

ESTUDIO DE MACRÓFITOS DEL EBRO MEDIO

Informe Final

Junio 2015



URS

URS España (United Research Services España, S.L. – Sociedad Unipersonal)
C/ Urgell, 143, 4ª planta
08036 – Barcelona
Tel. 934 571 793 Fax 934 589 684
Registro Mercantil Madrid Hoja M – 26150, Folio 84, Tomo 1403 General – C.I.F.: B-79951935
Sede Social: C/ Juan de Mariana 17B - 2ª Planta, 28045, Madrid, Spain.

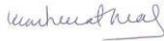
URS

URS España (United Research Services España, S.L. – Sociedad Unipersonal)
C/ Urgell, 143, 4ª planta
08036 – Barcelona
Tel. 934 571 793 Fax 934 589 684
Registro Mercantil Madrid Hoja M – 26150, Folio 84, Tomo 1403 General – C.I.F.: B-79951935
Sede Social: C/ Juan de Mariana 17B - 2ª Planta, 28045, Madrid, Spain.



Título del Informe: Estudio de Macrófitos del Ebro medio. Informe Final.
Proyecto nº: 46304024
Status: FINAL
Cliente (Persona de contacto): Concha Duran
Cliente: CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
Emitido por: URS España
 c/ Urgell, 143, 4º
 E-08036 Barcelona
 Tel. +34 93 457 1793
 Fax +34 93 458 9684

Supervisión del Documento

Edición nº:	Nombre	Firma	Fecha	Cargo
Preparado por:	Xavier Julià Jordi Cirera Olga Invers		10/06/2015	Técnicos especialistas
Comprobado por:	Montserrat Real Gloria González		11/06/2015	Consultor Senior
Aprobado por:	Xavier Julià		11/06/2015	Coordinador del Área de Limnología.

Revisiones del Documento

Edición nº	Fecha	Detalle de las Revisiones
1	Junio 2014	Edición original
2	Diciembre 2014	Edición revisada
3	Junio 2015	Segunda revisión

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	7
3. GENERALIDADES Y PROBLEMÁTICA DE LOS MACRÓFITOS FLUVIALES	8
3.1. Aspectos de la Biología de los macrófitos	8
3.2. Factores para el desarrollo de los macrófitos.....	8
3.3. Problemática de los macrófitos	11
4. ALCANCE METODOLÓGICO DEL ESTUDIO	13
4.1. Ámbito de estudio	13
4.2. Periodo de estudio	14
4.3. Recopilación de datos ambientales	14
4.3.1. Hidrología.....	14
4.3.2. Calidad fisicoquímica del agua	15
4.3.3. Calidad biológica.....	17
4.3.4. Procesos antropogénicos potencialmente relacionados con el desarrollo de los macrófitos.....	18
4.4. Trabajos de campo y metodología	21
4.4.1. Caracterización de macrófitos en el Ebro medio	21
4.4.2. Caracterización de macrófitos en otros tramos del Ebro y afluentes	22
4.4.3. Caracterización hidromorfológica del río Ebro en el tramo de estudio	23
4.5. Trabajos de análisis y tratamiento de datos	25
5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DATOS RECOPIRADOS	27
5.1. Caracterización hidrológica	27
5.1.1. Tramo medio del Ebro	27
5.1.2. Río Cinca – Tramo comparativo.....	40
5.2. Calidad fisicoquímica y biológica del agua	41
5.2.1. Variables fisicoquímicas y biológicas seleccionadas	41
5.2.2. Análisis de la evolución temporal de las variables fisicoquímicas y biológicas ..	45
5.2.3. Tendencias temporales detectadas.....	53

5.3.	Caracterización de los tramos según las variables físicoquímicas y el caudal	55
5.3.1.	<i>Caracterización según los datos recopilados de la red SAICA</i>	55
5.3.2.	<i>Caracterización según los datos recopilados de la red CEMAS</i>	56
5.4.	Calidad biológica	58
5.4.1.	<i>Variables seleccionadas</i>	58
5.4.2.	<i>Evolución temporal de la cobertura de macrófitos</i>	58
5.4.3.	<i>Evolución temporal del índice IVAM</i>	60
5.4.4.	<i>Composición y evolución temporal de la fauna ictiológica</i>	61
5.5.	Procesos antropogénicos potencialmente relacionados con el desarrollo de los macrófitos	68
5.5.1.	<i>Contaminación del agua y alteración morfológica del río por presencia de estructuras</i>	68
5.5.2.	<i>Alteraciones de las condiciones morfológicas del río: zona ribereña y cauce</i>	69
6.	RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE CAMPO	72
6.1.	Características hidrológicas	72
6.2.	Características físicoquímicas medidas <i>in situ</i>	73
6.3.	Características de la comunidad de macrófitos del Ebro medio	76
6.3.1.	<i>Inventario de especies</i>	76
6.3.2.	<i>Resultados del muestreo de macrófitos en el tramo medio del Río Ebro</i>	81
6.3.3.	<i>Análisis de coberturas de macrófitos en el tramo de Zaragoza</i>	90
6.4.	Estudio comparativo en otros tramos fluviales	92
6.4.1.	<i>Río Ebro – Tramo comparativo</i>	92
6.4.2.	<i>Río Cinca</i>	94
6.4.3.	<i>Comparación entre los tramos del río Ebro y del río Cinca</i>	96
7.	IDENTIFICACIÓN DE FACTORES RELACIONADOS CON EL DESARROLLO DE LOS MACRÓFITOS	98
7.1.	Influencia de las variables hidromorfológicas sobre la cobertura de macrófitos	98
7.1.1.	<i>Influencia de la velocidad del agua sobre la cobertura</i>	99
7.1.2.	<i>Influencia de la profundidad sobre la cobertura</i>	99
7.1.3.	<i>Influencia del tipo de sustrato sobre la cobertura</i>	100
7.1.4.	<i>Relación entre las variables hidromorfológicas en su conjunto, y la cobertura</i>	101
7.2.	Relación entre las variables físicoquímicas, el caudal y la cobertura de macrófitos	103

