0	20.60	13.23	63	2	5.66
2001-02	6.53	247	0	11.87	4.47	38	1	2.42
2002-03	47.77	249	4	38.68	4.11	173	1	8.68
2003-04	3.27	242	3	10.10	7.88	77	1	7.05
2004-05	3.88	175	1	8.11	0.22	24	1	4.42
2005-06	5.73	247	2	10.20	0.19	18	1	4.17
2006-07	11.97	230	2	7.99	0.00	39	1	5.14
2007-08	1.36	239	2	6.59	0.00	34	1	4.43
2008-09	1.92	126	1	7.65	0.00	25	2	6.09
2009-10	5.30	205	2	9.14	0.00	45	1	5.52
2010-11	4.67	222	1	8.39	0.00	56	1	4.71
2011-12	1.90	233	1	8.35	0.00	8	1	2.62
2012-13	4.42	245	0	13.37	0.00	52	1	7.49
2013-14	12.55	240	4	12.52	0.00	29	2	5.60
2014-15	1.62	242	4	13.32	0.01	70	1	7.61
2015-16	2.60	178	2	8.64	0.01	74	2	5.93
2016-17	3.24	248	3	7.89	0.08	51	1	2.79
Total	10.30	249	2	10.10	1.91	173	1	5.19

El valor máximo de la serie es 249 NTU, siendo registrado en el segundo año de la serie (2002-03). Atendiendo a la tabla 1, se podría confirmar que el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha sido siempre 250 NTU. Este valor coincide con la crecida más grande registrada en el periodo de estudio. Aunque la relación entre los caudales máximos y los picos de turbidez no es buena, ya que todos los años en los que los caudales máximos superan los 10 m³s⁻¹ alcanzan máximos de turbidez cercanos umbral de lectura. La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 izq, se diferencia claramente el umbral de lectura a 250 NTU. Se observa una gran variabilidad en cuanto a la turbidez, en la que se registran valores máximos de turbidez (inferiores a 250 NTU) en todos los rangos de caudales. Por otro lado, los caudales máximos en esta figura muestran valores de turbidez bajos (50 NTU), esto puede ser debido a que estos caudales coincidan con la recesión de la crecida, momento en el que el río sufre agotamiento de las fuentes de sedimento.

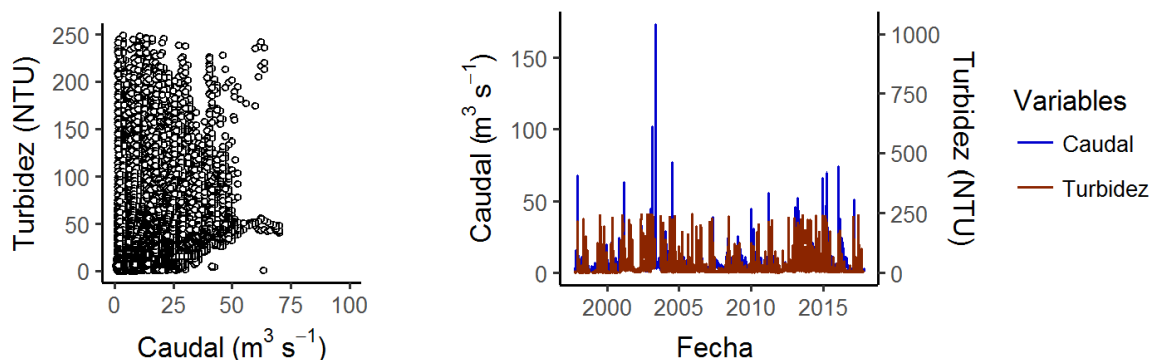


Figura 39. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Iregua en Islallana, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A036) y turbidigrama (estación 912 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 913 – Segre en Ponts

Diagnóstico de la serie: Calidad aceptable, con un 13% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal más altos (i.e. $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 913, Segre en Ponts, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1996 hasta 2012. La duración de esta serie es de 18 años. El valor medio de turbidez de la serie es 13.10 NTU. El valor máximo de la serie es de 500 NTU (alcanzado en el año 2002-03), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 13.14% de la serie sin datos (ND), la estación 913 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que no se puede observar un patrón claro. Cabría destacar los años 2002-03 con un porcentaje de vacíos cercano al 50%.

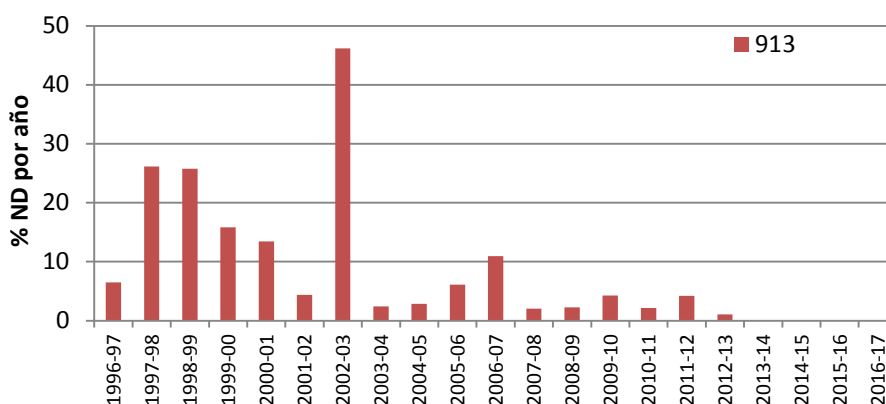


Figura 40. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 913 del río Segre en Ponts.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A083 (Segre Oliana). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 1 %. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 16 años en común, permitiendo un buen solapamiento.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series, excepto los más altos (i.e. serie completa y serie en la que el sensor está activo). Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos solamente el 2% del tiempo, con valores en torno a los $75 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $75 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Como hemos visto las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $729 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $636 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales altos. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 16. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal (A083) del río Segre en Oliana y turbidez (913) en Ponts.

	Series de Turbidez (913)				Series de Caudal (A083)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	6.47	500	0	28.04	-	-	-	-
1997-98	26.17	406	0	18.82	0.00	692	5	23.65
1998-99	25.78	494	0	25.04	1.58	259	5	20.59
1999-00	15.82	283	4	24.26	0.00	171	6	20.39
2000-01	13.43	248	3	14.79	0.90	78	7	28.06
2001-02	4.38	119	4	16.49	0.00	79	7	20.35
2002-03	46.17	89	4	15.35	0.00	121	8	30.96
2003-04	2.44	228	0	10.22	0.07	109	8	34.77
2004-05	2.87	292	1	14.48	6.62	69	8	15.49
2005-06	6.10	272	1	18.91	1.52	67	8	16.36
2006-07	10.92	140	1	11.95	0.00	69	8	15.04
2007-08	2.07	220	1	7.15	0.24	636	5	22.73
2008-09	2.28	136	1	8.67	0.00	147	6	22.97
2009-10	4.28	225	1	6.10	0.00	213	7	28.55
2010-11	2.17	222	1	5.60	0.00	65	4	15.67
2011-12	4.22	126	1	6.60	0.00	102	2	16.70
2012-13	1.05	35	2	5.91	0.00	192	4	33.23
2013-14	-	-	-	-	0.00	66	4	25.89
2014-15	-	-	-	-	0.01	245	3	22.26
2015-16	-	-	-	-	0.01	69	3	18.34
2016-17	-	-	-	-	0.03	729	4	23.59
Total	13.14	500	0	13.10	0.55	729	2	22.77

El valor máximo de la serie es 500 NTU, siendo registrado en el primer año de la serie (1996-97). Atendiendo a la tabla 1, se podría confirmar que el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha cambiado de los 500 NTU, establecidos los 3 primeros años, a los 250 NTU establecidos hasta el final de la serie (2012-13). No tenemos registros de caudal en el momento en el que se alcanza este pico de turbidez, pero como en muchas estaciones de calidad, hay mucha variabilidad en la relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. Caudales de un orden de magnitud superior alcanzan los mismos valores de turbidez (por ejemplo 2007-08 y 2010-11). La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 (izq), se diferencia una doble tendencia como en otros casos. Se registran valores de turbidez bajos (inferiores a 10 NTU) durante caudales altos, y se registra el pico máximo de turbidez durante caudales muy bajos. Este último caso se corresponde con crecidas aisladas y nos podría indicar una respuesta del río a la aportación desde fuentes de sedimento cercanas durante caudales de baja magnitud, o por la aportación de un afluente que aporta gran cantidad de sedimento y poco caudal. En este caso habría que incidir en que la distancia existente entre la estación de calidad de agua y la de hidrología, y sobretodo su localización (aguas-arriba y aguas debajo del embalse de Rialb) seguramente influirá en la relación entre las series de caudal y turbidez.

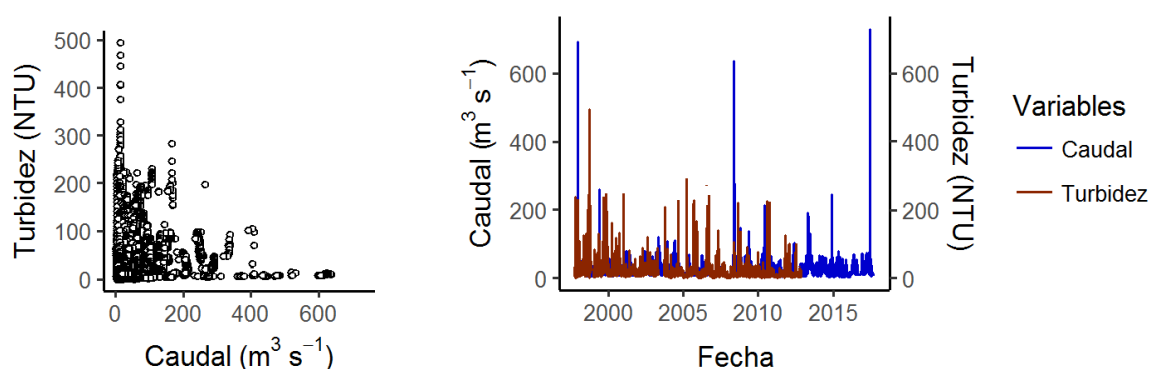


Figura 41. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Segre en Oliana y Ponts, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A083) y turbidograma (estación 913 de calidad de aguas).

Estación de Calidad 914 - Canal de Serós en Lleida

Diagnóstico de la serie: Calidad aceptable, con un 13.3 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de nivel, sobre todo en los más altos | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 914 - Canal de Serós en Lleida, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1997 hasta 2017. La duración de esta serie es de 20 años. El valor medio de turbidez de la serie es 20.88 NTU. El valor máximo de la serie es de 976 NTU (alcanzado en el año 1998-99), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 13.27 % de la serie sin datos (ND), la estación 914 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. Se puede diferenciar una tendencia decreciente de vacíos por año desde el principio de la serie hasta el presente, aunque existe mucha variabilidad. Se podría destacar únicamente el año 2002-2003, con un porcentaje de vacíos cercanos al 40 %.

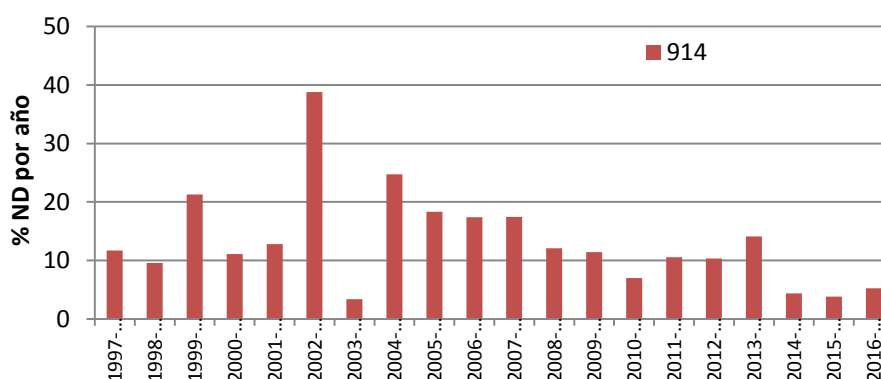


Figura 42. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 914 - Canal de Serós en Lleida

En este caso no se disponía de serie de caudal, así que se ha empleado la serie de nivel de agua de la estación 914 (Canal de Serós en Lleida). La calidad de esta serie no es muy buena, con un promedio de falta de valores superior al 16 %. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 20 años en común, permitiendo un muy buen solapamiento.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de niveles mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de niveles están representados en ambas series, excepto los valores extremos (i.e. serie completa y serie en la que el sensor está activo). Las curvas comienzan a divergir con niveles que son excedidos solamente el 1 % del tiempo, con valores en torno a los 316 cm. Los niveles superiores a estos 316 cm están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los niveles más altos. Mientras en la serie completa el máximo es 365 cm, en la otra serie, en la que el turbidímetro está en funcionamiento, el nivel máximo registrado es de 328 cm. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 17. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de nivel (914) y turbidez (914) del Canal de Serós en Lleida.

	Series de Turbidez (930)				Series de Nivel (A286)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Promedio (cm)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	11.71	834	1	30.98	7.65	254	0	160.51
1998-99	9.54	976	6	35.46	24.08	239	2	152.79
1999-00	21.30	755	0	20.79	3.79	253	0	163.56
2000-01	11.08	500	0	15.76	14.78	256	0	185.19
2001-02	12.78	433	2	18.58	0.43	211	31	124.15
2002-03	38.82	450	2	21.41	54.16	243	95	219.27
2003-04	3.36	450	3	21.55	62.31	237	25	194.89
2004-05	24.73	500	1	28.89	3.51	236	26	111.11
2005-06	18.32	500	2	22.76	7.58	236	28	112.98
2006-07	17.38	246	0	20.26	1.71	252	28	125.69
2007-08	17.43	249	1	16.44	4.30	348	12	126.61
2008-09	12.05	247	0	18.40	12.09	247	8	188.86
2009-10	11.43	247	3	19.36	0.69	247	6	177.35
2010-11	7.00	251	2	17.22	11.59	293	4	125.94
2011-12	10.53	242	4	18.65	0.77	219	9	108.51
2012-13	10.31	234	4	23.09	11.56	282	5	165.95
2013-14	14.10	248	0	21.83	23.86	365	7	183.76
2014-15	4.38	500	3	20.67	14.13	297	0	147.95
2015-16	3.84	487	2	14.18	0.12	239	0	151.36
2016-17	5.26	484	0	13.52	69.52	179	0	54.81
Total	13.27	976	0	20.88	16.49	365	0	148.14

El valor máximo de la serie es 976 NTU, siendo registrado en el año 1998-99. En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha variado entre los 250, los 500 y los 1000 NTU. En la tabla 1 no se puede diferenciar claramente cuando han cambiado estos umbrales, sin embargo, la figura 2 (dcha) nos muestra con mayor claridad este umbral. En esta figura se observa que hasta el año 2000 la turbidez alcanza los 1000 NTU, para luego alternar periodos entre los 500 y los 250 NTU. La figura 2 izq nos muestra una gran variabilidad en la relación Nivel-Turbidez.

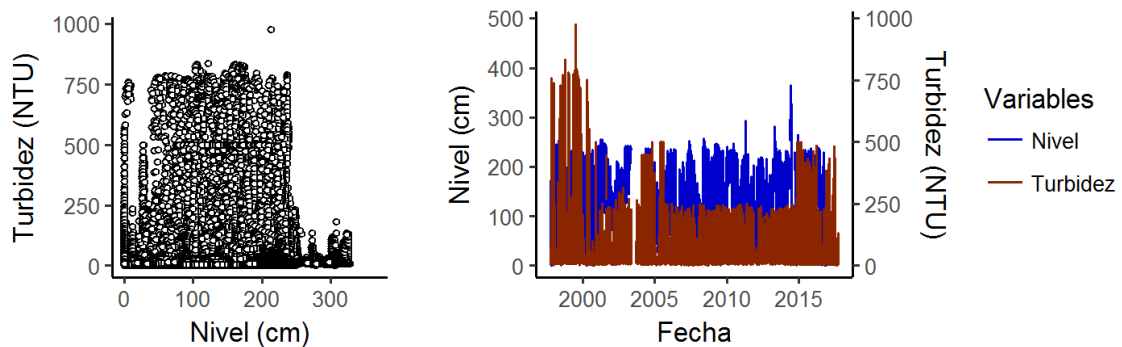


Figura 43. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en Canal de Serós en Lleida y (Derecha) Hidrograma y turbidigrama (estación 914 de calidad de aguas).

Estación de Calidad 916 - Cinca en Monzón

Diagnóstico de la serie: Buena calidad, con un 8% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en los rangos de caudal más altos (i.e. $800-1400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 916, Cinca en Monzón, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1997 hasta 2017. La duración de esta serie es de 20 años. El valor medio de turbidez de la serie es 22.62 NTU. El valor máximo de la serie es de 500 NTU (alcanzado en el año 1997-98), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 7.83 % de la serie sin datos (ND), la estación 916 aparecería entre los valores superiores del primer grupo de estaciones (i.e. ND entre un 0 y un 10 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. Se puede diferenciar una tendencia decreciente de vacíos por año desde el principio de la serie hasta el presente. Se podría destacar únicamente los años 1998-99 y 2000-01, con un porcentaje de vacíos que supera ligeramente el 20 %.

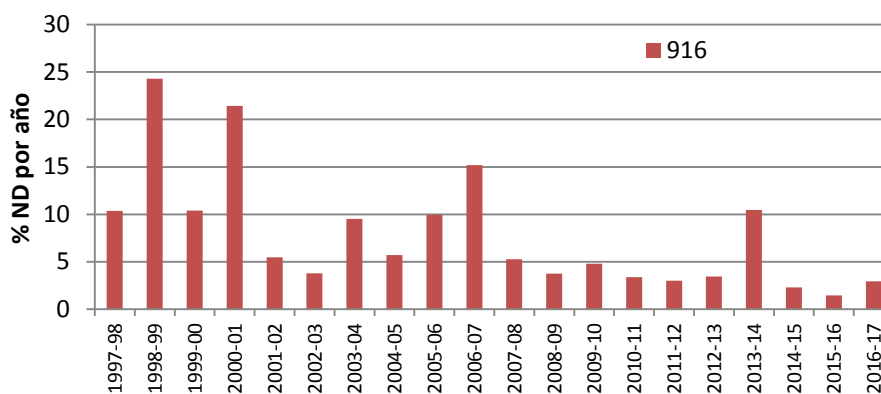


Figura 44. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 916, Cinca en Monzón

En este caso no se disponía de serie de caudal, así que se ha empleado la serie de nivel de agua de la estación A293 (Cinca en las Pilas). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 8.14 %. La duración de esta serie es de 12 años, desde 2005 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 12 años en común, permitiendo un buen solapamiento.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de niveles mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de niveles están representados en ambas series, excepto los valores más altos (i.e. serie completa y serie en la que el turbidímetro está activo). Las curvas comienzan a divergir con niveles que son excedidos solamente el 2 % del tiempo, con valores en torno a los 2 m. Todos los niveles superiores a estos 2 m están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los niveles altos, mientras en la serie completa el máximo es 4.29 m, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de 3.81 m. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación está relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante niveles más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 18. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal (A293) y turbidez (916) del río Cinca en las Pilas y en Monzón, respectivamente.

	Series de Turbidez (916)				Series de Nivel (A293)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	10.36	500	0	15.23	-	-	-	-
1998-99	24.32	361	0	27.81	-	-	-	-
1999-00	10.41	276	2	15.77	-	-	-	-
2000-01	21.45	247	2	14.10	-	-	-	-
2001-02	5.47	239	3	16.81	-	-	-	-
2002-03	3.76	257	2	15.98	-	-	-	-
2003-04	9.51	249	2	16.91	-	-	-	-
2004-05	5.70	260	1	32.86	-	-	-	-
2005-06	9.94	350	7	38.96	6.62	0.95	0.00	0.23
2006-07	15.19	238	6	32.98	15.16	1.95	0.20	0.42
2007-08	5.25	241	9	31.94	8.82	4.29	0.04	0.87
2008-09	3.75	246	5	23.02	11.94	3.81	0.26	1.18
2009-10	4.79	244	7	26.01	18.80	3.63	0.91	1.24
2010-11	3.36	494	3	26.57	0.49	1.88	0.90	1.01
2011-12	3.00	480	5	28.42	0.00	1.55	0.88	0.96
2012-13	3.44	475	6	22.49	0.00	3.83	0.90	1.48
2013-14	10.45	247	5	15.58	31.52	1.89	0.78	1.07
2014-15	2.30	423	1	17.34	2.23	1.66	0.93	1.14
2015-16	1.43	430	2	22.11	0.27	1.93	0.92	1.22
2016-17	2.92	240	0	11.82	1.19	1.94	0.97	1.13
Total	7.83	500	0	22.62	8.14	4.29	0.00	1.02

El valor máximo de la serie es 500 NTU, siendo registrado en el primer año de la serie (1997-98). En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha variado entre los 250 y los 500 NTU. En la tabla 1 no se puede diferenciar claramente cuando estos umbrales han cambiado ya que no hay ninguna relación entre los niveles máximos y los valores máximos de turbidez. La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son más elevados a partir de 2010. La interpretación de la figura 2 izq nos muestra una gran variabilidad en la relación Nivel-Turbidez. Aunque hay mucha variabilidad, se puede que con niveles superiores a 3 m la turbidez siempre supera los 100 NTU.