8. MEDIDAS DE CONTROL DE LOS MACRÓFITOS.....	108
8.1. Medidas basadas en la modificación del régimen de caudal	108
8.2. Medidas basadas en la reducción de las cargas de nutrientes	109
8.3. Medidas basadas en la interacción entre las comunidades biológicas	109
8.4. Propuesta de medidas de control de los macrófitos en el Ebro medio.....	110
8.5. Seguimiento del crecimiento de los macrófitos y de la efectividad de las actuaciones.....	112
9. SÍNTESIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	114
10. REFERENCIAS	120

ANEXOS

ANEXO 1. Planos

ANEXO 2. Tablas y Figuras

ANEXO 3. Reportaje fotográfico

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe ha sido redactado por URS para la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante, CHE), y recoge los resultados del “*Estudio de macrófitos del Ebro medio*” realizado entre los años 2012 y 2013, con número de Expediente 158/12-SNS.

La realización de este estudio está motivada por la necesidad de conocer los factores que han favorecido el crecimiento masivo de macrófitos en el Ebro medio, en los últimos años. Esto es de especial relevancia puesto que el aumento de la cobertura de macrófitos en el río lleva asociadas algunas problemáticas ambientales, entre las que destacan:

- La modificación del comportamiento hidráulico del río: reducción de la capacidad de desagüe, cambios en la dinámica erosión/sedimentación, etc.
- La necesidad de ejecutar operaciones de retirada de macrófitos para permitir actividades recreativas (navegación, pesca) y para facilitar la toma de agua para usos consuntivos (tomas de riego y/o abastecimiento).
- La proliferación de la mosca negra (*Diptera, Simuliidae*) y con ello los posibles problemas sanitarios derivados de la actividad hematófaga de las hembras. Los simúlidos crían en las aguas corrientes y el sustrato constituido por las matas de *Potamogeton pectinatus* permite su proliferación en los tramos medios y bajos de los ríos, cuando esta especie se instala en ellos.
- El posible empeoramiento del estado ecológico del río inducido por la pérdida de diversidad de hábitats acuáticos.

El estudio incluye la realización de un trabajo de campo extensivo, basado en la realización de recorridos entre mayo y septiembre de 2012 y en julio de 2013, por el tramo medio del río Ebro, entre la confluencia del río Jalón y la confluencia del río Ginel (Osera de Ebro), con objeto de caracterizar la comunidad de macrófitos en diferentes momentos de su periodo vegetativo (entre primavera y final de verano).

De forma complementaria se ha observado la presencia y cobertura de macrófitos en otros tramos fluviales, tanto del río Ebro como en uno de sus afluentes (río Cinca), con objeto de comparar las características hidromorfológicas, de calidad del agua y de las actividades antrópicas que pudieran tener una influencia directa o indirecta en el desarrollo masivo de los macrófitos sumergidos.

El informe incluye la recopilación y el análisis de información antecedente, la caracterización de la composición de macrófitos en el tramo medio del río Ebro, la identificación y el análisis de los posibles factores que influyen en el crecimiento y proliferación de macrófitos en el tramo medio del Ebro, así como una propuesta de medidas para el control de los macrófitos.

URS agradece al personal de la CHE su colaboración en la realización de los trabajos de campo, así como en la facilitación de toda la información relacionada con los caudales y de calidad del agua.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio es la diagnosis de los factores medioambientales que contribuyen al desarrollo de los macrófitos sumergidos en el tramo medio del río Ebro, así como la identificación del alcance espacial de los crecimientos en comparación con otros tramos del río Ebro y afluentes principales.