Figura 45. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en el río Cinca en las Pilas y en Monzón, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A293) y turbidograma (estación 916 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 918 - Aragon en Gallipenzo

Diagnóstico de la serie: Buena calidad, con un 10% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, sobre todo durante caudales elevados (i.e. $800-1400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 918, Aragon en Gallipenzo, dispone de registros de turbidez desde octubre de 2002 hasta 2012. La duración de esta serie es de 12 años. El valor medio de turbidez de la serie es 22.30 NTU. El valor máximo de la serie es de 369 NTU (alcanzado en el año 2002-03), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 10.04% de la serie sin datos (ND), la estación 918 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20% del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que el porcentaje de huecos descende, hasta que se acaba la serie en el año 2012-13. Cabría destacar los años 2002-03 con un porcentaje de vacíos cercano al 40%.

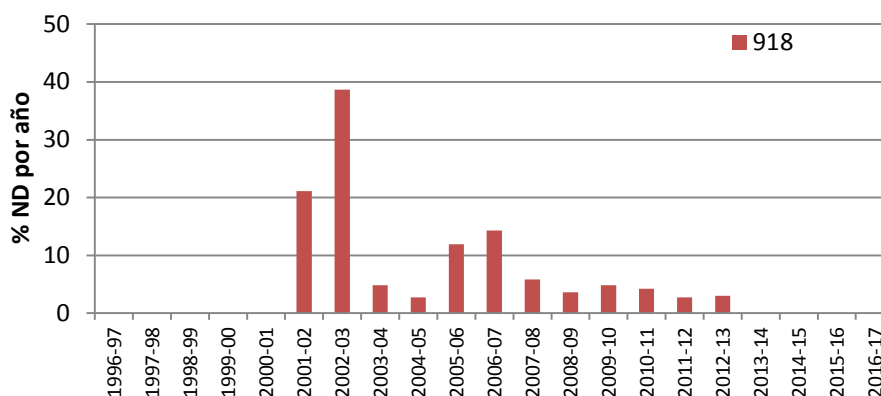


Figura 46. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 918, Aragon en Gallipenzo.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A005 (Aragón en Caparros). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 4%. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 12 años en común, permitiendo un solapamiento aceptable.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series, excepto los caudales más elevados (i.e. serie completa y serie en la que el turbidímetro está activo). Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos solamente el 15% del tiempo, con valores en torno a los $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos 17 o $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $1392 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $840 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 19. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal (A005) del río Aragón en Caparroso y turbidez (918) en Gallipienzo.

	Series de Turbidez (918)				Series de Caudal (A005)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	-	-	-	-	0.03	729	0	45.42
1998-99	-	-	-	-	31.41	297	0	35.81
1999-00	-	-	-	-	0.06	507	0	16.12
2000-01	-	-	-	-	4.80	1123	0	34.07
2001-02	21.09	240	1	19.52	0.00	126	3	8.34
2002-03	38.69	249	2	19.51	0.19	1083	3	37.41
2003-04	4.86	247	3	22.48	3.56	547	4	30.16
2004-05	2.70	247	3	17.67	0.00	140	3	8.39
2005-06	11.93	337	3	24.18	1.30	492	3	11.07
2006-07	14.32	242	6	31.12	0.25	1393	3	28.03
2007-08	5.82	246	2	23.82	9.30	606	3	25.09
2008-09	3.63	243	4	21.64	31.34	646	3	33.54
2009-10	4.86	311	5	22.62	0.00	624	3	20.84
2010-11	4.23	242	4	21.06	0.00	278	3	14.87
2011-12	2.74	369	4	21.35	0.00	183	3	11.22
2012-13	3.01	75	11	21.94	0.35	804	2	71.82
2013-14	-	-	-	-	0.00	475	3	33.92
2014-15	-	-	-	-	0.05	738	4	32.38
2015-16	-	-	-	-	0.00	355	3	21.28
2016-17	-	-	-	-	0.00	374	0	11.83
Total	10.04	369	0	22.30	4.12	1393	0	26.23

El valor máximo de la serie es 369 NTU, siendo registrado en el año 2011-12. Atendiendo a la tabla 1, se podría confirmar que el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha podido variar entre los 500 y los 250 NTU. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, hay mucha variabilidad en la relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. Caudales de un orden de magnitud superior alcanzan los mismos valores de turbidez (por ejemplo 2001-02 y 2006-07). La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 izq, se confirma que el umbral de 250 NTU ha sido superado puntualmente (3 puntos). Como en otros casos hay una gran variabilidad y se puede observar una doble tendencia. Se registran valores de turbidez bajos (inferiores a 30 NTU) durante caudales altos, y se registra el pico máximo de turbidez durante caudales muy bajos. Este último caso se corresponde con crecidas aisladas y nos podría indicar una respuesta del río a la aportación desde fuentes de sedimento cercanas durante caudales de baja magnitud, o por la aportación de un afluente que aporta gran cantidad de sedimento y poco caudal. El caso contrario se podría explicar por el agotamiento de la fuente de sedimento. En este caso habría que incidir en que la distancia existente entre la estación de calidad de agua y la de hidrología seguramente influirá la relación entre las series de caudal y turbidez.

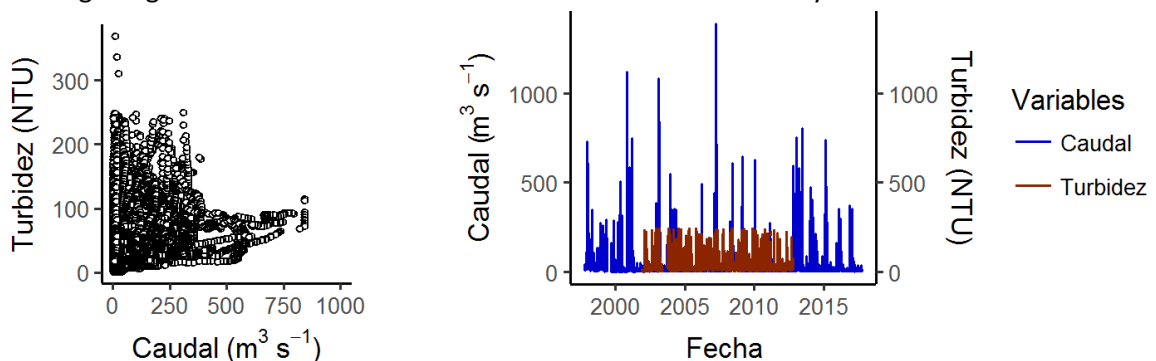


Figura 47. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Aragón en Caparroso y Gallipienzo, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A005) y turbidigrama (estación 918 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 919 - Gállego en Villanueva

Diagnóstico de la serie: Calidad aceptable, con un 18% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, sobre todo durante caudales más elevados (i.e. $350-650 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 919, Gállego en Villanueva, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1997 hasta 2015. La duración de esta serie es de 19 años. El valor medio de turbidez de la serie es 26.40 NTU. El valor máximo de la serie es de 486 NTU (alcanzado en el año 2002-03), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 18.32 % de la serie sin datos (ND), la estación 919 aparecería entre los valores superiores del segundo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que el porcentaje de huecos es generalmente bajo, hasta que en los últimos tres años de la serie (2012-15) asciende de manera abrupta, tanto que en el año 2013-14 no se registran datos. Cabría destacar también el periodo 2002-03 con un porcentaje de vacíos cercano al 30%.

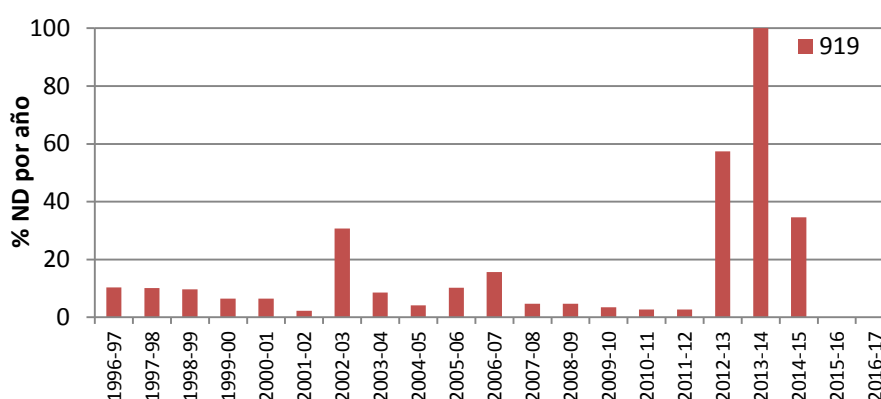


Figura 48. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 919, Gállego en Villanueva.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A089 (Gállego en Zaragoza). La calidad de esta serie no es buena, con un promedio de falta de valores superior al 34 %. La duración de esta serie es de 14 años, desde 1997 hasta 2017, pero con un hueco de 6 años entre 2007 y 2013. Ambas series comparten un total de 11 años en común, permitiendo un solapamiento más bajo que en otros casos.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez). Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos solamente el 10% del tiempo, con valores en torno a los $28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos 28 o $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $626 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $343 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas

principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 20. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A089) del río Gállego en Zaragoza y turbidez (919) en Villanueva.

	Series de Turbidez (919)				Series de Caudal (A089)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo ($m^3 s^{-1}$)	Mínimo ($m^3 s^{-1}$)	Promedio ($m^3 s^{-1}$)
1996-97	10.29	491	0	30.56	-	-	-	-
1997-98	10.06	303	4	19.85	0.25	46	1	6.99
1998-99	9.70	404	1	28.20	0.00	21	1	3.10
1999-00	6.44	244	4	28.43	0.00	443	2	10.13
2000-01	6.48	486	3	26.89	0.00	443	2	24.23
2001-02	2.21	232	1	15.75	0.00	16	2	3.76
2002-03	30.66	249	2	18.35	0.00	516	0	24.53
2003-04	8.51	249	5	26.51	0.00	626	1	25.58
2004-05	4.12	246	1	19.98	0.00	13	1	2.10
2005-06	10.21	243	2	22.03	0.00	65	1	2.87
2006-07	15.59	247	4	43.42	4.52	376	1	16.60
2007-08	4.66	244	1	19.89	-	-	-	-
2008-09	4.73	248	1	25.58	-	-	-	-
2009-10	3.49	244	3	25.40	-	-	-	-
2010-11	2.74	233	3	37.78	-	-	-	-
2011-12	2.65	135	2	29.59	-	-	-	-
2012-13	57.44	285	6	48.93	-	-	-	-
2013-14	-	-	-	-	80.72	62	1	6.72
2014-15	34.63	244	1	21.57	0.02	413	1	18.93
2015-16	-	-	-	-	1.04	237	1	11.52
2016-17	-	-	-	-	0.01	354	1	7.51
Total	18.32	491	0	26.40	34.79	626	0	12.14

El valor máximo de la serie es 491 NTU, siendo registrado en el año 1996-97. Atendiendo a la tabla 1, se podría confirmar que el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha podido variar entre los 500 y los 250 NTU, siendo 500 NTU el umbral máximo durante los cinco primeros años de la serie, y 250 NTU el resto de la serie. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, hay mucha variabilidad en la relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. Caudales de un orden de magnitud superior registran valores inferiores de turbidez (por ejemplo 1998-99, 1999-2000). La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 izq, se confirma que el umbral de 250 NTU ha sido superado puntualmente (20 puntos). Estos valores de máxima turbidez se han alcanzado con caudales muy bajos ($<20 m^3 s^{-1}$). Como en otros casos hay una gran variabilidad en la relación caudal-turbidez, pero en este caso no se observa una doble tendencia, a medida que los caudales aumentan también lo hace la turbidez. En este caso habría que incidir en que la distancia existente entre la estación de calidad de agua y la de hidrología seguramente influirá la relación entre las series de caudal y turbidez.

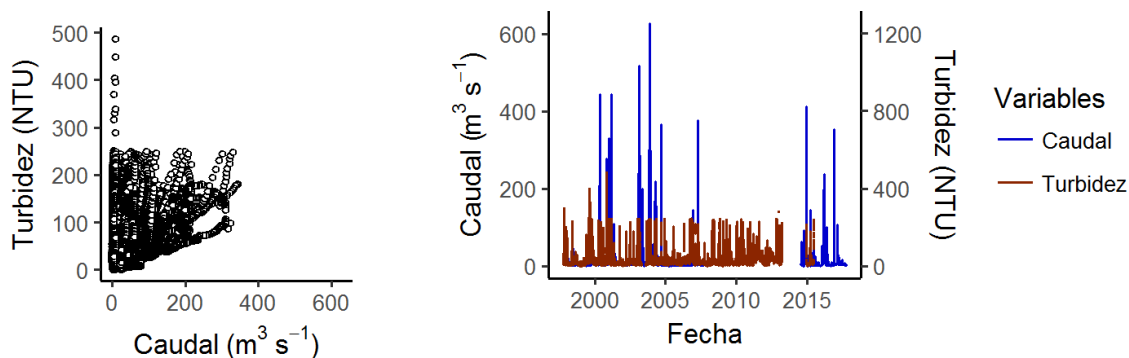


Figura 49. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Gállego en Zaragoza y Villanueva, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A089) y turbidograma (estación 919 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 920 - Arakil en Errotz

Diagnóstico de la serie: Calidad buena, con un 7.2 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal, principalmente durante caudales más elevados (i.e. $380-520 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 920, Arakil en Errotz, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1999 hasta 2013. La duración de esta serie es de 14 años. El valor medio de turbidez de la serie es 19.22 NTU. El valor máximo de la serie es de 378 NTU (alcanzado en el año 2000-01), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 7.19 % de la serie sin datos (ND), la estación 920 aparecería entre los valores superiores del primer grupo de estaciones (i.e. ND entre un 0 y un 10 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que el porcentaje de huecos es generalmente bajo, destacando únicamente el periodo 2002-03 con un porcentaje de vacíos cercano al 35%.

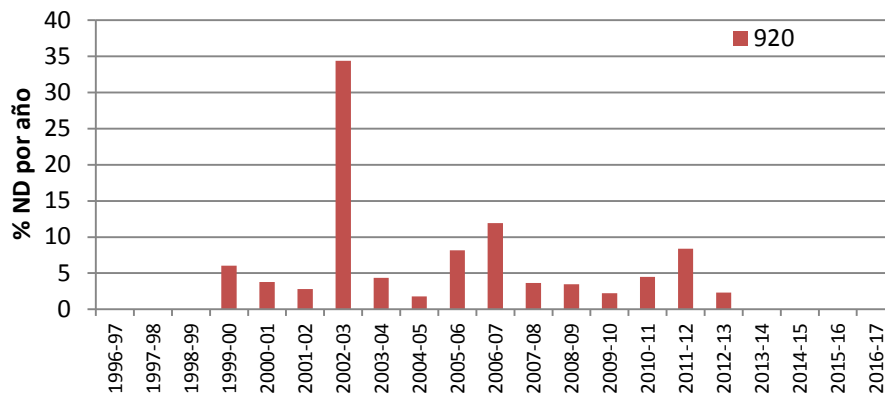


Figura 50. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 920, Arakil en Errotz.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A068 (Arakil en Asiáin). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 3 %. La duración de esta serie es de 9 años, desde 2008 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 5 años en común, permitiendo un solapamiento bastante escaso.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez). Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos solamente el 30% del tiempo, con valores en torno a los $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $511 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $379 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 21. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal (A068) del río Arakil en Asián y turbidez (920) en Errotz.

	Series de Turbidez (920)				Series de Caudal (A068)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	-	-	-	-	-	-	-	-
1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-
1999-00	6.03	335	1	19.42	-	-	-	-
2000-01	3.76	378	2	18.05	-	-	-	-
2001-02	2.79	228	2	12.73	-	-	-	-
2002-03	34.39	245	1	16.23	-	-	-	-
2003-04	4.35	247	0	18.58	-	-	-	-
2004-05	1.80	254	3	18.68	-	-	-	-
2005-06	8.16	242	0	20.86	-	-	-	-
2006-07	11.92	242	2	21.43	-	-	-	-
2007-08	3.63	247	2	24.99	-	-	-	-
2008-09	3.47	257	4	26.59	0.39	37	2	3.35
2009-10	2.23	245	2	15.88	0.00	387	1	21.23
2010-11	4.48	245	2	13.59	0.00	327	2	16.13
2011-12	8.38	243	3	17.58	0.00	427	2	19.03
2012-13	2.30	244	3	28.92	0.00	448	2	36.48
2013-14	-	-	-	-	0.00	432	1	25.67
2014-15	-	-	-	-	0.34	512	2	28.30
2015-16	-	-	-	-	0.09	352	1	17.68
2016-17	-	-	-	-	18.48	441	2	16.02
Total	7.19	378	0	19.22	2.92	512	1	21.95

El valor máximo de la serie es 378 NTU, siendo registrado en el año 2000-01. Atendiendo a la tabla 1, se podría confirmar que el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha podido variar entre los 500 y los 250 NTU, pero es difícil confirmarlo. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, hay mucha variabilidad en la relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. Caudales de un orden de magnitud superior registran valores inferiores de turbidez (por ejemplo 2008-09, 2009-2010). La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 izq, el umbral de lectura del aparato no se distingue tan nítidamente como en otros casos. Se observa mucha variabilidad en la relación Caudal Turbidez, y no se puede diferenciar ninguna tendencia. En este caso habría que incidir en que la distancia existente entre la estación de calidad de agua y la de hidrología seguramente influirá la relación entre las series de caudal y turbidez.

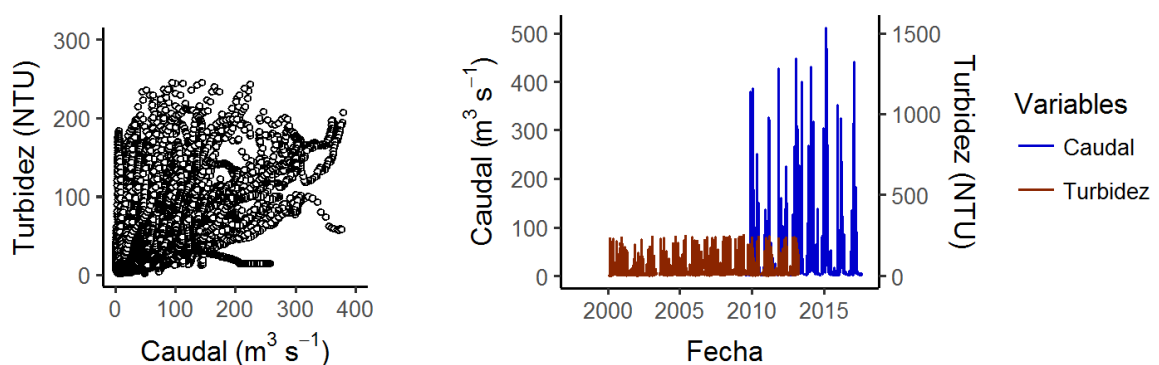


Figura 51. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Arakil en Asián y Errotz, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A068) y turbidograma (estación 920 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 921 - Ega en Andosilla

Diagnóstico de la serie: Calidad media, con un 12.2 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en rangos de caudal medios y altos (i.e. $100-300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 921, Ega en Andosilla, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1999 hasta 2013. La duración de esta serie es de 14 años. El valor medio de turbidez de la serie es 48.26 NTU. El valor máximo de la serie es de 499 NTU (alcanzado en el año 2008-09), mientras que el mínimo es 1 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 12.20 % de la serie sin datos (ND), la estación 921 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie, en la que el porcentaje de huecos es generalmente bajo, destacando únicamente el periodo 2002-03 con un porcentaje de vacíos cercano al 40%.