La consecución del objetivo principal se aborda a partir de:

- Recopilación de datos medioambientales y análisis de la serie histórica de variables hidrológicas, fisicoquímicas y biológicas que puedan contribuir al crecimiento de macrófitos.
- Caracterización de la composición y cobertura de macrófitos sumergidos en el río Ebro en Zaragoza en periodos significativos, y toma de datos *in situ* de variables fisicoquímicas.
- Caracterización de la composición y cobertura de macrófitos sumergidos en otros tramos fluviales del río Ebro y en uno de sus afluentes (el río Cinca), y toma de datos *in situ* de variables fisicoquímicas.
- Comparación de la cobertura y composición de macrófitos entre los distintos tramos fluviales del río Ebro y del río Cinca.
- Identificación de factores y tendencias que expliquen el desarrollo de macrófitos sumergidos en el tramo medio del río Ebro y afluentes.
- Elaboración de una propuesta de medidas para el control de los macrófitos en los tramos medios del Ebro y afluentes principales.

3. GENERALIDADES Y PROBLEMÁTICA DE LOS MACRÓFITOS FLUVIALES

En el capítulo se recogen los aspectos relevantes sobre la biología y factores ecológicos que influyen en el desarrollo de los macrófitos fluviales. También se recoge información sobre los efectos y la problemática que van asociados al crecimiento masivo de macrófitos en los cursos fluviales.

3.1. ASPECTOS DE LA BIOLOGÍA DE LOS MACRÓFITOS

El ciclo biológico de los macrófitos es muy diverso; en las zonas templadas su periodo de crecimiento suele abarcar entre mayo y septiembre (Best *et al.*, 2001), con la fase de senescencia en torno al mes de octubre (Gosselain *et al.*, 2005). Los factores ambientales y, en especial, la temperatura del agua, regulan las fases de reproducción y latencia. Durante los meses más fríos, los macrófitos permanecen en estado latente mediante sus órganos de resistencia. Éstos son:

- Semillas y esquejes (o fragmentos) que restan enterrados en el sedimento o en suspensión en la orilla del cauce.
- Órganos especializados tales como rizomas, estolones, tubérculos o brotes de hibernación que permiten la supervivencia de la planta cuando la temperatura del agua desciende o en situaciones de luz insuficiente (Barrat-Segretain, 1996).

Los macrófitos acuáticos pueden reproducirse de forma sexual o asexual, aunque generalmente muestran una mayor variedad de estructuras para la reproducción asexual, muchas de las cuales también sirven de reserva invernal o de mecanismo de dispersión (Barrat-Segretain, 1996). Sus mecanismos de dispersión pueden ser por tres vías: aérea, acuática o animal; la mayoría de especies son transportadas a través de la corriente de agua excepto algunas que se dispersan por vía animal o aérea (Barrat-Segretain, 1996), por ejemplo *Nymphoides peltata* o *Phragmites australis*, respectivamente.

3.2. FACTORES PARA EL DESARROLLO DE LOS MACRÓFITOS

Los principales factores, descritos en la bibliografía, que determinan la presencia, distribución y diversidad, y abundancia de los macrófitos sumergidos en los ríos (tramos medios y bajos:) son: el régimen hidrológico del río (p.e. caudal, frecuencia e intensidad de avenidas), la velocidad del agua, la disponibilidad de luz (dependiente de la transparencia y

profundidad), la disponibilidad de nutrientes, el tipo de sustrato, la competencia con otros productores primarios y la gestión del río (Ibáñez *et al.*, 2012a; Franklin *et al.*, 2008). El desequilibrio de las poblaciones de peces por la introducción de especies alóctonas puede también conllevar efectos sobre el desarrollo de los macrófitos.

Los efectos principales de los factores indicados sobre la presencia y abundancia de los macrófitos, se presentan a continuación:

- El **régimen hidrológico** del río influye en gran medida en la colonización y desarrollo de los macrófitos: en primer lugar, el efecto de arrastre de las avenidas causa una reducción de la población de macrófitos establecida, tanto más importante según sea la intensidad de las mismas, y en segundo lugar, el restablecimiento de los macrófitos dependerá de la frecuencia en la que se den las avenidas, ya que éstos necesitan un cierto tiempo de estabilidad hidrológica para su asentamiento y desarrollo (Frankin *et al.*, 2008; Riis y Biggs, 2003).
- La **velocidad del agua** es un factor importante en la regulación de la biomasa de los macrófitos, una vez establecidos (Riis y Biggs, 2003). En general, tanto la abundancia como la diversidad de los macrófitos aumentan con velocidades medias y bajas, mientras que su crecimiento se reduce a velocidades elevadas (Madsen *et al.*, 2001 y observaciones en el informe de la Agencia de Medio Ambiente y Sostenibilidad de Zaragoza, 2012). Así se han observado abundancias y diversidades bajas a velocidades superiores a 1 m s^{-1} (Chambers *et al.*, 1991; Barendregt and Bio, 2003, en Ibáñez *et al.* 2012a).
- La **calidad y cantidad (disponibilidad) de luz**, imprescindible para la fotosíntesis, son determinantes para el crecimiento y desarrollo de los macrófitos (Madsen *et al.*, 2001). La disponibilidad de luz está relacionada con la transparencia del agua y con la profundidad:
 - La transparencia está determinada por los sólidos en suspensión en el agua, de los que una parte son orgánicos (plancton) y otra son inorgánicos (sedimentos en suspensión). Las variaciones en la transparencia del agua, debidas a una mayor turbidez (por ejemplo, asociada a incrementos en el caudal) afectarán negativamente al desarrollo de macrófitos en el río.
 - La abundancia de los macrófitos se reduce con el aumento de la profundidad, al disminuir también la disponibilidad de luz. Esta relación se ha observado en el bajo Ebro, donde los macrófitos escaseaban a partir de 4 m de profundidad y desaparecían a los 6 m (Ibáñez *et al.*, 2012a).