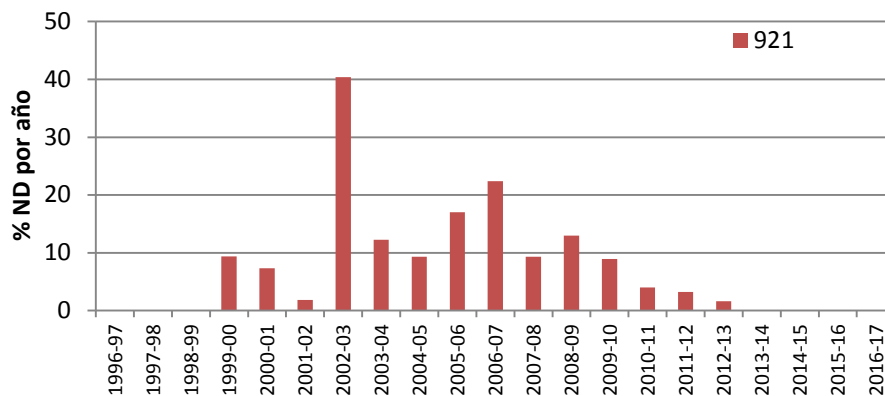


Figura 52. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 921 - Ega en Andosilla.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A003 (Ega en Andosilla). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 4 %. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 14 años en común, permitiendo un solapamiento bastante bueno.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica los caudales medios y altos están escasamente representados en serie en la que el turbidímetro está activo. Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 40% del tiempo, con valores en torno a los $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $305 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $104 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 22. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A003) y turbidez (921) del río Ega en Andosilla.

	Series de Turbidez (921)				Series de Caudal (A003)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	-	-	-	-	1.40	120	0	8.35
1998-99	-	-	-	-	5.50	64	1	6.71
1999-00	9.37	328	3	42.64	0.90	71	1	6.47
2000-01	7.31	248	2	43.27	9.81	110	1	10.95
2001-02	1.84	248	1	33.07	0.17	40	1	4.81
2002-03	40.39	249	7	51.87	0.00	304	1	15.62
2003-04	12.24	249	8	58.69	25.22	81	1	10.77
2004-05	9.29	259	9	51.46	0.00	79	1	11.55
2005-06	17.04	247	5	59.95	0.58	180	1	10.49
2006-07	22.38	245	9	62.37	0.00	278	1	11.76
2007-08	9.32	246	9	52.08	0.00	184	1	10.64
2008-09	12.95	499	6	50.96	33.64	128	1	8.20
2009-10	8.92	243	6	51.61	0.00	189	1	11.28
2010-11	4.00	246	5	41.71	0.00	94	0	6.22
2011-12	3.22	234	5	34.43	0.00	52	0	6.59
2012-13	1.64	53	24	31.68	0.00	224	0	25.26
2013-14	-	-	-	-	0.00	165	1	13.29
2014-15	-	-	-	-	0.02	305	1	19.78
2015-16	-	-	-	-	0.00	184	1	14.50
2016-17	-	-	-	-	0.00	176	0	7.18
Total	12.20	499	1	48.26	3.85	305	0	11.06

El valor máximo de la serie es 499 NTU, siendo registrado en el año 2008-09. Atendiendo a la tabla 1, se podría confirmar que el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha podido variar entre los 500 y los 250 NTU. En la tabla 1 se ve como el umbral de los 250 NTU ha sido superado en 3 periodos diferentes, sin embargo, en la figura 2, solamente aparecen 2 puntos más allá de los 250 NTU. Posiblemente en el momento en el que estos ocurrieron no había registros de caudal. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, hay mucha variabilidad en la relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. Caudales mucho más elevados registran valores inferiores de turbidez (por ejemplo 2011-12, 2012-2013). La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 izq, el umbral de lectura del aparato se distingue nítidamente. Se observa mucha variabilidad en la relación Caudal-Turbidez, y no se puede diferenciar ninguna tendencia. En este caso, a medida que aumenta el caudal, la turbidez también aumenta, en mayor o menor medida.

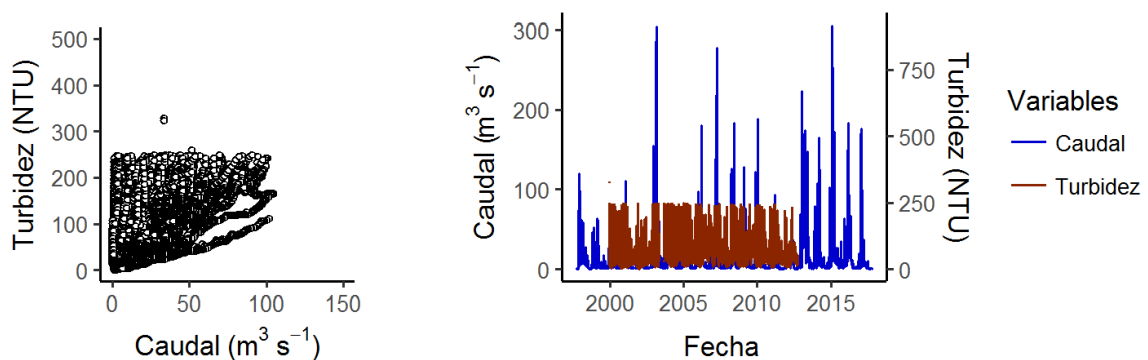


Figura 53. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ega en Andosilla, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A003) y turbidograma (estación 921 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 922 - Oca en Oña

Diagnóstico de la serie: Calidad media, con un 15% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en los rangos de caudal más elevados ($45-110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 922, Oca en Oña, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1999 hasta 2013. La duración de esta serie es de 14 años. El valor medio de turbidez de la serie es 25.20 NTU. El valor máximo de la serie es de 495 NTU (alcanzado en el año 2008-09), mientras que el mínimo es 1 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 14.81 % de la serie sin datos (ND), la estación 922 aparecería entre los valores intermedios del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. El porcentaje de huecos en esta serie es intermedio, pero en el que destacan tres periodos: dos que se acercan al 40 % de vacíos (2002-03 y 2007-08), y por encima de todos destaca el último año de la serie (2012-13) superando el 80 % de vacíos.

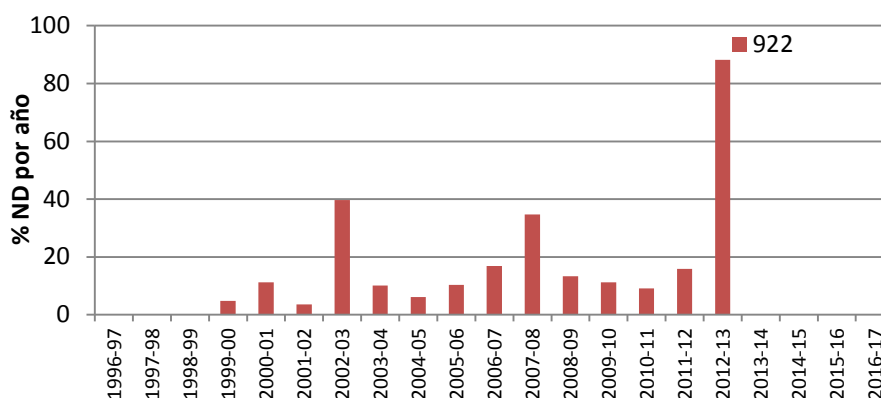


Figura 54. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 922 - Oca en Oña.

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A093 (Oca en Oña). La calidad de esta serie es muy buena, con un promedio de falta de valores inferior al 1 %. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 14 años en común, permitiendo un solapamiento bastante bueno.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que los caudales más elevados están escasamente representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 10% del tiempo, con valores en torno a los $7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $105 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 23. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A093) y turbidez (922) del río Oca en Oña.

	Series de Turbidez (922)				Series de Caudal (A093)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	-	-	-	-	5.31	92	1	4.96
1998-99	-	-	-	-	3.33	5	1	1.48
1999-00	4.78	364	0	13.62	0.42	10	1	2.35
2000-01	11.19	248	0	18.19	4.39	83	1	4.95
2001-02	3.53	247	1	13.14	0.00	5	1	1.36
2002-03	39.71	247	2	22.56	0.00	68	1	5.18
2003-04	10.08	248	2	20.85	0.00	37	1	3.70
2004-05	6.12	247	2	14.02	0.00	11	1	2.81
2005-06	10.38	248	1	18.75	0.00	21	1	3.11
2006-07	16.89	239	3	29.97	0.05	56	1	4.07
2007-08	34.71	241	2	35.25	0.07	106	1	4.47
2008-09	13.34	495	9	33.89	0.00	31	1	3.67
2009-10	11.18	468	4	39.88	0.00	45	1	4.43
2010-11	9.07	244	4	48.43	0.00	38	0	2.85
2011-12	15.88	233	7	21.90	0.00	7	1	1.24
2012-13	88.15	46	24	29.94	0.00	57	1	4.38
2013-14	-	-	-	-	0.00	37	1	3.32
2014-15	-	-	-	-	0.01	45	1	4.15
2015-16	-	-	-	-	0.00	57	0	3.69
2016-17	-	-	-	-	0.00	3	0	1.04
Total	14.81	495	0	25.20	0.68	106	0	3.35

El valor máximo de la serie es 495 NTU, siendo registrado en el año 2008-09. Como en otras estaciones se podría afirmar que el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha podido variar entre los 500 y los 250 NTU. En la tabla 1 se ve como el umbral de los 250 NTU ha sido superado en 3 periodos diferentes, sin embargo, la figura 2 muestra que solo representan algunas horas más allá de los 250 NTU. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, hay mucha variabilidad en la relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. El año en el que el caudal máximo es menor (2011-12) produce un pico de turbidez semejante al año en que se produce el caudal máximo de toda la serie (2007-08). La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 izq, el umbral de lectura del aparato se distingue nítidamente. Se observa mucha variabilidad en la relación Caudal-Turbidez, y no se puede diferenciar ninguna tendencia. En este caso, a medida que aumenta el caudal, la turbidez también aumenta, en mayor o menor medida.

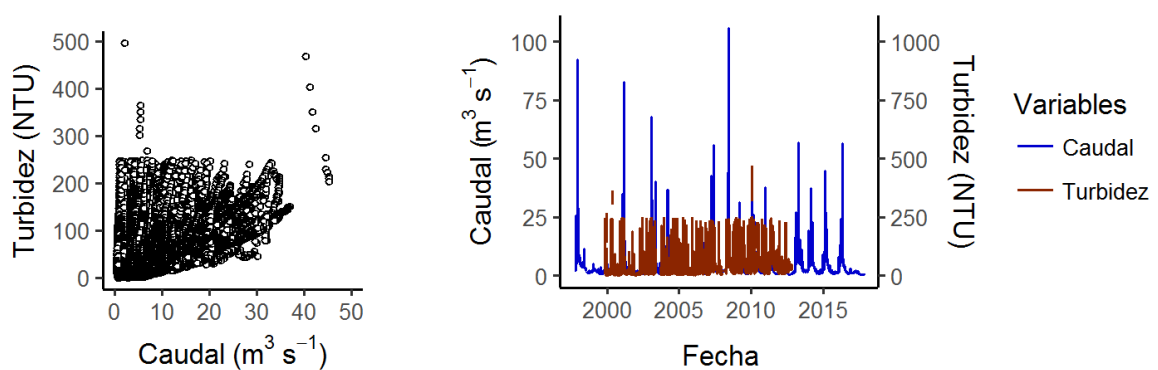


Figura 55. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Oca en Oña, respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A093) y turbidograma (estación 922 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 924 - Tirón en Ochánduri

Diagnóstico de la serie: Buena calidad, con menos de un 10 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en los rangos de caudal más elevados altos (i.e. $125-225 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 924, Tirón en Ochánduri, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1997 hasta 2013. La duración de esta serie es de 16 años. El valor medio de turbidez de la serie es 15.97 NTU. El valor máximo de la serie es de 253 NTU (alcanzado en el año 2003-04), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 9.69 % de la serie sin datos (ND), la estación 924 aparecería entre los valores superiores del primer grupo de estaciones (i.e. ND entre un 0 y un 10 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. El porcentaje anual de huecos en esta serie esta generalmente por debajo del 10%. Por encima de todos destacan dos periodos, el 2002-03 con un porcentaje cercano al 40% y el 2006-07, que no llega al 20%.

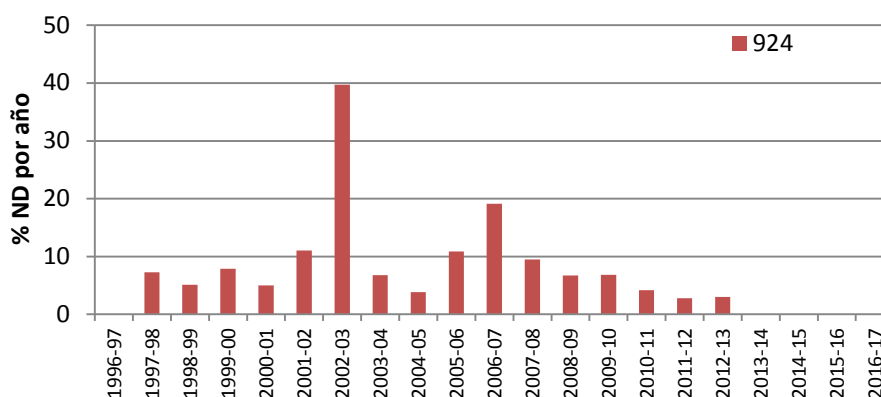


Figura 56. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 924 - Tirón en Ochánduri

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A050 (Tirón Ochánduri). La calidad de esta serie es normal, con un promedio de falta de valores inferior al 13.25 %. La duración de esta serie es de 19 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 16 años en común, permitiendo un solapamiento bastante bueno.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que los caudales más elevados están escasamente representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 20% del tiempo, con valores en torno a los $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $216 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $118 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación probablemente esté relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 24. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A050) y turbidez (924) del río Tirón en Ochánduri.

	Series de Turbidez (924)				Series de Caudal (A050)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	7.27	80	0	5.03	0.00	143	0	4.61
1998-99	5.11	218	0	3.77	1.97	7	0	1.99
1999-00	7.85	226	0	5.96	35.69	12	0	1.94
2000-01	5.01	247	2	10.38	4.41	120	0	4.70
2001-02	11.01	236	6	16.65	4.12	27	0	1.71
2002-03	39.75	246	6	32.07	1.99	216	0	4.96
2003-04	6.80	253	4	23.01	5.29	17	0	3.74
2004-05	3.81	161	4	8.46	0.21	12	0	2.47
2005-06	10.88	224	4	13.01	0.06	105	0	3.96
2006-07	19.11	195	6	19.27	0.00	56	0	7.14
2007-08	9.46	230	5	17.19	3.31	115	1	6.14
2008-09	6.71	195	8	20.27	1.46	30	0	4.01
2009-10	6.80	214	1	14.11	4.85	49	1	5.11
2010-11	4.17	172	4	16.98	0.00	22	0	3.74
2011-12	2.80	198	11	21.39	0.00	14	0	2.49
2012-13	3.02	235	13	31.32	0.00	54	1	7.28
2013-14	-	-	-	-	0.00	48	1	4.76
2014-15	-	-	-	-	0.04	48	0	6.46
2015-16	-	-	-	-	96.60	1	0	0.41
2016-17	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	9.69	253	0	15.97	13.25	216	0	4.33

El valor máximo de la serie es 253 NTU, siendo registrado en el año 2003-04. En esta estación el umbral de lectura aplicado a esta sonda no ha variado de 250 NTU. En la tabla 1 se ve como el umbral de los 250 NTU no ha sido superado en ningún momento. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, hay mucha variabilidad en la relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. El año en el que el caudal máximo es menor (1998-99) produce un pico de turbidez semejante al año en que se produce el caudal máximo de toda la serie (2002-03). La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 izq, el umbral de lectura del aparato se distingue nítidamente, pero la baja densidad de puntos cercanos a este umbral puede indicar que la carga transportada por el río no supere este límite de 250 NTU de manera frecuente. Se observa algo variabilidad en la relación Caudal-Turbidez, y no se puede diferenciar ninguna tendencia muy clara, pero con caudales altos no encontramos valores de turbidez bajos. En este caso, a medida que aumenta el caudal, la turbidez también aumenta, en mayor o menor medida.

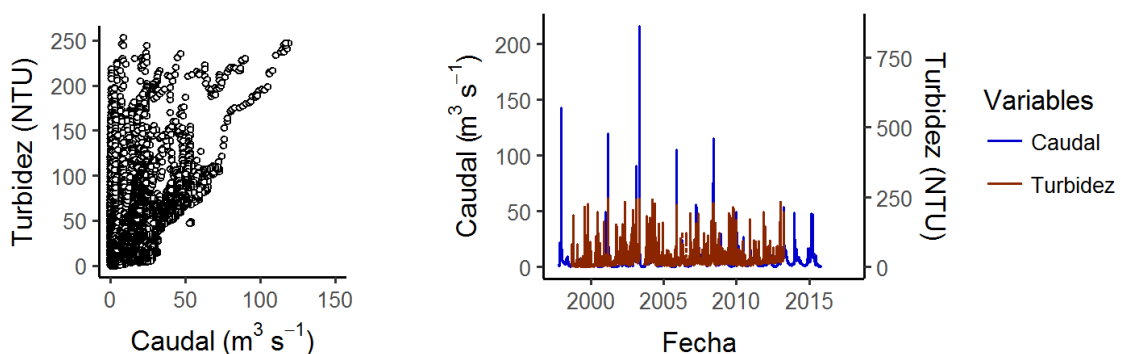


Figura 57. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Tirón en Ochánduri y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A050) y turbidigrama (estación 924 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 926 - Alcanadre en Ballobar

Diagnóstico de la serie: Calidad baja, con un 22.5 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en los rangos de caudal más elevados (i.e. 250-700 m³ s⁻¹) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 926, Alcanadre en Ballobar, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1997 hasta 2013. La duración de esta serie es de 20 años. El valor medio de turbidez de la serie es 82.82 NTU. El valor máximo de la serie es de 497 NTU (alcanzado en el año 2003-04), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 22.50 % de la serie sin datos (ND), la estación 926 aparecería entre los valores inferiores del tercer grupo de estaciones (i.e. ND entre un 20 y un 30 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. El porcentaje anual de huecos en esta serie es elevado, normalmente por encima del 20 %. Por encima de todos destacan dos periodos que superan el 40% (1997-98 y 2005-06), y otros tres que superan el 30% (2000-01, 2002-03 y 2013-14).

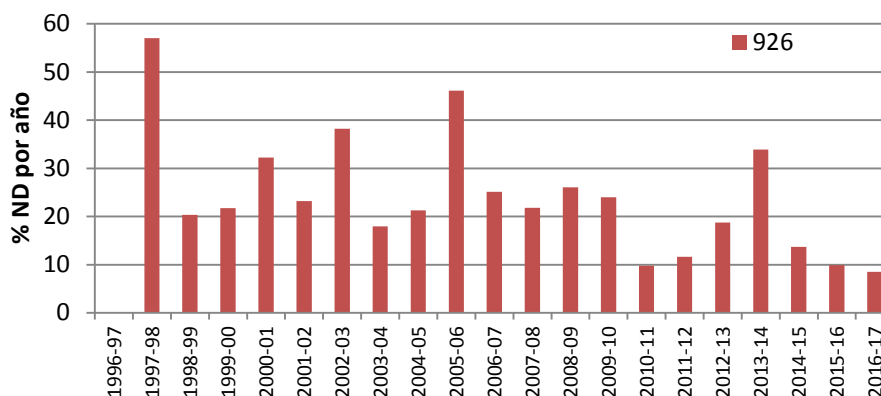


Figura 58. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 926, Alcanadre en Ballobar

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A193 (Alcanadre en Ballobar). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 8 %. La duración de esta serie es de 20 años, desde 1997 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 20 años en común, permitiendo un solapamiento muy bueno.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que los caudales más elevados están escasamente representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 30% del tiempo, con valores en torno a los 10 m³s⁻¹. Todos los caudales superiores a estos 10 m³s⁻¹ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es 707 m³s⁻¹, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de 251 m³s⁻¹. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación está relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 25. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A193) y turbidez (926) del río Alcanadre en Ballobar.