- La **disponibilidad de nutrientes** (incremento) favorece, en general, el desarrollo de los macrófitos al estimular su crecimiento. Sin embargo, esta relación no es siempre clara, ya que este incremento puede beneficiar a otros organismos del sistema y provocar el efecto contrario sobre los macrófitos: un incremento de nutrientes puede conllevar la reducción de la disponibilidad de luz debido a la proliferación de fitoplancton o de algas epífitas, y con ello tener efectos negativos sobre los macrófitos (Madsen *et al.*, 2001).
- El **tipo de sustrato**, del que depende la distribución de las especies de macrófitos sumergidos (Madsen *et al.*, 2001 y otros trabajos citados en el mismo). El sustrato, desde el punto de vista del desarrollo de los macrófitos, cumple con una doble función:
 - Sirve de base de fijación al sistema: la capacidad de resistencia de las comunidades de macrófitos a las avenidas puede variar según el tipo de sustrato en el que estén instaladas, de forma que comunidades instaladas en sedimentos estables tendrían mayor capacidad de resistencia a avenidas de mayor intensidad y frecuencia.
 - Y en segundo lugar, el sedimento es también una fente importante de nutrientes, en el caso de los macrófitos enraizados, de tal manera que modificaciones en el tipo de sedimento pueden implicar cambios en la productividad de estas plantas (Madsen *et al.*, 2001).
- **Competencia con otros productores primarios**. Los macrófitos pueden entrar en competencia por la luz con el fitoplancton, algas epífitas u otros macrófitos, y por el espacio con otros macrófitos lo que determinará la distribución y abundancia de las distintas especies de macrófitos.
- El **desequilibrio de la comunidad de peces** por introducción de especies alóctonas depredadoras (como las introducidas ilegalmente en embalses del bajo Ebro y en el propio río) puede favorecer el desarrollo de los macrófitos. Esto vendría dado por el desplazamiento o eliminación de poblaciones locales de ciprínidos autóctonos, que se alimentan, al menos en las fases alevines o juveniles, de zooplancton de pequeña talla. Esto favorecería el desarrollo del zooplancton de mayor tamaño (cladóceros), que tiene mayor capacidad de filtración del fitoplancton lo que podría resultar en un incremento de la transparencia del agua y con ello se favorecería el crecimiento de los macrófitos.

3.3. PROBLEMÁTICA DE LOS MACRÓFITOS

Se ha observado que la proliferación de macrófitos en un sistema acuático fluvial tiene efectos sobre: aspectos hidrodinámicos y morfológicos, características fisicoquímicas del agua, y de las comunidades biológicas, así como sobre los usos y recursos que se generan en el mismo. Algunos de los efectos son:

- La hidrodinámica fluvial se ve afectada por las proliferaciones de macrófitos, ya que éstas pueden causar una pérdida significativa de la capacidad de desagüe del río, que se traduce en sobre-elevaciones del nivel del agua en situaciones de crecida, aumentando el riesgo de desbordamientos y de daños colaterales a terrenos, poblaciones e infraestructuras ribereñas.
- El desarrollo masivo de macrófitos altera las características fisicoquímicas del agua (temperatura, penetración de la luz, dinámica de nutrientes, concentración de oxígeno disuelto, etc.), lo que puede inducir modificaciones de la composición de las comunidades biológicas, y afectar la productividad del sistema acuático (Carr *et al.*, 1997; Newman, 2004).

Entre los cambios fisicoquímicos que la proliferación de macrófitos puede provocar en el agua, está su efecto sobre el nivel de oxigenación del agua, y en especial sobre la variación día-noche del mismo. Así, en las horas centrales del día los macrófitos favorecen situaciones de sobresaturación de oxígeno disuelto en el agua, como resultado de su actividad fotosintética; no obstante, por la noche, esta misma biomasa consume cantidades de oxígeno por respiración, que se suman a la de las formas de vida heterótrofa del río, dando lugar a descensos acusados de la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Esto puede limitar la presencia de determinadas especies de peces (o del zoobentos) en zonas de agua poco renovadas. Un ejemplo de lo mencionado anteriormente son las proliferaciones de *Myriophyllum spicatum*, que pueden alterar la calidad del agua incrementando el pH, contribuyendo a la disminución de la concentración de oxígeno disuelto por debajo de las matas y aumentando la temperatura del agua.