	Series de Turbidez (926)				Series de Caudal (A193)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	57.03	120	5	84.22	0.00	707	2	19.47
1998-99	20.37	450	0	58.51	0.55	65	2	8.49
1999-00	21.76	492	0	41.54	0.00	513	1	12.17
2000-01	32.25	489	4	47.72	8.28	207	5	18.71
2001-02	23.24	349	0	60.58	0.50	74	2	7.48
2002-03	38.25	476	5	49.23	0.00	486	5	13.53
2003-04	17.93	249	3	63.50	0.73	113	5	16.40
2004-05	21.25	249	4	54.02	55.27	19	4	7.03
2005-06	46.10	248	9	93.70	88.05	181	4	12.77
2006-07	25.12	243	0	84.07	0.00	137	2	8.54
2007-08	21.80	246	5	69.10	0.48	191	1	9.72
2008-09	26.03	247	4	74.06	0.00	150	5	12.55
2009-10	24.03	246	11	96.69	0.00	191	5	11.09
2010-11	9.77	492	15	132.02	0.00	54	4	7.90
2011-12	11.62	491	18	122.98	0.00	84	3	7.30
2012-13	18.76	497	24	186.56	0.00	190	6	12.98
2013-14	33.94	489	21	169.90	0.00	112	5	10.46
2014-15	13.71	442	11	80.07	0.02	309	6	10.84
2015-16	9.90	422	4	53.01	2.73	94	3	9.56
2016-17	8.54	470	0	39.04	0.03	252	5	11.50
Total	22.50	497	0	82.82	7.81	707	1	11.46

El valor máximo de la serie es 497 NTU, siendo registrado en el año 2012-13. En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha variado entre los 250 y los 500 NTU. En la tabla 1 se ve como hasta el periodo 2002-2003 el umbral estaba en los 500 NTU, posteriormente descendió a 250 NTU hasta el periodo 2010-11, en el cual volvió a subir a 500 NTU hasta el final del periodo. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, no hay ninguna relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez, ya que está fuertemente condicionada por el umbral de lectura impuesto. La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales, además también se puede distinguir el cambio de umbral de lectura en el año 2011. Al observar la figura 2 izq, se distingue una tendencia clara de aumento de la turbidez con el aumento del caudal. En esta figura se puede ver que solo una crecida de más de 100 m³ s⁻¹ ha sido registrada, todas las demás han sobrepasado el umbral de turbidez y no han sido registradas. Este evento registrado podría coincidir con el momento de recesión de la crecida en la que las cargas transportadas son mucho menores.

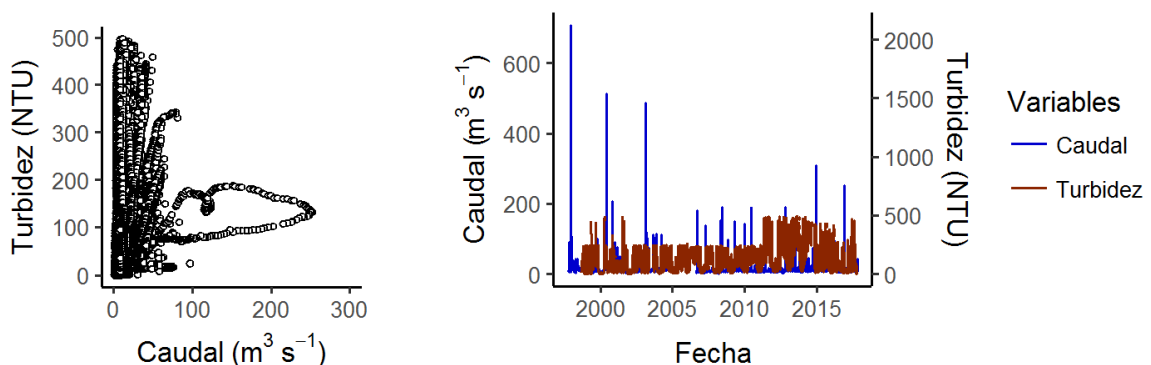


Figura 59. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Alcanadre en Ballobar y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A193) y turbidograma (estación 926 de calidad de aguas).

Estación de Calidad 927 - Guadalope en Calanda

Diagnóstico de la serie: Buena calidad, con poco más del 9 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Los registros de turbidez están presentes en todos los rangos de turbidez | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 927, Guadalope en Calanda, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1999 hasta 2013. La duración de esta serie es de 14 años. El valor medio de turbidez de la serie es 19.8 NTU. El valor máximo de la serie es de 284 NTU (alcanzado en el año 2002-03), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 9.2 % de la serie sin datos (ND), la estación 927 aparecería entre los valores inferiores del primer grupo de estaciones (i.e. ND entre un 0 y un 10 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. La tendencia en esta serie es decreciente, con valores cercanos o ligeramente superiores al 10 %, mientras que en los años finales estos valores son inferiores al 5%. Contrastando con esta tendencia aparece el año 2002-03 con valores superiores al 40 %.

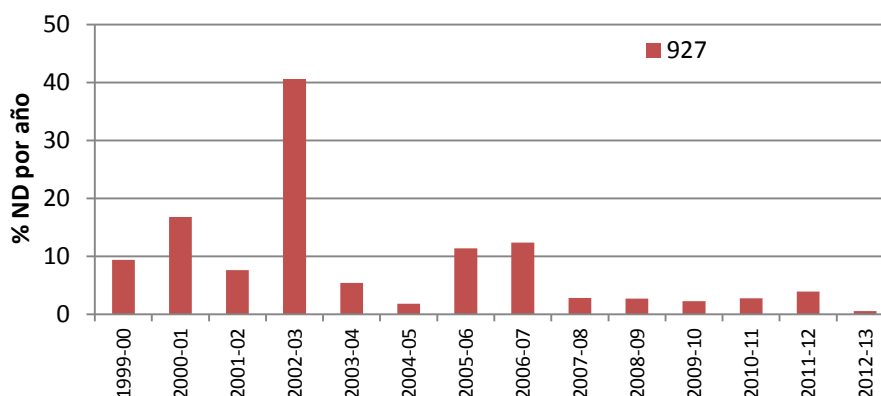


Figura 60. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 927, Guadalope en Calanda.

En este caso no se disponía de serie de caudal, así que se ha empleado la serie de nivel de agua de la estación 927 (Guadalope en Calanda). La calidad de esta serie es muy buena, con un promedio de falta de valores inferior al 10 %. La duración de esta serie es de 14 años, desde 1999 hasta 2013. Ambas series comparten un total de 14 años en común, permitiendo un muy buen solapamiento.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de niveles mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de niveles están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que el turbidímetro está activo). Las curvas son casi idénticas en todos sus rangos. Incluso en el análisis de percentiles los valores son idénticos. Hay una ligera divergencia en niveles superiores a 150 e inferiores a 375 cm. Es solo en estos momentos (1-3 % del tiempo) en los que el turbidímetro no ha estado activo, puesto que en los momentos de máximo nivel (i.e. caudal) la sonda ha estado activa. La serie completa y la serie en la que el turbidímetro permanece activo comparten el mismo valor máximo, 763 cm de nivel ambas. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 26 Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de nivel y turbidez (927) del río Guadalope en Calanda

	Series de Turbidez (927)				Series de Nivel (927)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Promedio (cm)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	-	-	-	-	-	-	-	-
1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-
1999-00	9.41	240	0	27.74	4.50	110	19	63.54
2000-01	16.82	244	0	14.45	40.98	763	2	79.86
2001-02	7.63	241	0	10.28	2.35	130	1	56.42
2002-03	40.65	284	2	15.87	42.94	123	27	60.26
2003-04	5.46	246	3	18.56	9.83	168	0	41.00
2004-05	1.83	188	2	15.84	0.94	42	4	24.21
2005-06	11.42	267	0	31.86	7.37	64	7	31.36
2006-07	12.39	236	6	31.71	1.86	90	13	35.44
2007-08	2.83	246	3	28.33	0.05	44	13	26.24
2008-09	2.70	229	4	18.28	0.94	76	6	27.88
2009-10	2.29	233	2	12.13	0.08	76	5	31.41
2010-11	2.81	238	3	16.37	0.85	49	3	29.01
2011-12	3.92	226	3	17.31	4.98	67	2	23.28
2012-13	0.57	110	29	50.55	21.09	64	41	53.72
2013-14	-	-	-	-	-	-	-	-
2014-15	-	-	-	-	-	-	-	-
2015-16	-	-	-	-	-	-	-	-
2016-17	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	9.20	284	0	19.82	9.23	763	0	38.09

El valor máximo de la serie es 284 NTU, siendo registrado en el año 2002-03. En esta estación, el umbral de lectura aplicado a la sonda siempre ha estado por debajo de los 250 NTU. En la tabla 1 se puede ver que únicamente un año de la serie supera este valor, en el que se produce el máximo de turbidez. La figura 2 (dcha) nos muestra que quizás debido la carga sedimentaria transportada por el río no sea suficiente para traspasar este umbral en multitud de ocasiones. Por otro lado, la tabla 1 (y la figura 2) nos muestra la problemática de trabajar con series de nivel que no han sido transformadas a caudal. Durante los primeros años (i.e. hasta 2003-04) los valores máximos de nivel eran superiores a 110 cm, para no superar posteriormente los 90 cm. Y lo mismo ocurre con los valores promedios. Esto puede influenciar la interpretación de la figura 2 izq. En esta figura se podría destacar como los niveles de agua alcanzan los valores máximos del periodo de estudio (hasta 5 veces superiores al segundo máximo del periodo de estudio), y la turbidez incrementa levemente, sin siquiera superar los 100 NTU.

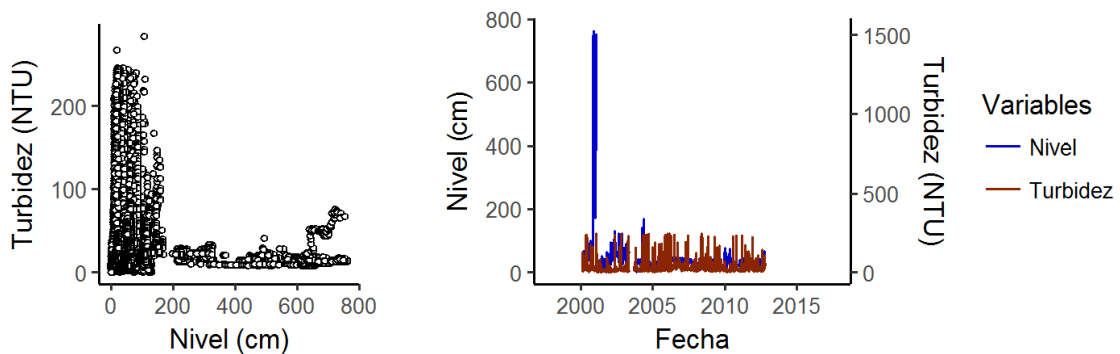


Figura 61. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en el río Guadalope en Calanda y (Derecha) Hidrograma y turbidigrama (estación 927 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de Aguas 928 - Martin en Alcaine

Diagnóstico de la serie: Calidad baja, con un 19.5 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en los rangos de caudal más elevados (i.e. $15-70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 928, Martin en Alcaine, dispone de registros de turbidez desde octubre de 2000 hasta 2013. La duración de esta serie es de 13 años. El valor medio de turbidez de la serie es 17.83 NTU. El valor máximo de la serie es de 330 NTU (alcanzado en el año 2005-06), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 19.41 % de la serie sin datos (ND), la estación 928 aparecería entre los valores superiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. El porcentaje anual de huecos en esta serie es elevado, normalmente por debajo del 20 %. Por encima de todos destacan dos periodos que se encuentran alrededor del 40% (2002-03 y 2006-07), y otros cerca del 80% (2003-04).

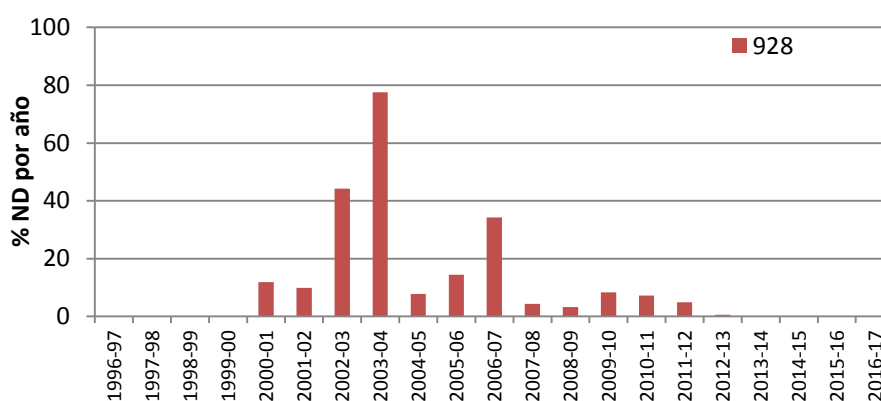


Figura 62. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 928, Martin en Alcaine

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A127 (Martin en Alcaine). La calidad de esta serie es media, con un promedio de falta de valores inferior al 10 %. La duración de esta serie es de 13 años, desde 2004 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 9 años en común, permitiendo un solapamiento no muy bueno.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que los caudales más elevados están escasamente representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 5% del tiempo, con valores en torno a los $0.25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $0.25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación está relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 27. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A127) y turbidez (928) del río Martin en Alcaine.

	Series de Turbidez (928)				Series de Caudal (A127)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	-	-	-	-	-	-	-	-
1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-
1999-00	-	-	-	-	-	-	-	-
2000-01	11.89	130	2	12.97	-	-	-	-
2001-02	9.89	243	1	17.64	-	-	-	-
2002-03	44.19	225	3	13.18	-	-	-	-
2003-04	77.55	234	0	25.20	-	-	-	-
2004-05	7.73	283	2	17.61	9.41	28	0	1.07
2005-06	14.43	330	1	15.78	14.13	73	0	1.28
2006-07	34.24	244	1	14.39	58.47	1	0	0.45
2007-08	4.30	231	3	13.77	21.69	43	0	1.22
2008-09	3.23	246	3	11.89	0.39	5	1	1.45
2009-10	8.30	242	4	32.86	0.00	8	0	1.27
2010-11	7.18	239	4	24.38	0.00	12	0	0.45
2011-12	4.93	243	0	14.12	0.00	3	0	0.28
2012-13	0.63	21	6	9.66	0.00	10	0	0.90
2013-14	-	-	-	-	0.00	3	0	0.45
2014-15	-	-	-	-	1.56	10	0	0.50
2015-16	-	-	-	-	18.21	1	0	0.48
2016-17	-	-	-	-	1.20	12	0	0.40
Total	19.41	330.00	0	17.83	9.59	73	0	0.77

El valor máximo de la serie es 330 NTU, siendo registrado en el año 2005-06. En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha variado entre los 250 y los 500 NTU. En la tabla 1 se ve como el umbral de lectura siempre fue 250 NTU excepto el periodo entre 2004 y 2006. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, no hay ninguna relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Al observar la figura 2 izq, se distingue una gran variabilidad, caudales entre 0.1 y 5 m³ s⁻¹ pueden generar picos de turbidez de 250 NTU. Solo tres puntos superan este umbral, alcanzados con caudales entre 6 y 12 m³ s⁻¹.

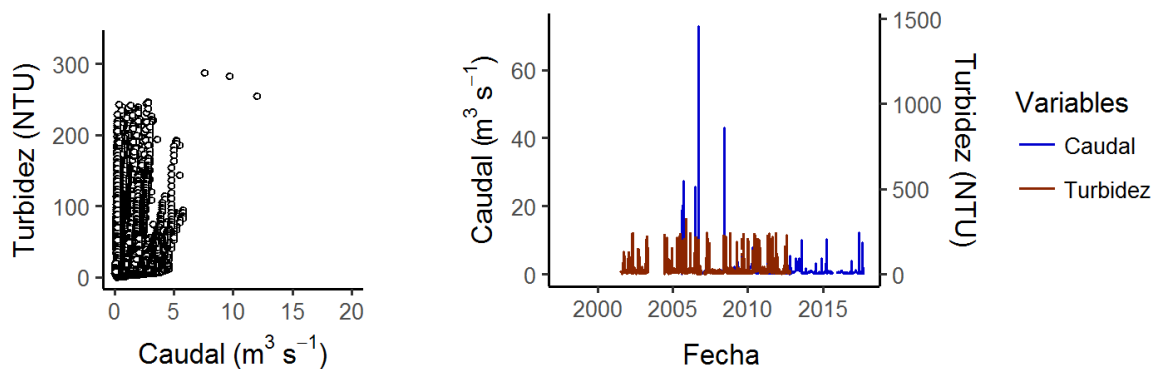


Figura 63. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Martin en Alcaine y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A127) y turbidograma (estación 928 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de 929 - Elorz en Pamplona (Echavacóiz)

Diagnóstico de la serie: Calidad muy baja, con un 31.5 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en los rangos de caudal medios y elevados (i.e. 20-125 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 929, Elorz en Pamplona (Echavacóiz), dispone de registros de turbidez desde octubre de 1998 hasta 2012. La duración de esta serie es de 14 años. El valor medio de turbidez de la serie es 24.63 NTU. El valor máximo de la serie es de 496 NTU (alcanzado en el año 1998-99), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 31.52 % de la serie sin datos (ND), la estación 929 aparecería entre los valores inferiores del tercer grupo de estaciones (i.e. ND entre un 20 y un 40 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. La tendencia de vacíos es creciente con el tiempo, pasando de valores inferiores al 10% en los primeros años a valores superiores a 30 en los últimos 3 años. En esta serie destacan los periodos 2002-03 y 2004-05 por encima de los demás, con porcentajes de vacíos cercanos al 50 y 80%, respectivamente.

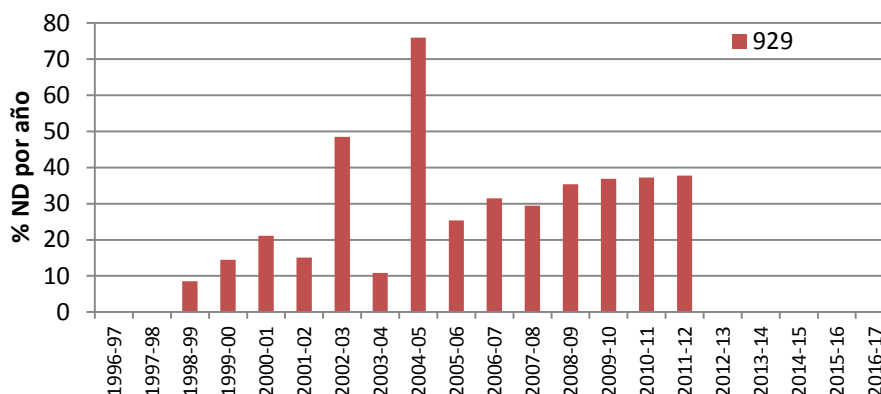


Figura 64. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 929, Elorz en Echavacóiz

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A270 (Elorz en Pamplona). La calidad de esta serie es muy buena, con un promedio de falta de valores inferior al 1 %. La duración de esta serie es de 9 años, desde 2008 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 4 años en común, permitiendo un solapamiento muy bajo.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que los caudales medios y elevados están menos representados en serie en la que el turbidímetro está activo. Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 25% del tiempo, con valores en torno a los $1.55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $1.55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es $118 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de $16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación está relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 28. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A270) y turbidez (929) del río Elorz en Pamplona (Echavacóiz), respectivamente.