Además, al finalizar la etapa de crecimiento se produce la descomposición de la biomasa e incrementa el intercambio de fósforo y nitrógeno con la columna de agua. Los macrófitos también contribuyen a la sedimentación de la carga sólida del río, a partir de la disminución de la velocidad del agua.

- El aumento de los macrófitos induce cambios sobre las comunidades de los productores secundarios, y en general pueden darse aumentos de las especies de invertebrados fitófagos y filtradores. Un ejemplo es el aumento de las poblaciones de mosca negra (*Simuliidae*) en ríos en los que prolifera *Potamogeton pectinatus*; esta especie proporciona un sustrato muy adecuado a las larvas de mosca negra las cuales son filtradoras. En todo caso se observan modificaciones en la estructura trófica del sistema y, en general, la diversidad de las comunidades de invertebrados bentónicos se reduce.
- La presencia de grandes masas de macrófitos tiene efectos negativos sobre las infraestructuras de captación de agua. Debido a la estacionalidad del ciclo biológico, los macrófitos se desprenden de forma continuada en cantidades limitadas, desde la primavera hasta el otoño y son arrastrados por la corriente hasta depositarse en zonas del cauce y en las tomas de captación, lo que requiere la realización de tareas de vigilancia y limpieza. Esto es especialmente relevante, al final del ciclo biológico de las especies, ya que se produce una senescencia masiva, que origina una biomasa abundante que puede llegar a taponar los sistemas de captación de agua existentes (tomas de riego, industriales o de abastecimiento urbano), además de depositarse en zonas de poca corriente dentro del río (ensenadas, meandros, etc.) (lo que puede generar problemas de olores y estéticos relacionados con su descomposición).
- La navegación fluvial puede verse dificultada o, en algunos casos, imposibilitada, por la existencia de grandes masas de macrófitos. Esto es debido a su presencia en sí, pero también a causa de la mayor sedimentación en la zona, facilitada por la reducción de la velocidad del agua (que favorece la abundancia de macrófitos).
- El desarrollo masivo de macrófitos puede alterar el paisaje debido al cambio de coloración que supone su presencia, adquiriendo un color verde intenso, como en el caso del macrófito flotante *Lemna minor* (lenteja de agua), o incluso adquiriendo tonalidades rojas-amarillas, en el caso de un desarrollo masivo de *Azolla*.

En general, cabe señalar que cuando una comunidad de macrófitos está bien establecida y domina todo el ambiente es prácticamente imposible de erradicar.

4. ALCANCE METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

4.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio se centra en el tramo medio del río Ebro, entre la confluencia del río Jalón (Torres de Berrellén) y la confluencia del río Ginel (Osera de Ebro), que abarca una longitud aproximada de 71,8 km. Incluye la totalidad de las siguientes masas de agua definidas por la CHE: nº 452 (río Ebro desde Jalón hasta el río Huerva), nº 453 (río Ebro desde el río Huerva hasta el río Gállego) y nº 454 (río Ebro desde el río Gállego hasta el río Genil) (**Plano 1, Anexo 1**).

Los tramos fluviales que han servido de base para la comparación de la abundancia de macrófitos son: el río Ebro entre Osera de Ebro y Sástago, que incluye la masa de agua nº 455 (río Ebro desde el río Ginel hasta el río Aguas Vivas) y parte de la nº 456 (río Ebro desde el río Aguas Vivas hasta el río Martín), y el río Cinca desde Zaidín hasta la confluencia con el Segre, que incluye la masa de agua nº 441 (río Cinca desde el río Clamor II Amarga hasta su desembocadura en el río Segre) y parte de la nº 438 (río Cinca desde el río Clamor I de Fornillos hasta el río Clamor II Amarga) (**Plano 1.2 y 1.3, Anexo 1**).

En la **Tabla 1** se presenta los datos de localización y codificación de los tramos de estudio.

Tabla 1. Tramos fluviales objeto de estudio

	Nombre	UTM Inicial (ED50, Huso 30)		UTM Final (ED50, Huso 30)		Longitud (km)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
Tramo de estudio						
Ebro, desde la confluencia del Jalón hasta Osera de Ebro	Tramo 1 (T1)	661.213	4.627.144	701.792	4.601.076	71,8
Tramos comparativos						
Ebro, desde Pina de Ebro a Sástago	Tramo 2 (T2)	701.815	4.600.981	721.972	4.578.274	51,1
Cinca, desde Zaidín a confluencia con río Segre	Tramo 3 (T3)	271.829	4.609.008	278.575	4.590.078	25,1

4.2. PERIODO DE ESTUDIO

Los trabajos de campo se realizaron durante la primavera-verano de 2012 en tres campañas (mayo, julio y septiembre). Se realizó una campaña adicional en julio de 2013, en cuanto los caudales fueron los adecuados para llevar a cabo el trabajo de campo, después de meses de caudales elevados. En la **Tabla 2** se detallan las fechas de las campañas.

Tabla 2. Campañas realizadas durante el periodo de estudio. Se detallan el tramo de estudio, y las fechas en las que se llevaron a cabo.

Nombre del tramo	Código	Campaña	Fechas de campaña
Tramo de estudio	T1	Mayo 2012	14-15/05/12
		Julio 2012	26-27/07/12
		Septiembre 2012	13-14/09/12
		Julio 2013	22-24/07/13
Tramo comparativo del Ebro	T2	Septiembre 2012	19-20/09/12
Tramo comparativo del Cinca	T3	Octubre 2012	1-2/10/12

4.3. RECOPIACIÓN DE DATOS AMBIENTALES

Se ha realizado una tarea de identificación y recopilación de información ambiental en el ámbito de la CHE, con objeto de analizar ésta y extraer, en la medida de lo posible, los factores determinantes del desarrollo masivo de macrófitos observado en el tramo medio del río Ebro en los últimos años. La información recopilada incluye: datos hidrológicos, de calidad fisicoquímica y biológica del agua, de las comunidades biológicas, y de las presiones antropogénicas.

4.3.1. Hidrología

Se han recopilado los datos disponibles de caudal medio diario de los últimos 20 años para cada tramo de estudio. Los datos más recientes se han obtenido de la red SAIH de la CHE, y los registros históricos se han descargado del anuario de aforos del CEDEX.

En el tramo comparativo del Ebro entre Pina de Ebro y Sástago no se han encontrado datos recientes de estaciones de aforo, por lo que se utilizarán los mismos datos de caudal del tramo medio del Ebro.

El listado de las estaciones de aforo seleccionadas, así como el periodo utilizado, se muestra en la **Tabla 3**, y la situación espacial en el **Plano 2** del **Anexo 1**.

Tabla 3. Estaciones de aforo y periodo seleccionado.

Datos foronómicos					
Código	Red	Nombre	Fecha inicial	Fecha final	Tramo Estudio
9011	Clásica	Ebro en Zaragoza	01/01/1980	30/09/2008	Ebro medio
A011	SAIH	Ebro en Zaragoza	01/10/2008	31/12/2013	
9017	Clásica	Cinca en Fraga	01/01/1980	30/09/2007	Cinca
A017	SAIH	Cinca en Fraga	01/10/2007	31/12/2012	

4.3.2. Calidad fisicoquímica del agua

Los datos de calidad fisicoquímica del agua se han recopilado a partir de la consulta de datos de la Red de Alerta de la calidad del agua y de las redes de vigilancia y control operativo del estado ecológico de las masas de agua superficiales (CEMAS).

Red de Alerta de la Calidad del Agua (proyecto SAICA)

En los tramos de estudio se han seleccionado las estaciones de la Red de Alerta de Calidad del Agua (Proyecto SAICA) (**Tabla 4, y Plano 2** del **Anexo 1**). Los datos se han descargado de la web de la CHE.

Tabla 4. Estaciones de la Red de Alerta de la Calidad del Agua seleccionadas.

Red de Alerta de Calidad - Proyecto SAICA					
Código	Nombre	Variables	Fecha inicial	Fecha final	Tramo Estudio
909	Ebro Zaragoza-La Almozara	Temperatura (°C)	01/01/1996	31/12/2012	Ebro tramo medio
		Turbidez (NTU)	01/01/1996	31/12/2012	
		CE 20°C (µS/cm)	01/01/1996	31/12/2012	
		pH	01/01/1996	31/12/2012	
		NH ₄ (mg/L)	01/01/1996	31/12/2012	
		Oxígeno disuelto (mg/L)	01/01/1996	31/12/2012	
930	Ebro en Cabañas	Temperatura (°C)	12/07/1999	31/12/2012	
		Turbidez (NTU)	12/07/1999	31/12/2012	
		CE 20°C (µS/cm)	12/07/1999	31/12/2012	
		pH	12/07/1999	31/12/2012	
		NH ₄ (mg/L)	12/07/1999	31/12/2012	
		Oxígeno disuelto (mg/L)	12/07/1999	31/12/2012	
905	Ebro en presa de Pina	Temperatura (°C)	14/08/1996	31/12/2012	Ebro tramo comparativo
		Turbidez (NTU)	22/07/1996	31/12/2012	
		CE 20°C (µS/cm)	14/08/1996	31/12/2012	
		pH	14/08/1996	31/12/2012	
		NH ₄ (mg/L)	25/09/1996	31/12/2012	
		NO ₃ (mg/L)	10/06/1999	31/12/2012	
		PO ₄ (mg/L)	30/12/2010	31/12/2012	
		Oxígeno disuelto (mg/L)	14/08/1996	31/12/2012	
		Absorbancia 254nm	11/11/2010	31/12/2012	
916	Cinca - Monzón	Temperatura (°C)	01/01/1996	31/12/2012	Tramo comparativo Cinca
		Turbidez (NTU)	12/01/1996	31/12/2012	
		CE 20°C (µS/cm)	15/01/1996	31/12/2012	
		pH	15/01/1996	31/12/2012	
		NH ₄ (mg/L)	01/01/1996	31/12/2012	
		Oxígeno disuelto (mg/L)	01/01/1996	31/12/2012	