	Series de Turbidez (929)				Series de Caudal (A270)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m ³ s ⁻¹)	Mínimo (m ³ s ⁻¹)	Promedio (m ³ s ⁻¹)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	-	-	-	-	-	-	-	-
1998-99	8.57	496	0	27.93	-	-	-	-
1999-00	14.48	327	0	14.62	-	-	-	-
2000-01	21.10	298	1	11.27	-	-	-	-
2001-02	15.10	246	2	7.85	-	-	-	-
2002-03	48.52	237	2	9.95	-	-	-	-
2003-04	10.81	249	3	17.00	-	-	-	-
2004-05	75.93	247	2	23.18	-	-	-	-
2005-06	25.36	244	1	27.92	-	-	-	-
2006-07	31.43	246	1	34.40	-	-	-	-
2007-08	29.48	245	1	32.27	-	-	-	-
2008-09	35.38	247	4	44.91	2.77	63	0	1.89
2009-10	36.88	248	3	39.57	0.00	60	0	1.45
2010-11	37.20	247	3	36.02	3.43	26	0	0.91
2011-12	37.78	244	3	29.41	0.00	13	0	0.47
2012-13	-	-	-	-	0.00	119	0	4.27
2013-14	-	-	-	-	0.00	48	0	2.62
2014-15	-	-	-	-	0.00	80	0	3.29
2015-16	-	-	-	-	0.02	51	0	1.74
2016-17	-	-	-	-	1.88	30	0	1.11
Total	31.52	496.00	0	24.63	0.88	119	0	1.97

El valor máximo de la serie es 496 NTU, siendo registrado en el primer año de la serie (1998-99). En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha variado entre los 250 y los 500 NTU. En la tabla 1 se ve como el umbral de lectura siempre fue 500 NTU los tres primeros años y a partir del 2001 se redujo a 250 NTU. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, no hay ninguna relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. La figura 2 (dcha) nos muestra con claridad que los picos de turbidez son similares independientemente de la magnitud de los caudales. Aunque el periodo de solapamiento entre las series de caudal y turbidez es muy corto, se puede observar que las dos crecidas de mayor magnitud que se dan en este periodo no generan una reacción diferente en los niveles de turbidez. Al observar la figura 2 izq, se distingue nítidamente el umbral de lectura de la sonda en 250 NTU. También una gran variabilidad, caudales bajos pueden generar valores altos de turbidez, pero no al revés. Los caudales que superan los 15 m³ s⁻¹ nunca general valores de turbidez inferiores a los 100 NTU.

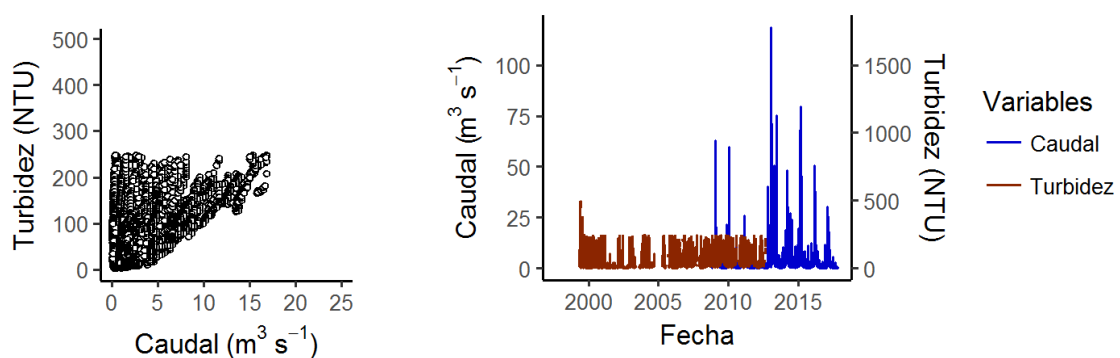


Figura 65. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Elorz en Pamplona (Echavacóiz), respectivamente y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A270) y turbidigrama (estación 929 de calidad de aguas).

Estación de Calidad 930 - Ebro en Cabañas

Diagnóstico de la serie: Calidad media, con un 16% de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de nivel, sobre todo durante niveles muy altos (i.e. 20700 cm) y muy bajos (30 cm) | **Recomendaciones:** Cambiar sistema de obtención de registros de turbidez

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 930 - Ebro en cabañas, dispone de registros de turbidez desde octubre de 1999 hasta 2013. La duración de esta serie es de 15 años. El valor medio de turbidez de la serie es 65.59 NTU. El valor máximo de la serie es de 499 NTU (alcanzado en el año 2010-11), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 16.13 % de la serie sin datos (ND), la estación 930 aparecería entre los valores superiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. Se puede diferenciar una tendencia ligeramente decreciente de vacíos por año desde el principio de la serie hasta el presente, aunque existe mucha variabilidad. Se podría destacar únicamente el año 2003-04, con un porcentaje de vacíos superior al 50 %.

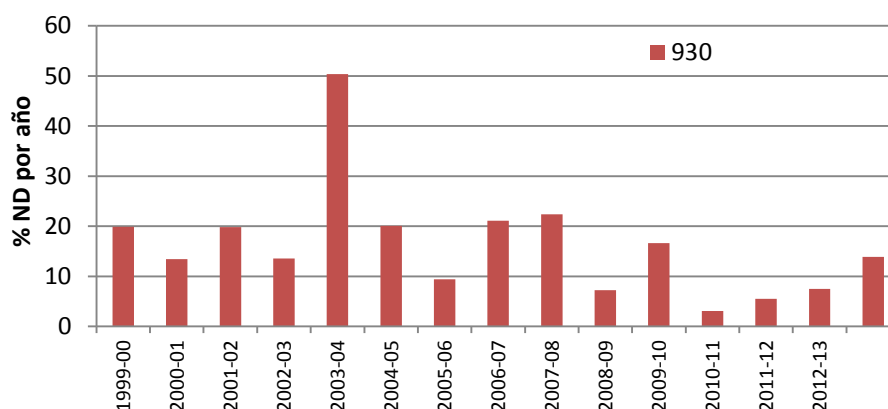


Figura 66. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 930 - Ebro en cabañas

En este caso no se disponía de serie de caudal, así que se ha empleado la serie de nivel de agua de la estación A286 (Ebro en Alagón). La calidad de esta serie es buena, con un promedio de falta de valores inferior al 9 %. La duración de esta serie es de 13 años, desde 2004 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 9 años en común, permitiendo un muy buen solapamiento.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de niveles mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de niveles están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez). Las curvas comienzan a divergir desde muy pronto, con niveles que son excedidos solamente el 99 % del tiempo, con valores en torno a los 30 cm. Los niveles bajos entre los 30 cm hasta los 400 cm están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los niveles más altos. Mientras en la serie completa el máximo es 790 cm, en la otra serie, en la que el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de 718 cm. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 29. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de nivel (914) y turbidez (914) del Canal de Serós en Lleida.

	Series de Turbidez (930)				Series de Nivel (A286)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Promedio (cm)
1996-97	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	-	-	-	-	-	-	-	-
1998-99	19.87	493	1	121.95	-	-	-	-
1999-00	13.44	497	3	76.31	-	-	-	-
2000-01	19.83	291	0	55.60	-	-	-	-
2001-02	13.57	249	7	69.57	-	-	-	-
2002-03	50.33	252	8	68.76	-	-	-	-
2003-04	20.10	250	6	77.72	-	-	-	-
2004-05	9.43	250	9	78.68	0.10	4.48	0.29	1.24
2005-06	21.10	249	0	81.29	2.41	6.48	0.27	1.27
2006-07	22.41	483	22	89.52	0.00	7.43	0.31	1.57
2007-08	7.23	248	9	61.91	0.00	6.69	0.40	1.45
2008-09	16.66	249	5	53.52	0.00	6.85	0.41	1.79
2009-10	3.06	490	5	35.09	0.00	6.88	0.47	1.63
2010-11	5.54	499	5	44.23	0.00	5.45	0.29	1.18
2011-12	7.47	248	10	49.87	0.00	4.06	0.25	0.91
2012-13	13.86	262	14	86.20	0.00	7.20	0.42	2.44
2013-14	-	-	-	-	0.00	6.79	0.42	1.75
2014-15	-	-	-	-	0.04	7.90	0.37	1.90
2015-16	-	-	-	-	31.89	6.51	0.46	1.99
2016-17	-	-	-	-	73.62	3.95	-0.04	1.51
Total	16.13	499	0	65.59	8.66	7.90	-0.04	1.59

El valor máximo de la serie es 499 NTU, siendo registrado en el año 2010-2011. En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda ha variado entre los 250, los 500 NTU. En la tabla 1 no se puede diferenciar claramente cuando han cambiado estos umbrales, sin embargo, la figura 2 (dcha) nos muestra con mayor claridad este umbral. En esta figura se observa como el límite de 250 NTU solamente ha sido excedido en dos crecidas puntuales. La figura 2 izq nos muestra una gran variabilidad en la relación Nivel-Turbidez.

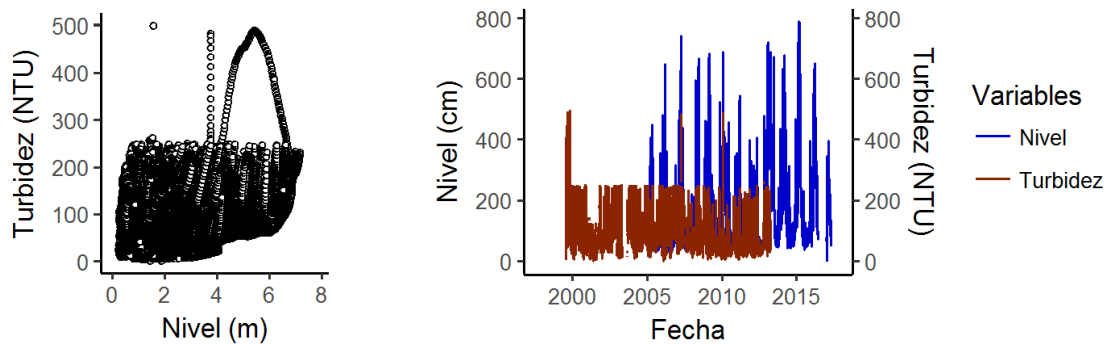


Figura 67. (Izquierda) Relación entre nivel y turbidez en Canal de Serós en Lleida y (Derecha) Hidrograma y turbidigrama (estación 914 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de 968 – Cinca en Fraga

Diagnóstico de la serie: Calidad buena, con un 11 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez especialmente en los caudales más altos (i.e. 400-700 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) | **Recomendaciones:** Cambiar el sensor de ubicación, fuera del pozo tranquilizador si fuera posible.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 968, Cinca en Fraga, dispone de registros de turbidez desde octubre de 2012 hasta 2017. La duración de esta serie es de 5 años. El valor medio de turbidez de la serie es 22.14 NTU. El valor máximo de la serie es de 941 NTU (alcanzado en el año 2012-13), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 11.2 % de la serie sin datos (ND), la estación 968 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. La tendencia de vacíos es decreciente con el tiempo, pasando de valores superiores al 40% en el primero año, a valores inferiores a 10 en los años posteriores. Destaca el escaso número de vacíos en el periodo 2014-16, variando entre 0.09 y 0.11 %.

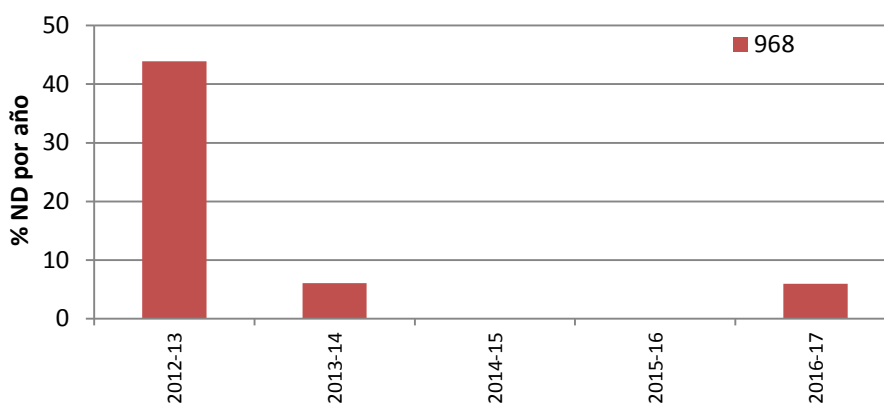


Figura 68. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 968, Cinca en Fraga

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A017 (Cinca en Fraga). La calidad de esta serie es muy buena, con un promedio de falta de valores del 0 %. La duración de esta serie es de 5 años, desde 2012 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 5 años en común, permitiendo un solapamiento total entre ambas series.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que los caudales más altos están escasamente representados en la serie de turbidez en la que el sensor está activo. Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 30% del tiempo, con valores en torno a los 55.8 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos 55.8 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Las diferencias se encuentran principalmente en los caudales altos, mientras en la serie completa el máximo es 679.3 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, en la otra serie, mientras el turbidímetro está en funcionamiento, el caudal máximo registrado es de 415.9 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación está relacionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento, ya que faltan lecturas principalmente durante caudales más elevados. La

tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 30. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A017) y turbidez (968) del río Cinca en Fraga.

	Series de Turbidez (968)				Series de Caudal (A017)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo ($m^3 s^{-1}$)	Mínimo ($m^3 s^{-1}$)	Promedio ($m^3 s^{-1}$)
2012-13	43.92	941	0	23.83	0.00	679	16	59.59
2013-14	6.05	896	0	21.01	0.00	164	17	48.71
2014-15	0.09	852	4	42.04	0.00	342	13	39.48
2015-16	0.11	834	0	10.95	0.00	244	20	56.73
2016-17	5.97	747	0	12.60	0.00	416	17	56.65
Total	11.22	941	0	22.14	0.00	679	12.9	52.42

El valor máximo de la serie es 941 NTU, siendo registrado en el primer año de la serie (2012-13). En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda siempre ha sido el mismo, 1000 NTU. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, no hay ninguna relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. El año en el que se producen los caudales máximos, coincide con el año en el que más datos de turbidez faltan, explicando la diferencia entre las curvas de frecuencia de caudal anteriormente analizadas. La figura 2 (dcha) nos muestra con varios picos de turbidez, y como durante la mayor crecida, no hay registros (2012-13). También se puede observar que crecidas de menor magnitud producen picos muy elevados. Esto está relacionado con el aporte de un tributario (Alcanadre), el cual contribuye con una gran cantidad de sedimento para caudales no demasiado elevados. Además, esta variabilidad se puede explicar por la acumulación de sedimentos en el lecho en el tramo entre la desembocadura del Alcanadre en el Cinca y la estación de calidad de Fraga.

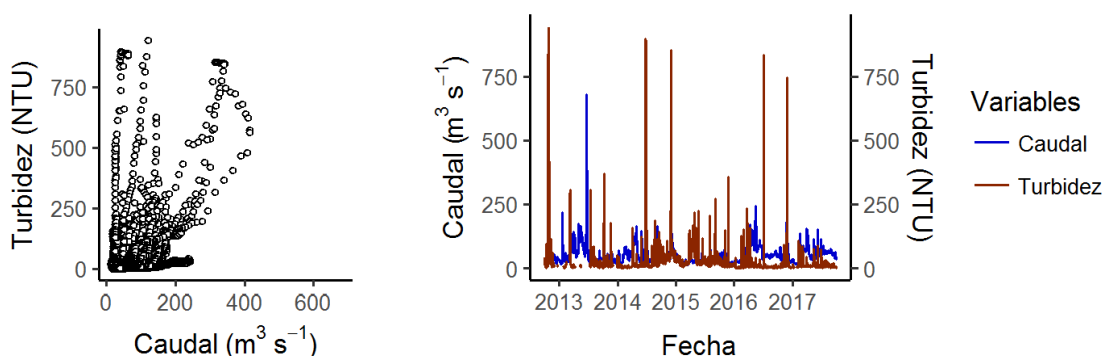


Figura 69. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Cinca en Fraga y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A017) y turbidograma (estación 968 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de 969 - Ebro en Gelsa

Diagnóstico de la serie: Calidad de esta serie no es aceptable, contando con un 50 % de vacíos
| **Potencial de relación con hidrología:** No faltan registros de turbidez en ningún rango de caudal especialmente | **Recomendaciones:** Revisar el sensor de turbidez, ya que su funcionamiento parece erróneo.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 969, Ebro en Gelsa, dispone de registros de turbidez desde octubre de 2012 hasta 2015. La duración de esta serie es de 3 años. El valor medio de turbidez de la serie es 111.71 NTU. El valor máximo de la serie es de 999 NTU (alcanzado en el año 2012-13), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 48.33 % de la serie sin datos (ND), la estación 969 aparecería entre los valores superiores del quinto grupo de estaciones (i.e. ND entre un 40 y un 50 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. La tendencia de vacíos es decreciente con el tiempo, pasando de valores superiores al 60% en el primero año, a valores ligeramente superiores a 20 en el último año.

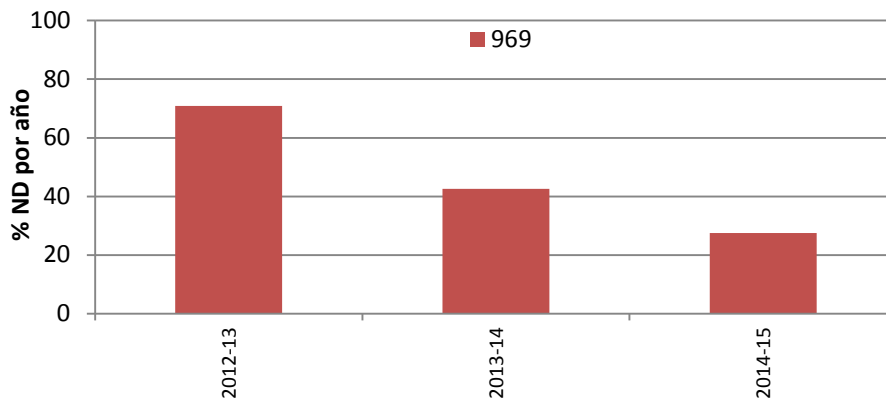


Figura 70. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 929, Elorz en Echavacóiz

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A263 (Ebro en Gelsa). La calidad de esta serie es muy buena, con un promedio de falta de valores del 2 %. La duración de esta serie es de 5 años, desde 2012 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 3 años en común, permitiendo un solapamiento bajo entre ambas series.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez). Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 10 % del tiempo, con valores en torno a los $750 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $750 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo. Todos los percentiles analizados (Q_{\min} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{\max}) son muy similares en toda la serie, lo que nos indica que los vacíos están distribuidos en toda la serie de caudales, sin llegar a afectar en mayor manera a un rango de caudales determinado. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación no está condicionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 31. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la series de caudal (A263) y turbidez (969) del río Ebro en Gelsa.

	Series de Turbidez (969)				Series de Caudal (A263)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m^3s^{-1})	Mínimo (m^3s^{-1})	Promedio (m^3s^{-1})
2012-13	70.92	999	0	80.16	0.01	1687	0	395.96
2013-14	42.55	700	0	262.35	0.05	1523	12	266.24
2014-15	27.51	675	0	4.37	0.01	2847	12	298.83
2015-16	-	-	-	-	0.01	1405	12	229.31
2016-17	-	-	-	-	10.37	1286	0	119.83
Total	48.33	999	0	111.71	2.09	2847	0	265

El valor máximo de la serie es 999 NTU, siendo registrado en el primer año de la serie (2012-13). En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda siempre ha sido el mismo, 100 NTU. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, no hay ninguna relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. Además, al observar la figura 2 (dcha) podemos ver que el comportamiento anormal de la sonda, mostrando unos valores de turbidez muy altos con caudales muy bajos (2014-2015) y posteriormente, durante una crecida de gran magnitud, la turbidez desciende a valores muy bajos. La falta de datos tras este evento nos indica una posible avería de la sonda de turbidez.

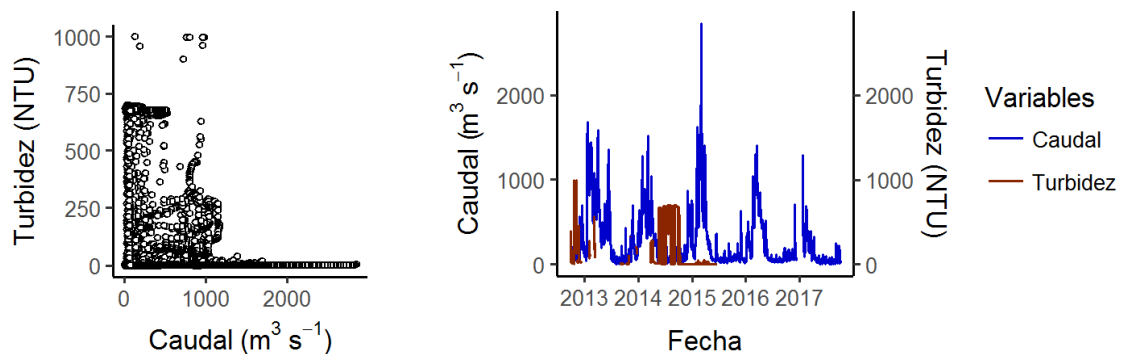


Figura 71. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Gelsa y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A263) y turbidograma (estación 969 de calidad de aguas).