Red de Vigilancia y Red de Control Operativo

Las estaciones de la red CEMAS seleccionadas se muestran en la **Tabla 5**. Forman parte de la Red de Vigilancia de Ríos y/o del Control Operativo en Ríos. La situación espacial de las estaciones se indica en el **Plano 2** del **Anexo 1**. Las variables fisicoquímicas recopiladas fueron: temperatura, sólidos en suspensión (MES), conductividad eléctrica, iones mayoritarios (sulfatos, calcio, cloruros, sodio), y las variables relacionadas con las

condiciones de acidificación (alcalinidad, pH), nutrientes (nitratos, fosfatos, fósforo total) y condiciones de oxigenación (oxígeno disuelto, DBO₅ y DQO).

Tabla 5. Estaciones CEMAS y parámetros seleccionados.

TRAMO	M.A.	Punto	Tipo	Lugar	Red CEMAS
T1 - Ebro tramo medio	452	0657	BIO FQ	Zaragoza - La Almozara	Red Control Operativo en Ríos - Red Vigilancia
	454	0211	BIO FQ PEC SED	Ebro en Presa de Pina	Red Control Operativo en Ríos
T2 - Ebro tramo comparativo	455	0592	BIO FQ	Ebro en Pina de Ebro	Red Control Operativo en Ríos - Red Vigilancia
		0590	BIO FQ	Ebro en Escatrón	Red Control Operativo en Ríos
Cinca - Tramo comparativo	441	0017	BIO FQ	Cinca en Fraga	Red Control Operativo en Ríos - Red Vigilancia

4.3.3. Calidad biológica

Respecto a calidad biológica, se han recopilado datos sobre los elementos de calidad utilizados para la evaluación del estado ecológico en ríos, en aplicación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) en la Demarcación Hidrográfica del Ebro:

- Composición y abundancia de la flora acuática (índice IVAM y porcentaje de cobertura de macrófitos) (datos de la red CEMAS).
- Composición y abundancia de la fauna ictiológica: datos de la base de datos IBIMED, de la red CEMAS, de la Red de Control de Sustancias Peligrosas (RCSP).

Además, dada la influencia del fitoplancton sobre la transparencia del agua y, en consecuencia, sobre el desarrollo de los macrófitos en el río Ebro (Ibáñez et al., 2012b), en este trabajo se han recopilado datos de clorofila-a planctónica, obtenidos en el marco del Acuerdo de Colaboración entre la C.H. del Ebro y el *Grup de recerca en ecologia aquàtica continental* (GRECO) de la *Universitat de Girona*, dirigido por el Dr. Sergi Sabater.

En la tabla siguiente se indica, para cada variable biológica, la fuente de los datos, dónde se obtuvieron (tramo y estación), así como el periodo al que corresponden.

Tabla 6. Elementos de calidad de los que se ha recopilado información. Se indica, cuando procede, el índice o métrica utilizados para su evaluación. Se presenta también la fuente de los datos, el tramo, la estación y el periodo de tiempo al que corresponden. CHE: Confederación Hidrográfica del Ebro; UdG: Universitat de Girona.

Elemento de calidad	Índice / métrica	Fuente	Tramo	Estación	Periodo
Macrófitos	IVAM	red CEMAS	T1	La Almozara	2008-2012
				Presa de Pina	2008-2010
				Burgo de Ebro	2007-2012
			T2	Pina de Ebro	2007-2011
				Escatrón	2006, 2011
				T3	Cinca-Fraga
	% Cobertura	red CEMAS	T1	La Almozara	2011-2012
				Presa de Pina	2011-2012
			T2	Burgo de Ebro	2011-2012
				Pina de Ebro	2011
T3	Escatrón	2011			
	Cinca-Fraga	2011-2012			
Fitoplancton*	Clorofila a	CHE , UdG	T1-T2	Todas las disponibles	2005-2013
Peces	IBIMED	CHE	T1, T2, T3	Todas las disponibles	2005, 2007
	--	red CEMAS	T1	Presa de Pina	1994-2012
			T3	Cinca-Fraga	1992-2011
	--	RCSP	T1	Presa de Pina	2002-2013
			T3	Cinca-Monzón	2002-2013

* El fitoplancton no se considera en la evaluación del estado ecológico en las masas de agua río. Sin embargo, se incluye en este estudio debido a que las características del río Ebro en el tramo medio (anchura y velocidad del agua no muy rápida) permiten un crecimiento significativo de fitoplancton.