Estación de Calidad de 970 - Ebro en Tortosa

Diagnóstico de la serie: Calidad buena, con un 12 % de vacíos | **Potencial de relación con hidrología:** Faltan registros de turbidez en todos los rangos de caudal | **Recomendaciones:** Revisar el sensor puesto que su funcionamiento parece erróneo.

1. Series disponibles

La estación de calidad de aguas 970, Ebro en Tortosa, dispone de registros de turbidez desde octubre de 2012 hasta 2016. La duración de esta serie es de 4 años. El valor medio de turbidez de la serie es 26 NTU. El valor máximo de la serie es de 1000 NTU (alcanzados en los dos últimos años de la serie), mientras que el mínimo es 0 NTU.

2. Calidad de los datos de turbidez

Con un 12.16 % de la serie sin datos (ND), la estación 970 aparecería entre los valores inferiores del segundo grupo de estaciones (i.e. ND entre un 10 y un 20 % del tiempo). La figura 1 muestra la distribución de estos vacíos para cada año de la serie. La tendencia de vacíos es decreciente con el tiempo, pasando de valores superiores al 20% en el primero año, a valores cercanos a 0 en los últimos dos años de la serie.

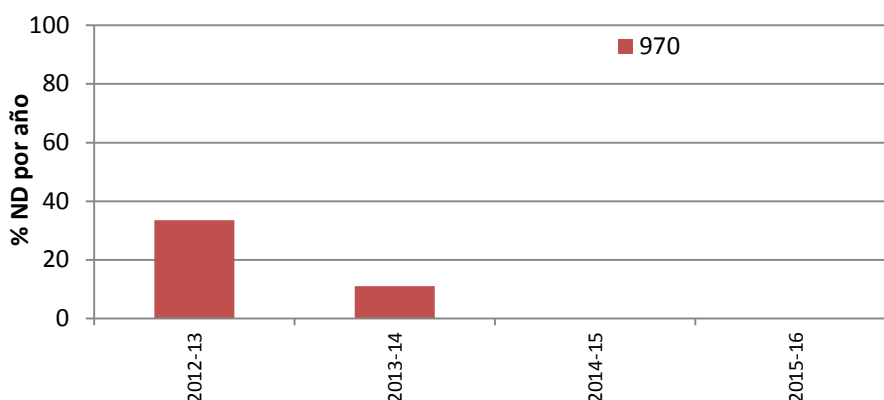


Figura 72. Distribución de vacíos en la estación de calidad de aguas 970, Ebro en Tortosa

La serie de caudal utilizada proviene de la estación A027 (Ebro en Tortosa). La calidad de esta serie es muy buena, con un promedio de falta de valores del 0.03 %. La duración de esta serie es de 5 años, desde 2012 hasta 2017. Ambas series comparten un total de 4 años en común, permitiendo un solapamiento bueno, teniendo en cuenta la duración de ambas series.

3. Relación caudal - turbidez

El análisis de la serie de caudal mediante las curvas de frecuencia de caudales (ver figura correspondiente en el anexo II) nos indica que la práctica totalidad de caudales están representados en ambas series (i.e. serie completa y serie en la que no hay lectura de turbidez). Las curvas comienzan a divergir con caudales que son excedidos alrededor del 80 % del tiempo, con valores en torno a los $90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Todos los caudales superiores a estos $90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ están menos representados en la serie en la que el turbidímetro está activo, pero esta diferencia es muy pequeña entre las dos series es muy pequeña. Todos los percentiles analizados (Q_{\min} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{\max}) son muy similares en toda la serie, lo que nos indica que los vacíos están distribuidos en toda la serie de caudales, sin llegar a afectar en mayor manera a un rango de caudales determinado. Esto reflejaría que la falta de registros en esta estación no está condicionada con los umbrales máximos de lectura del instrumento. La tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las series de caudal y turbidez: porcentaje de vacíos en la serie y valores máximo, mínimo y medio.

Tabla 32. Porcentaje de vacíos y valores máximos, mínimos y medios en la serie de caudal (A027) y turbidez (970) del río Ebro en Tortosa

	Series de Turbidez (970)				Series de Caudal (A027)			
	% ND	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)	Promedio (NTU)	% ND	Máximo (m^3s^{-1})	Mínimo (m^3s^{-1})	Promedio (m^3s^{-1})
2012-13	33.57	332	0	24.34	0.00	1514	86	493.15
2013-14	11.07	995	0	12.26	0.00	1345	83	325.61
2014-15	0.01	1000	0	58.45	0.00	1795	66	376.05
2015-16	0.03	1000	0	7.29	0.00	1084	75	273.07
2016-17	-	-	-	-	0.14	723	78	163.20
Total	12.16	1000	0	26	0.03	1795	66	326

El valor máximo de la serie es 1000 NTU, siendo registrado los dos últimos años de la serie (2014-16). En esta estación, el umbral de lectura aplicado a esta sonda siempre ha sido el mismo, 1000 NTU. Como en la mayoría de las estaciones de calidad, no hay ninguna relación entre los caudales máximos y los valores máximos de turbidez. Además, al observar la figura 2 (dcha) podemos ver que el comportamiento anormal de la sonda, mostrando unos valores de turbidez muy altos a partir del 2015 sin importar los caudales circulantes. En esta estación encontramos un problema de funcionamiento de la sonda, y no un problema de umbral de lectura, ya que este río raramente transporta más de 500 NTU ($\pm 500 \text{ mg l}^{-1}$) y en esta serie se producen picos constantes de 1000 NTU. En este caso estos picos pueden estar relacionados con la presencia de algún cuerpo que obstaculice la lente de la sonda de turbidez, impidiendo una buena lectura.

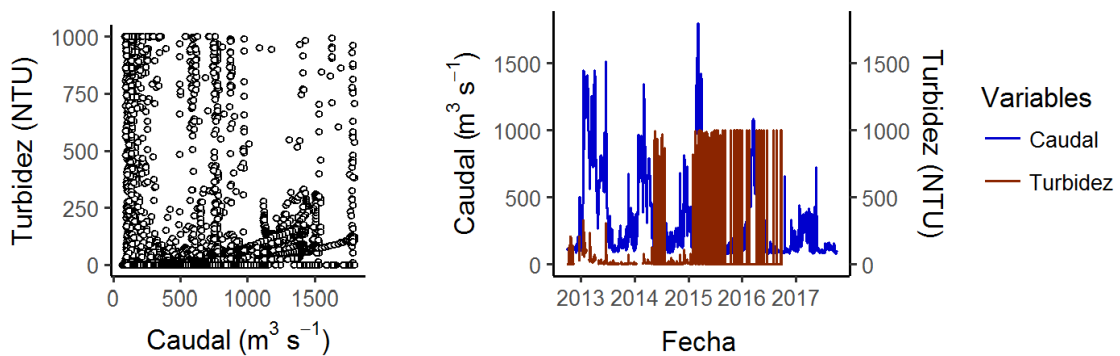


Figura 73. (Izquierda) Relación entre caudal y turbidez en el río Ebro en Tortosa y (Derecha) Hidrograma (estación de aforo A027) y turbidograma (estación 970 de calidad de aguas).

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 901

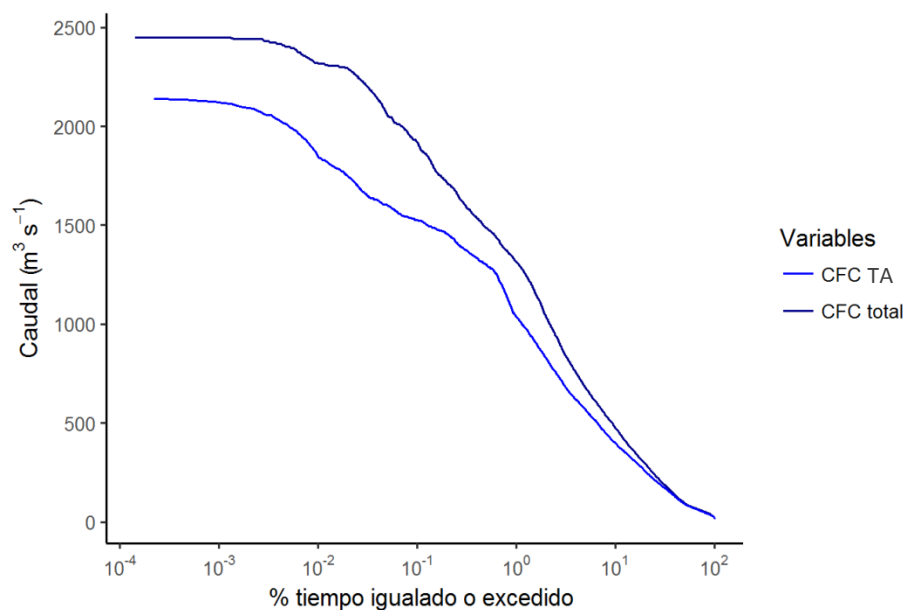


Figura 74. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A001 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 901 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Miranda de Ebro.

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 902

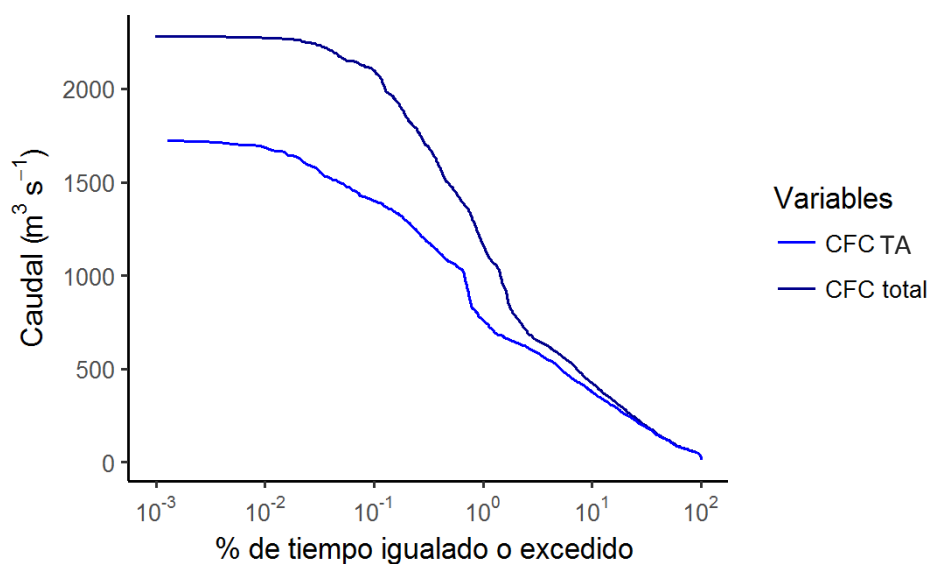


Figura 75. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A284 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 902 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro Pignatelli

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 903

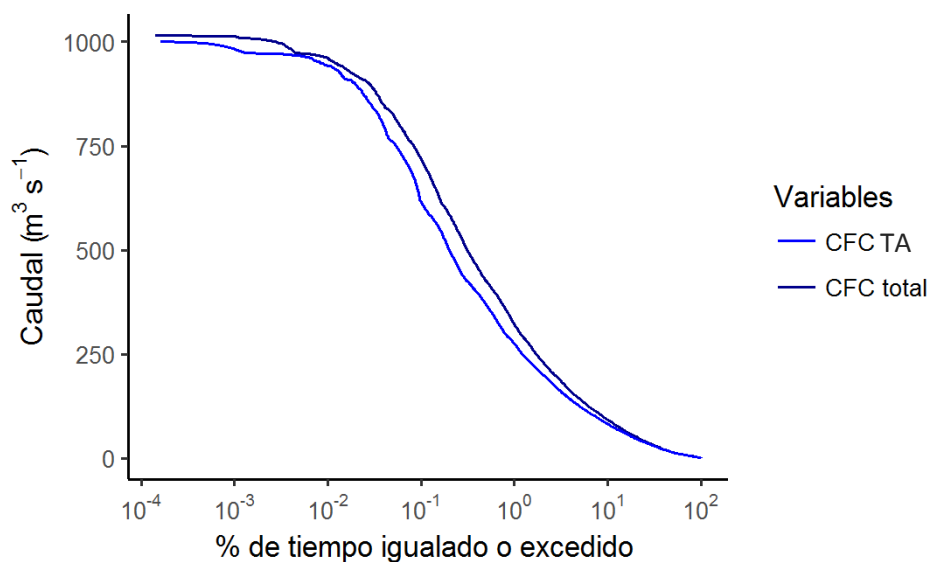


Figura 76. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A069 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 903 está activo (azul claro), ambas en el río Arga en Etxauri

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 904

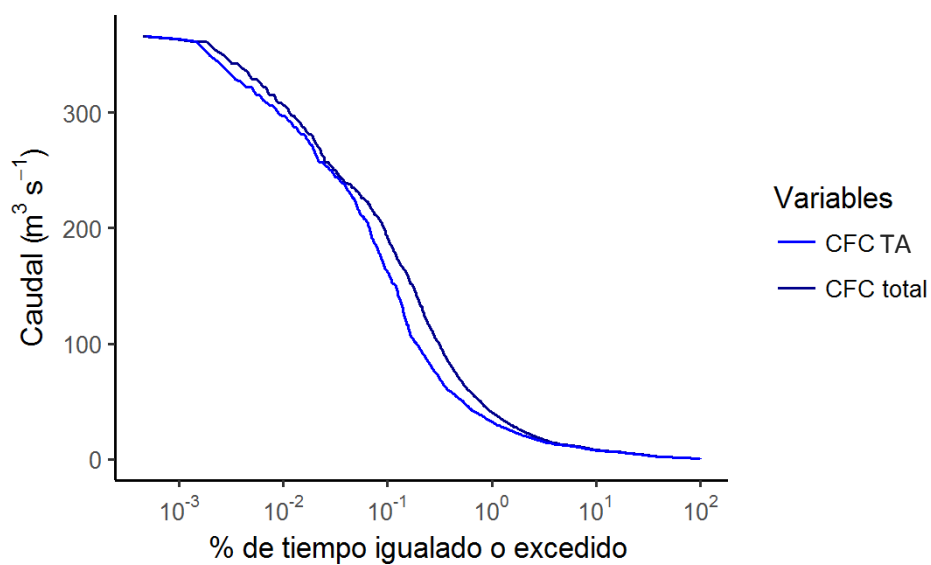


Figura 77. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A319 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 904 está activo (azul claro), ambas en el río Gállego en Jabarrella

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 905

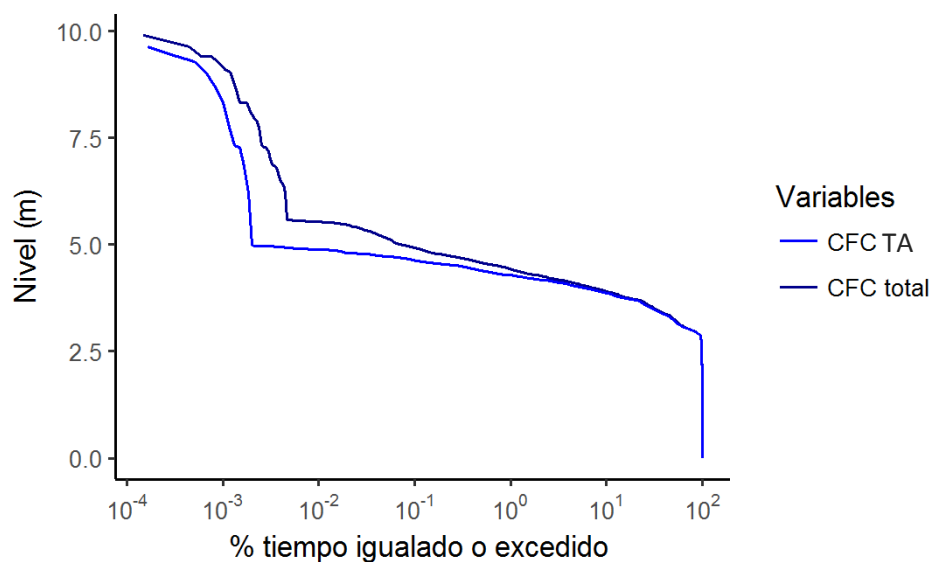


Figura 78. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo E286 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 905 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Presa Pina

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 906

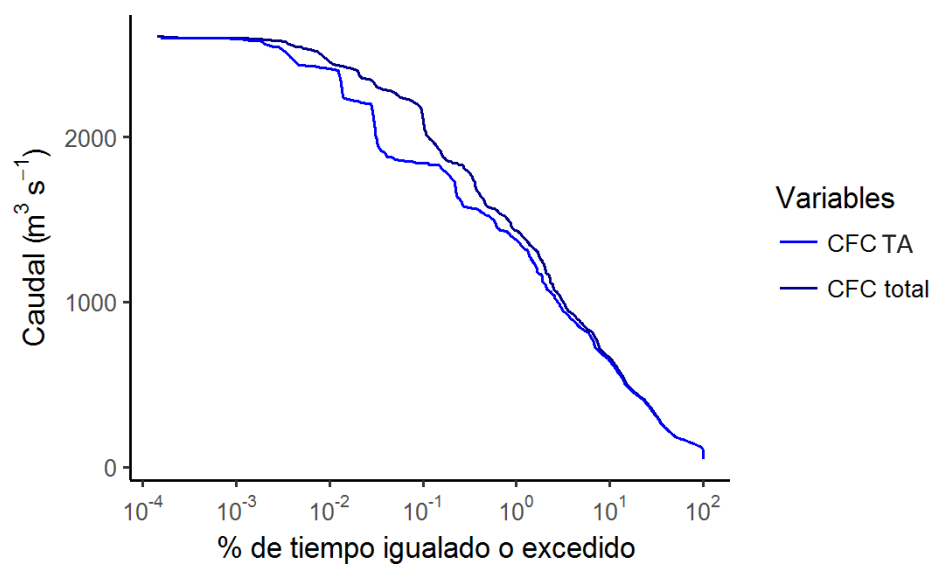


Figura 79. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A163 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 906 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro Ascó

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 907

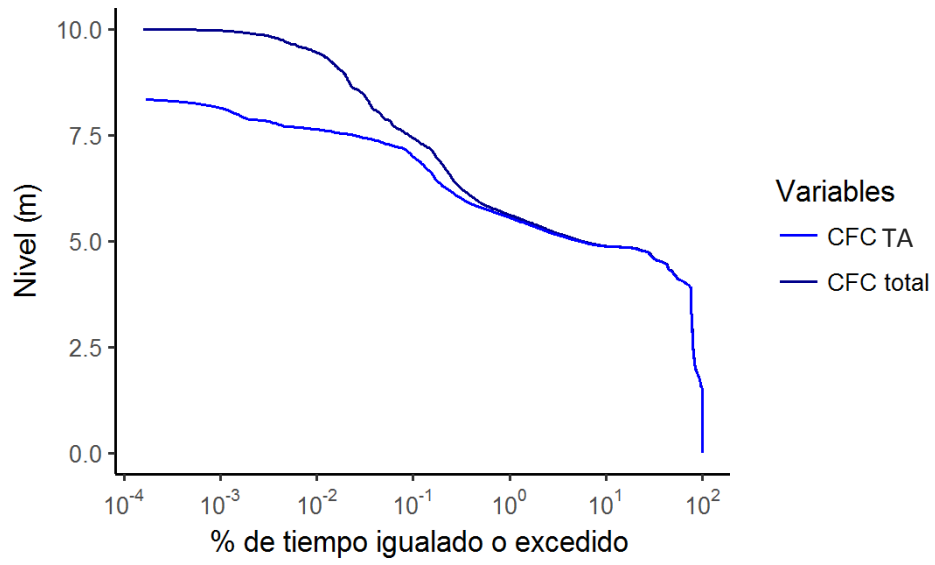


Figura 80. Curva de Frecuencia de Niveles (CFN) de la estación de aforo 907 (azul oscuro) y CFN de los niveles registrados mientras que el turbidímetro de la estación 907 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Haro

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 908

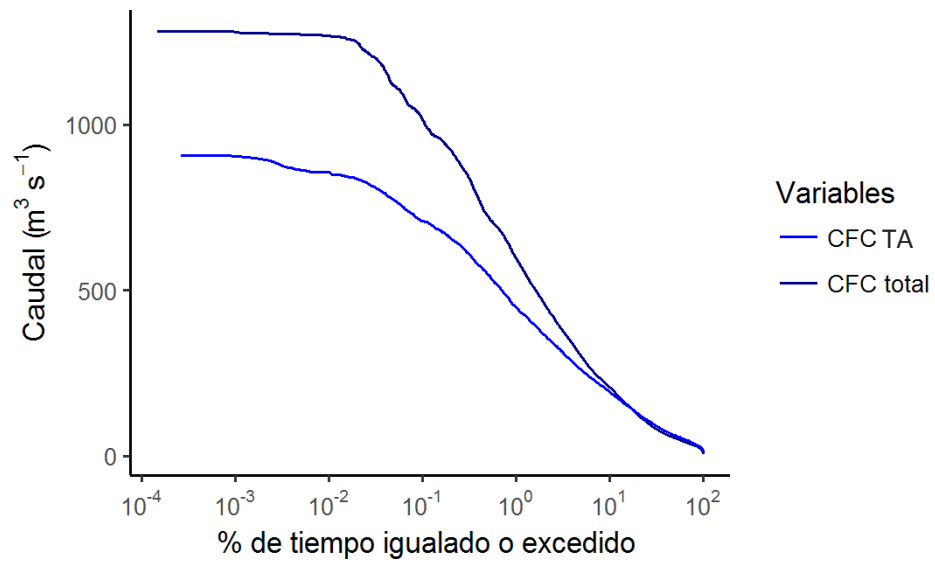


Figura 81. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A120 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 908 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Mendavia

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 909

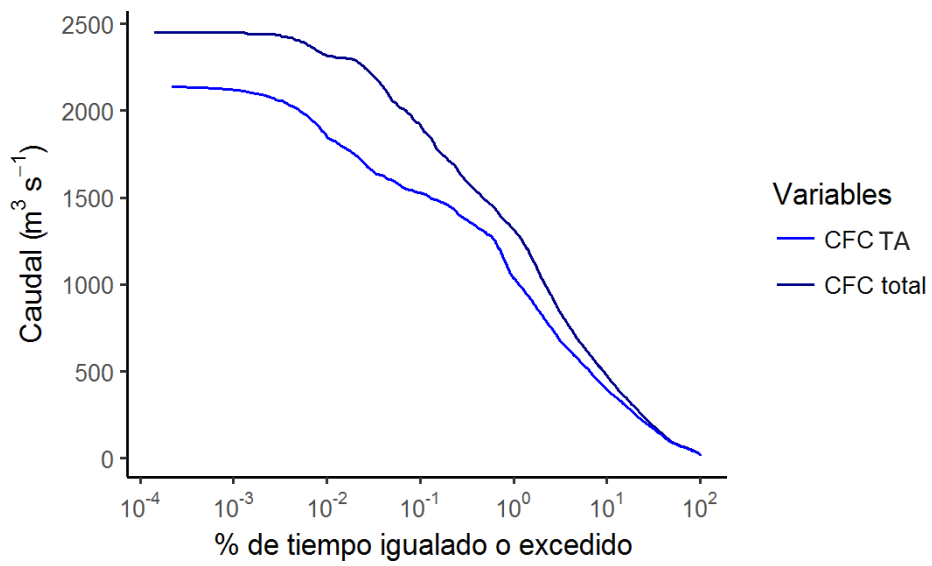


Figura 82. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A011 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 909 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Zaragoza

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 910

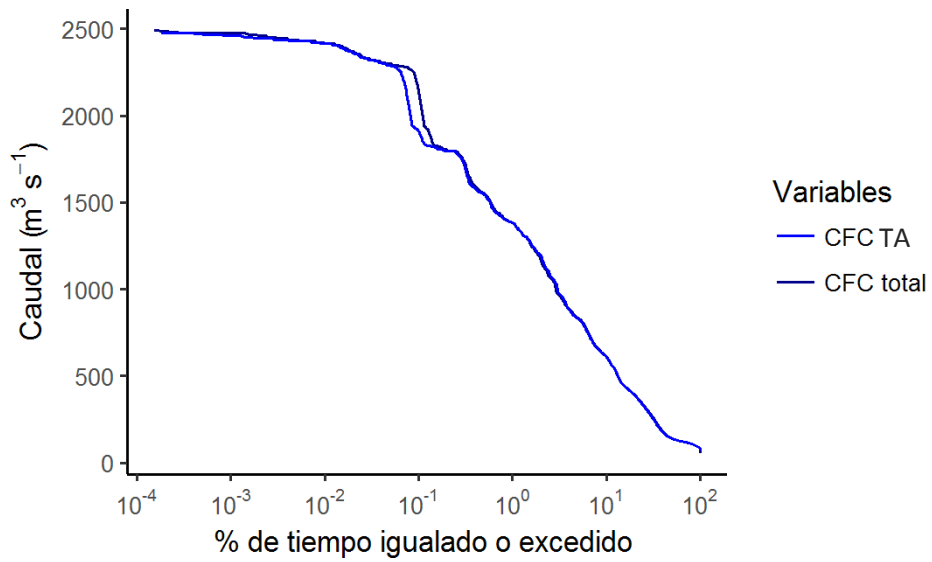


Figura 83. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A027 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 910 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Xerta

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 911

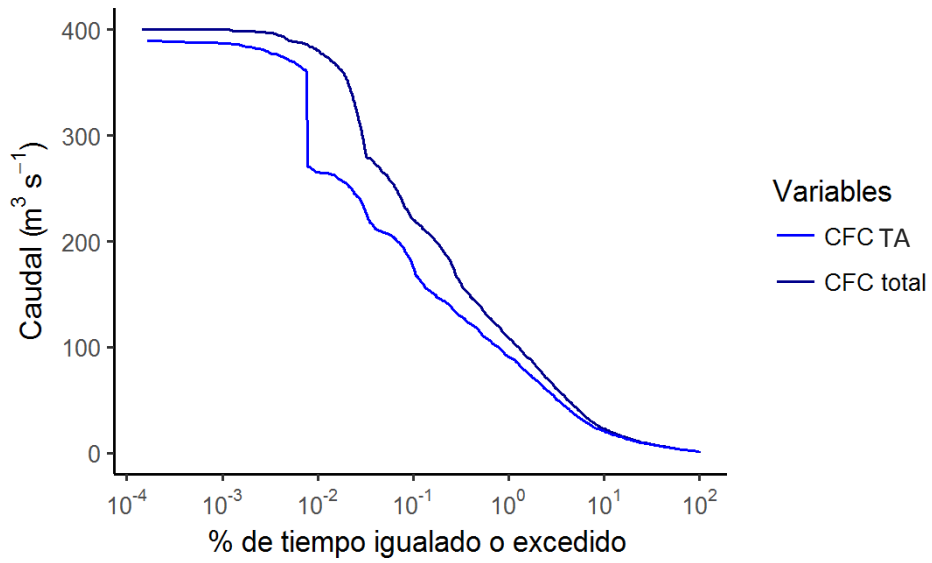


Figura 84. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A074 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 911 está activo (azul claro), ambas en el río Zadorra en Arce

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 912

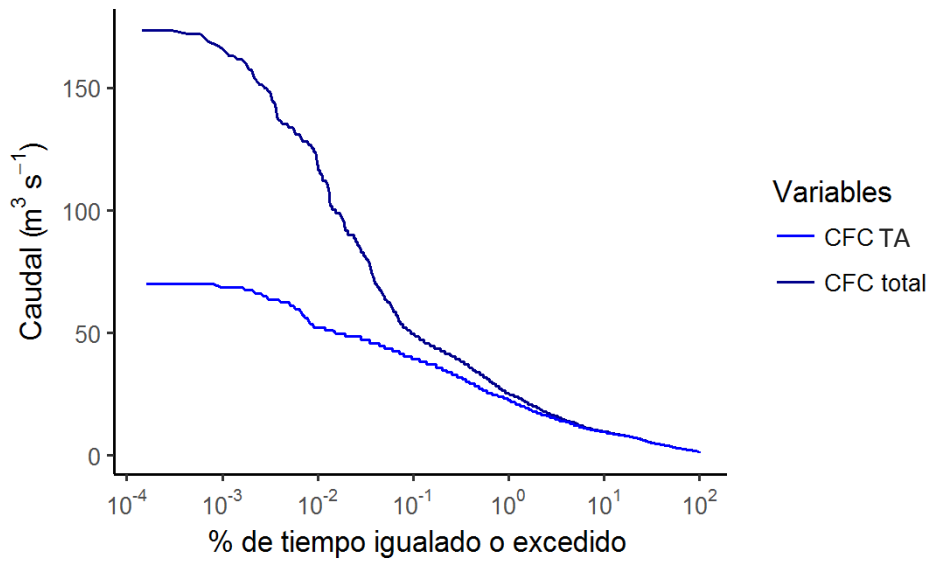


Figura 85. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A036 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 912 está activo (azul claro), ambas en el río Iregua en Islallana

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 913

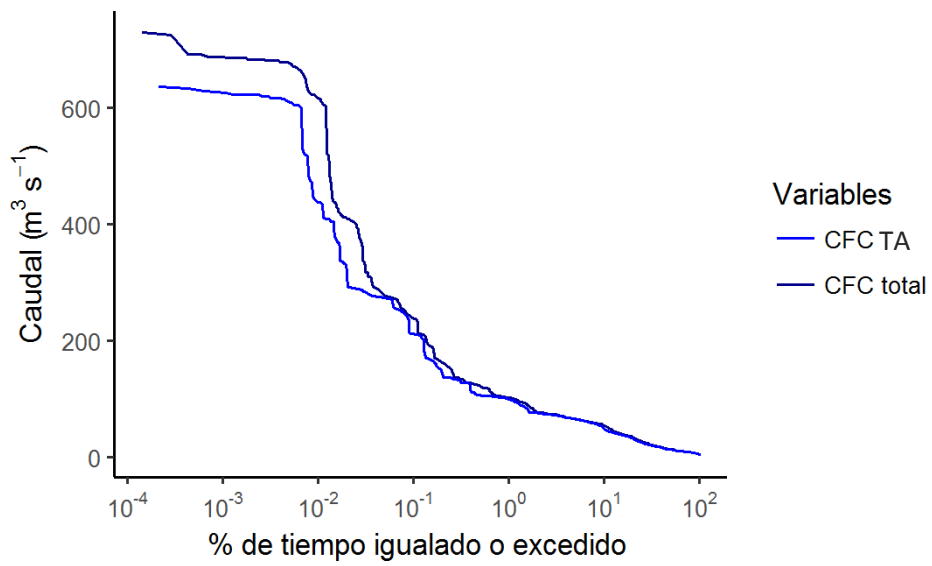


Figura 86. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A083 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 913 está activo (azul claro), ambas en el río Segre en Ponts

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 914

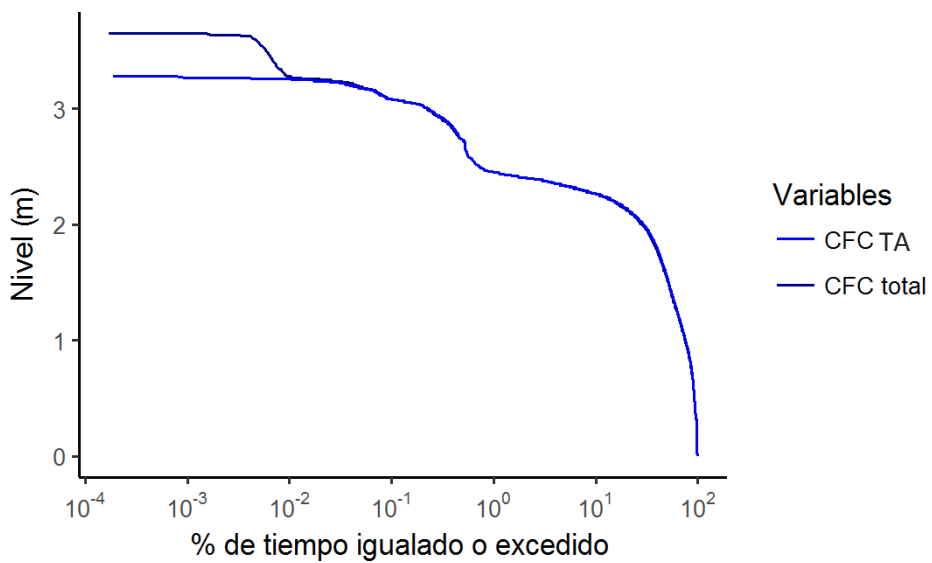


Figura 87. Curva de Frecuencia de Niveles (CFN) de la estación de aforo 914 (azul oscuro) y CFN de los niveles registrados mientras que el turbidímetro de la estación 914 está activo (azul claro), ambas en el Canal de Serós en Lleida

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 916

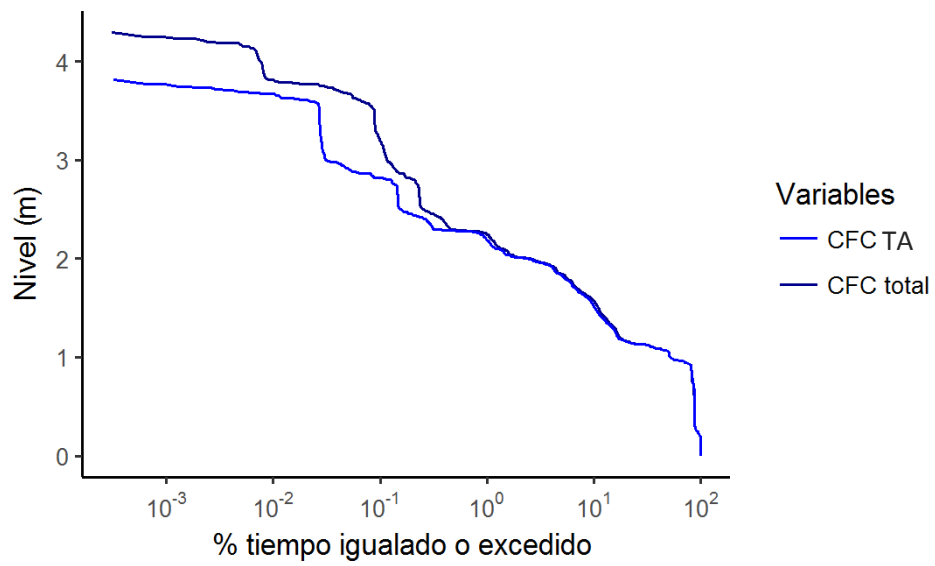


Figura 88. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A293 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 916 está activo (azul claro), ambas en el río Cinca en Monzón

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 918

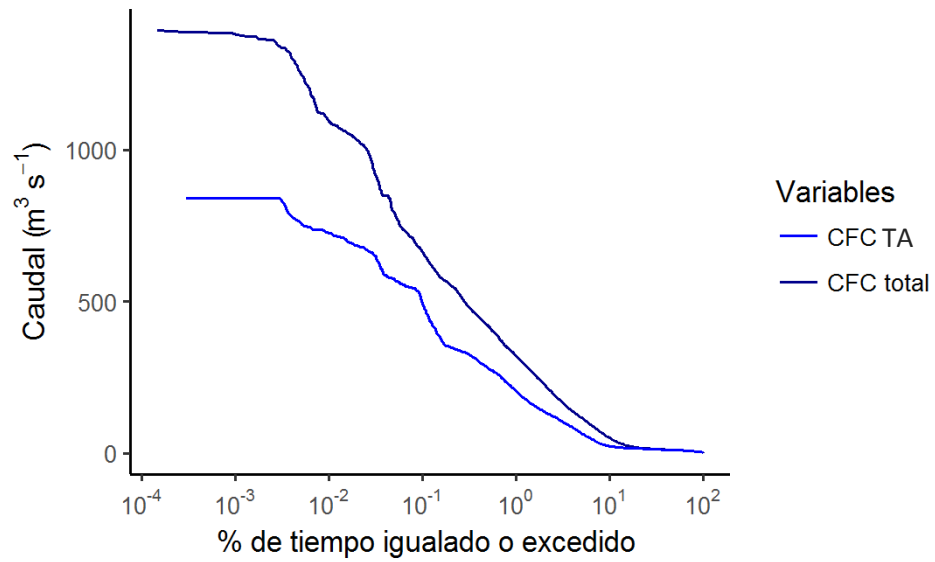


Figura 89. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A005 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 918 está activo (azul claro), ambas en el río Aragon en Gallipenzo

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 919

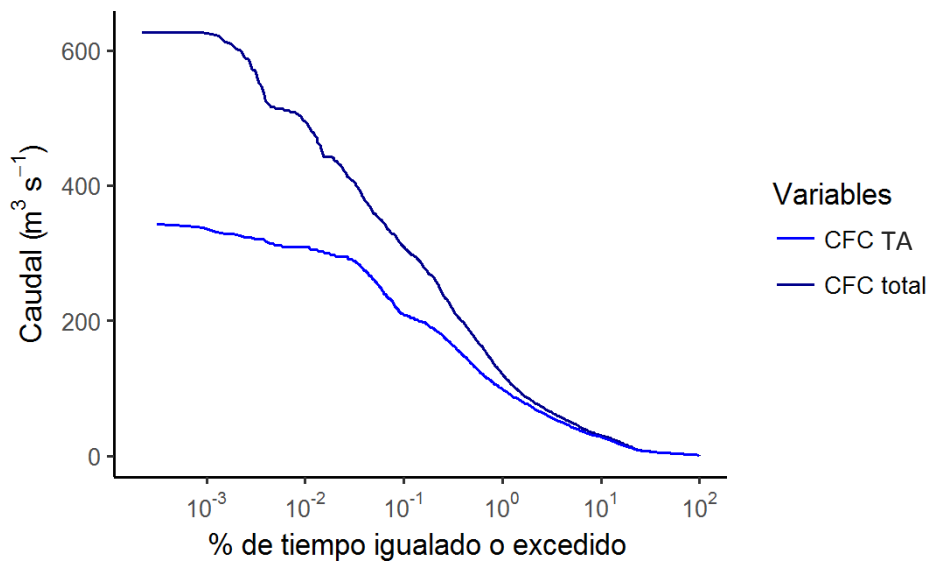


Figura 90. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A089 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 919 está activo (azul claro), ambas en el río Gállego en Villanueva

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 920

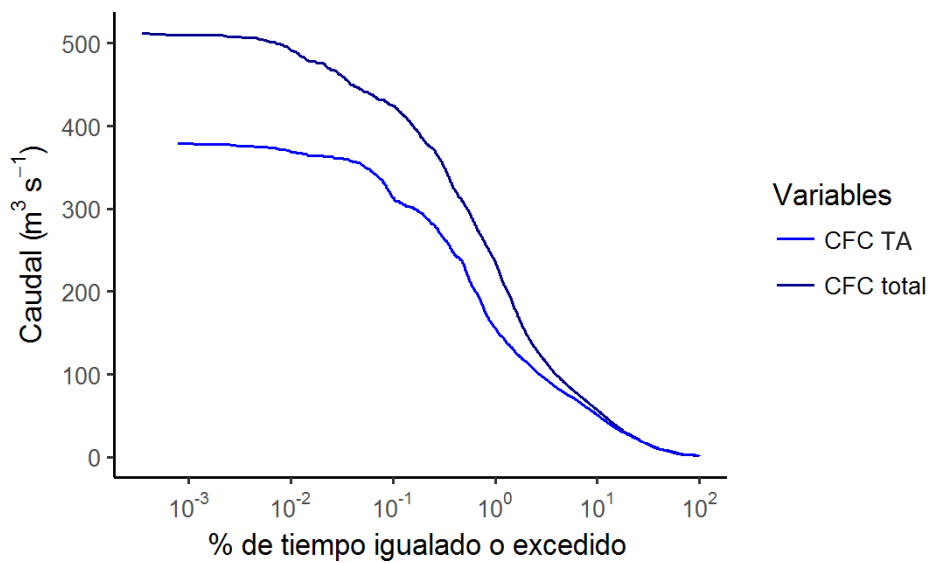


Figura 91. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A089 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 920 está activo (azul claro), ambas en el río Arakil en Errutz

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 921

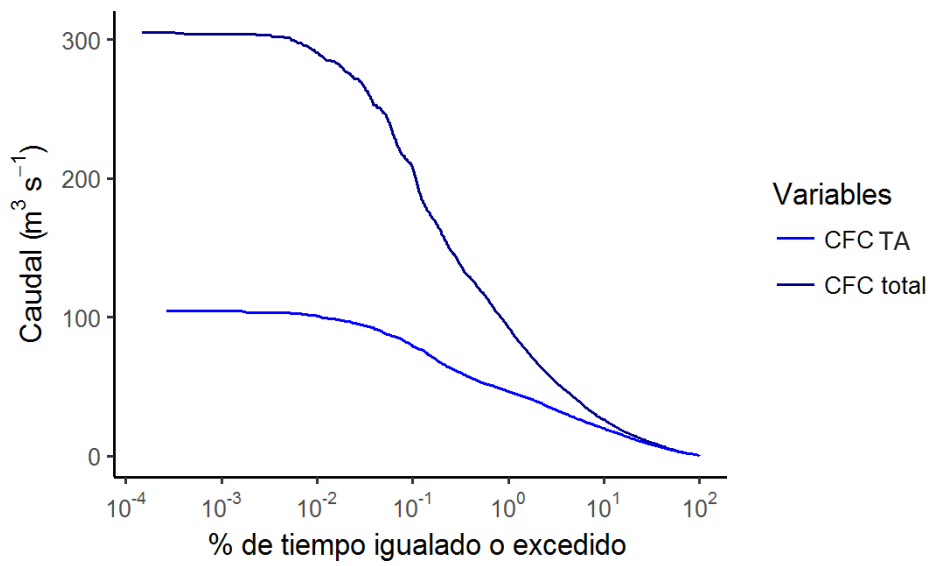


Figura 92. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A003 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 921 está activo (azul claro), ambas en el río Ega en Andosilla

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 922

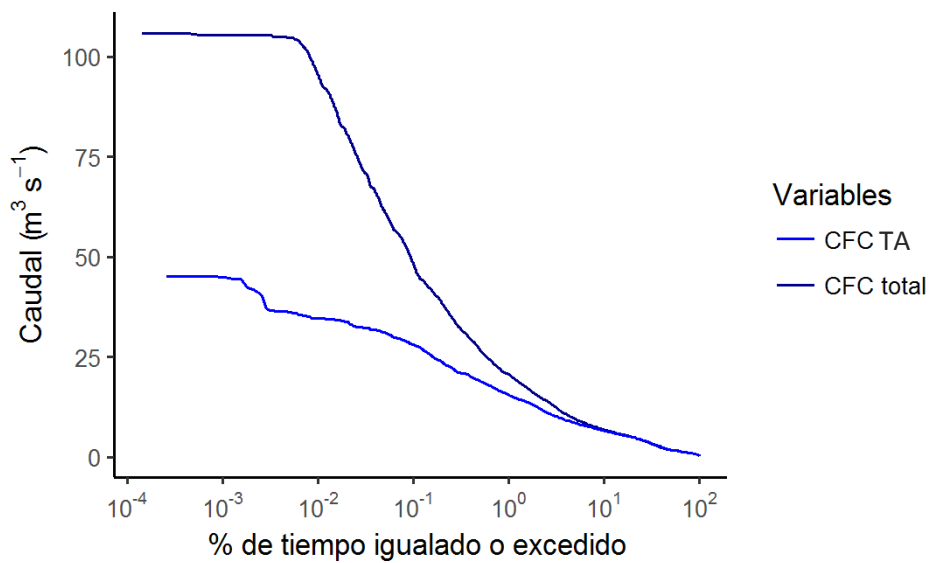


Figura 93. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A093 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 922 está activo (azul claro), ambas en el río Oca en Oña

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 924

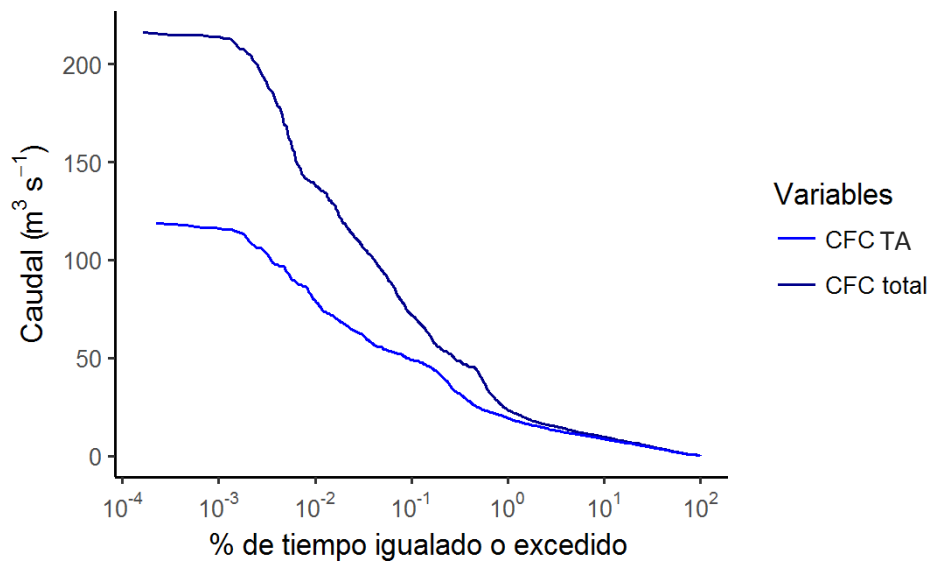


Figura 94. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A050 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 924 está activo (azul claro), ambas en el río Tirón en Ochánduri

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 926

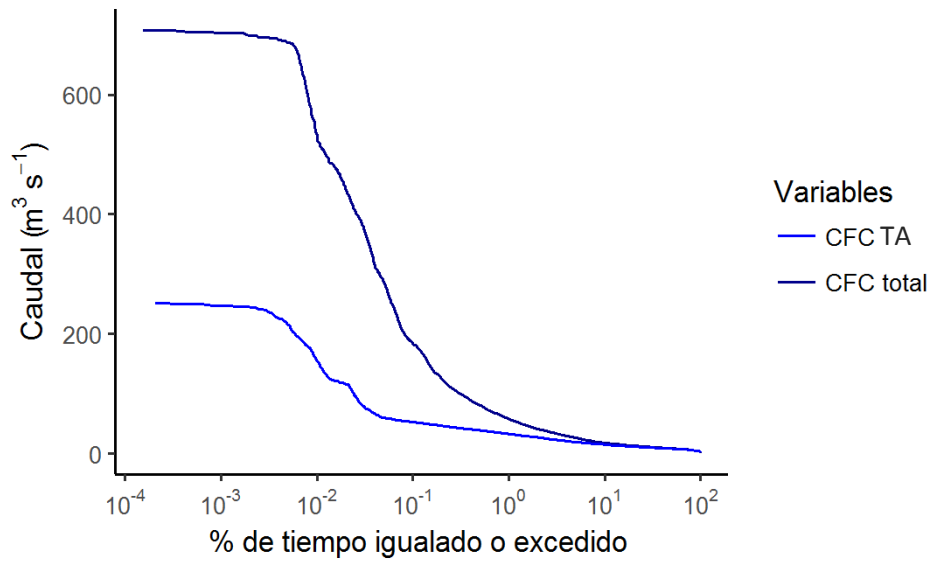


Figura 95. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A193 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 926 está activo (azul claro), ambas en el río Alcanadre en Ballobar

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 927

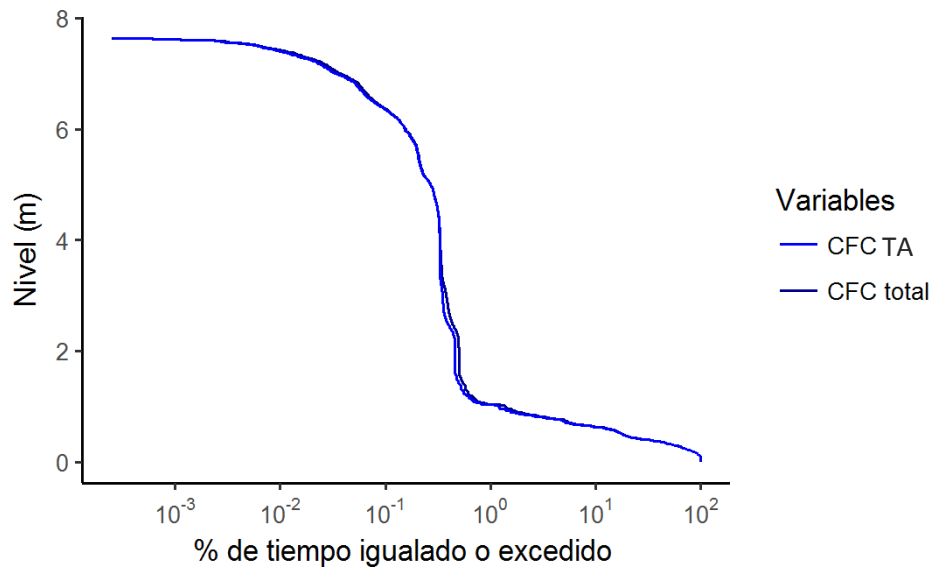


Figura 96. Curva de Frecuencia de Niveles (CFN) de la estación de aforo 927 (azul oscuro) y CFC de los niveles registrados mientras que el turbidímetro de la estación 927 está activo (azul claro), ambas en el río Guadalope en Calanda

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 928

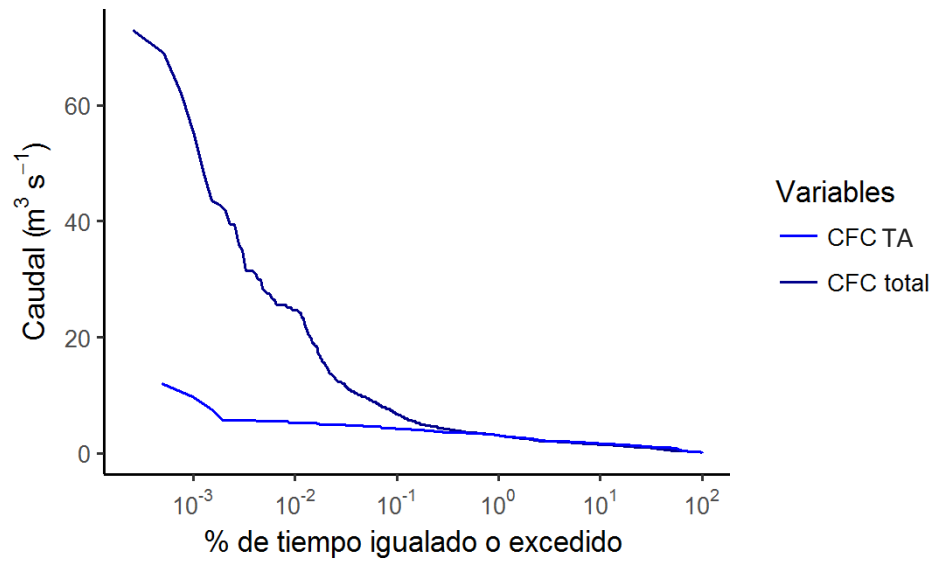


Figura 97. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A127 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 928 está activo (azul claro), ambas en el río Martín en Alcaine

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 929

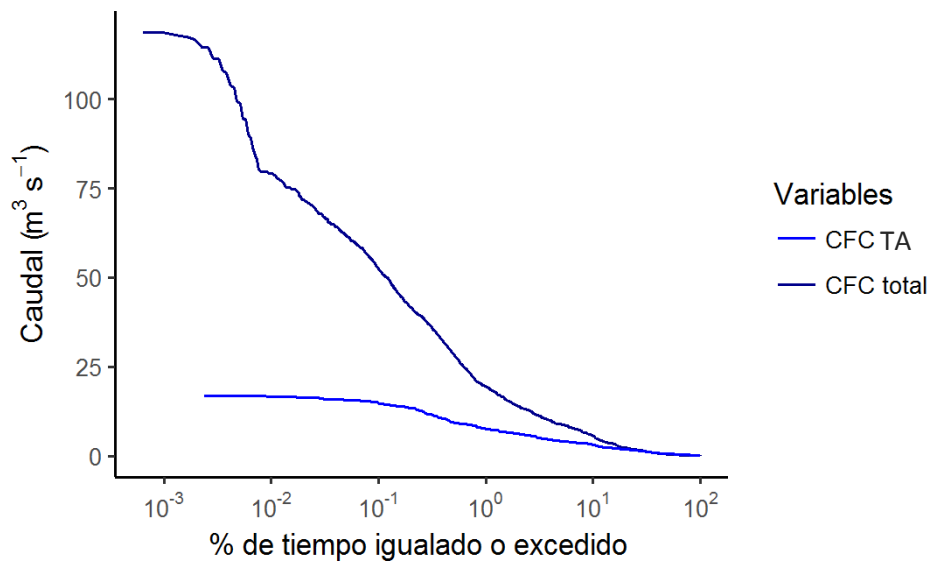


Figura 98. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A270 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 929 está activo (azul claro), ambas en el río Elorz en Pamplona (Echavacóiz)

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 930

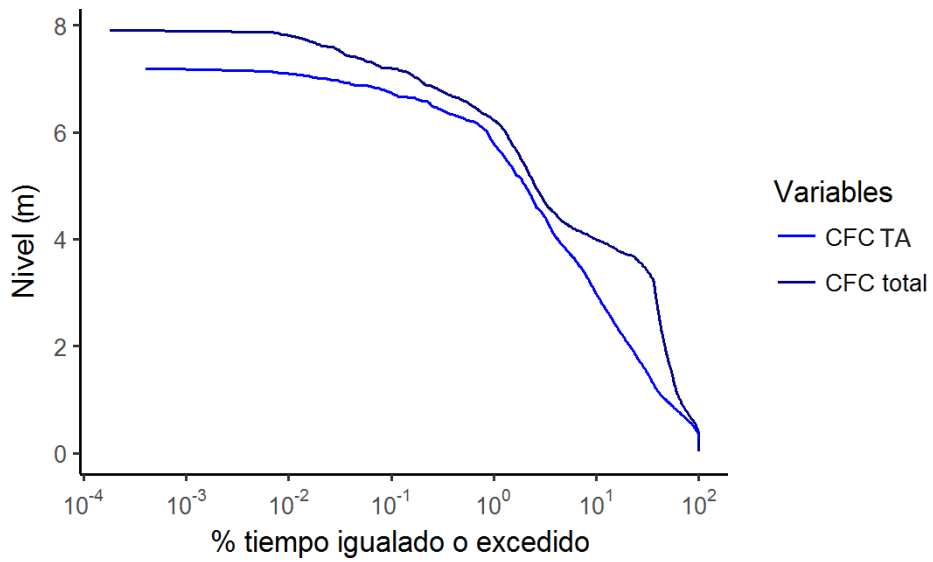


Figura 99. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A286 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 930 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Cabañas

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 968

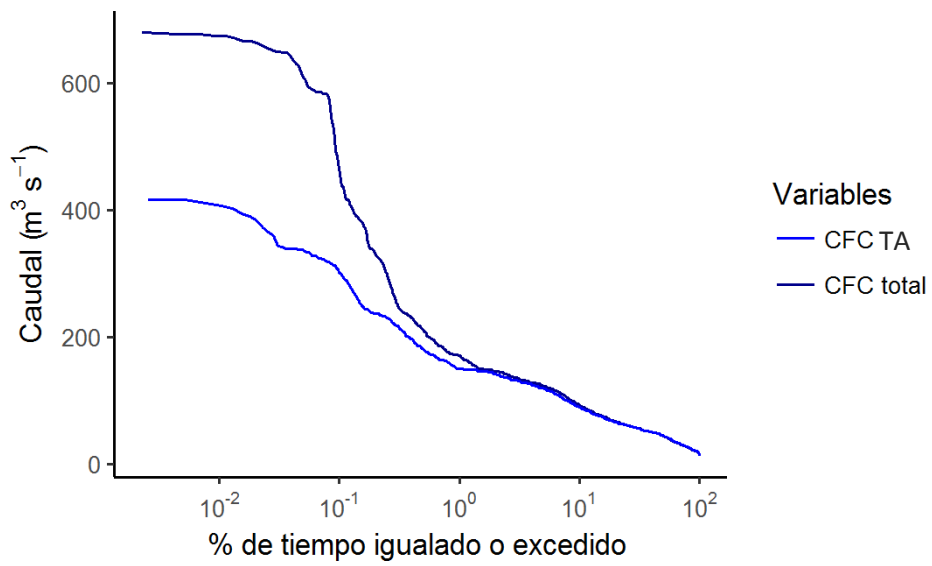


Figura 100. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A018 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 968 está activo (azul claro), ambas en el río Cinca en Fraga

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 969

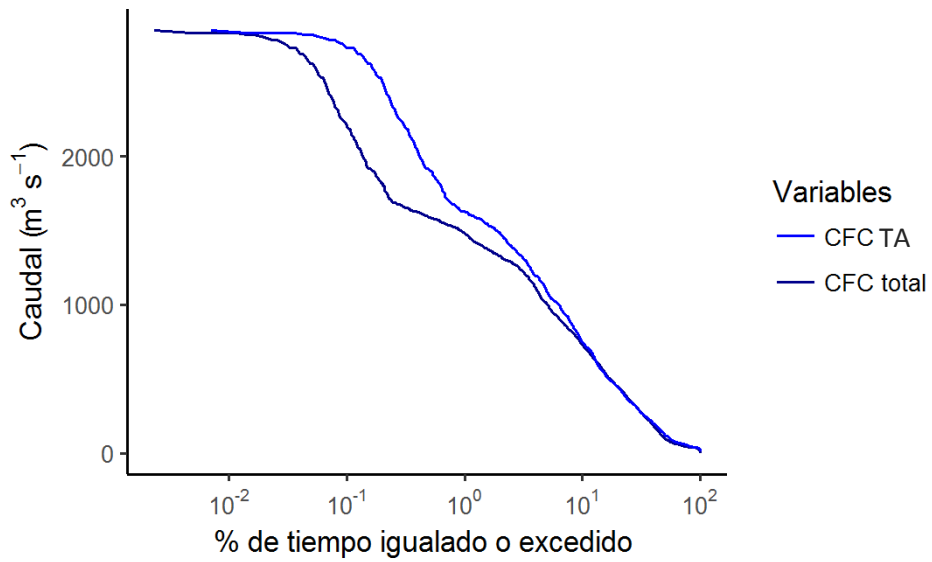


Figura 101. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A263 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 969 está activo (azul claro), ambas en el río Ebro en Gelsa

CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDAL ESTACION DE CALIDAD 970

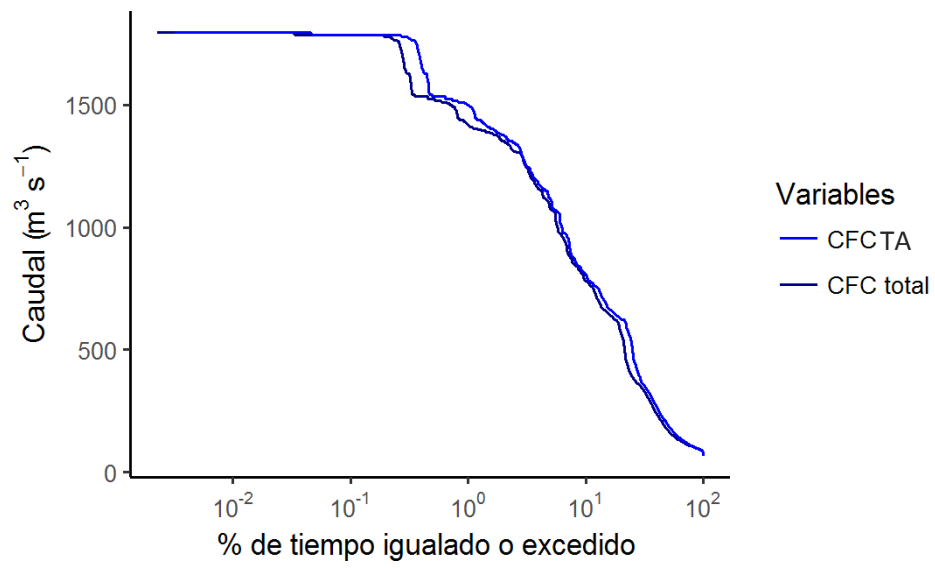


Figura 102. Curva de Frecuencia de Caudales (CFC) de la estación de aforo A027 (azul oscuro) y CFC de los caudales registrados mientras que el turbidímetro de la estación 970 está activo (azul claro), ambas en el río Cinca en Fraga Ebro en Tortosa