4.3.4. Procesos antropogénicos potencialmente relacionados con el desarrollo de los macrófitos

Se ha recopilado información sobre procesos antropogénicos que se dan en el tramo medio del Ebro y que pueden, potencialmente, interaccionar con el desarrollo de los macrófitos sumergidos en la zona. Estos procesos están relacionados con:

- El incremento de nutrientes en el agua (por contaminación), que podría estimular el crecimiento de los macrófitos.
- Alteraciones de la morfología del río por presencia de estructuras en su cauce, que modifican, el régimen hidrológico general (grandes presas) y de forma local (azudes, canalizaciones, etc.), las características hidrológicas del tramo fluvial lo que puede influir en el desarrollo de las plantas.
- Las condiciones morfológicas de los márgenes y del cauce, relacionados con la estructura de la zona ribereña y del sustrato del río; cambios en estas condiciones también pueden influir en la proliferación de macrófitos al variar la disponibilidad de luz o del tipo de sustrato.

4.3.4.1. Contaminación del agua y alteraciones morfológicas del río por presencia de estructuras.

Los dos primeros tipos de procesos (contaminación y alteración morfológica del río) se contemplan en el análisis de presiones e impactos (documento IMPRESS) realizado por la CHE en aplicación de la Directiva Marco del Agua. Estos procesos, o presiones, se evaluaron en los ejercicios IMPRESS realizados en 2006 y en 2010, actualizados y/o ampliados en 2007-2009 y 2012, respectivamente.

La presión por contaminación se evaluó a partir de datos sobre: la contaminación puntual (vertidos biodegradables urbanos e industriales, vertidos de núcleos no saneados, autorizaciones de vertido de sustancias peligrosas y autorizaciones ambientales integradas - IPCC) y de la contaminación difusa (con datos acerca de usos agrícolas, ganaderos, urbanos, zonas mineras y vías de comunicación).

La alteración morfológica del río se evaluó a partir del análisis de la presencia de estructuras longitudinales y transversales en el río.

La fuente de información sobre la evaluación de las presiones identificadas en las masas de agua incluidas (total o parcialmente) en los tramos de estudio se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 7. Fuente de información sobre las presiones por contaminación puntual, difusa y alteraciones morfológicas del cauce del río para cada masa de agua incluidas (total o parcialmente) en los tramos de estudio. T1: tramo medio del Ebro; T2: tramo comparativo del Ebro; T3: tramo comparativo del Cinca.

Tramo	Masa de agua	Fuente de información
T1	452 Río Ebro desde el río Jalón hasta el río Huerva.	Informes IMPRESS 2009 y 2012 (CHE)
	453 Río Ebro desde el río Huerva hasta el río Gállego	Informes IMPRESS 2007 y 2012 (CHE)
	454 Río Ebro desde el río Gállego hasta el río Ginel	Informes IMPRESS 2009 y 2012 (CHE)
T2	455 Río Ebro desde el río Ginel hasta el río Aguas Vivas	Informes IMPRESS 2009 y 2012 (CHE)
	456 Río Ebro desde el río Aguas Vivas hasta el río Martín	Informes IMPRESS 2009 y 2012 (CHE)
T3	441 Río Cinca desde la Clamor Amarga hasta su desembocadura en el río Segre	Informes IMPRESS 2009 y 2012 (CHE)
	438 Río Cinca desde el río Clamor I de Fornillos hasta el río Clamor II Amarga	Informes IMPRESS 2007 y 2012 (CHE)

4.3.4.2. Cambios en las condiciones morfológicas del río

Se recopilaron datos morfológicos de la zona ribereña y del lecho del río, procedentes de la aplicación de los índices QBR e IHF, respectivamente- Los datos recopilados proceden de la red CEMAS (estaciones de muestreo y periodo en la tabla siguiente):

Tabla 8. Índice o métrica utilizada para evaluar las variables relacionadas con las condiciones morfológicas del río recopiladas. Se presenta también la fuente de los datos, el tramo, la estación y el periodo de tiempo al que corresponden.

	Índice / métrica	Fuente	Tramo	Estación	Periodo
Estado de la zona ribereña	QBR	red CEMAS	T1	La Almozara	2008-2011
				Presa de Pina	2008-2011
				Burgo de Ebro	2007-09, 2011-12
			T2	Pina de Ebro	2007-2012
				Escatrón	2006, 2009, 2011-12
				T3	Cinca-Fraga
Estructura y sustrato del lecho del río	IHF	red CEMAS	T1	La Almozara	2008-2012
				Presa de Pina	2008-2010
				Burgo de Ebro	2007-09, 2011-12
			T2	Pina de Ebro	2007-2012
				Escatrón	2006, 2011-12
			T3	Cinca-Fraga	2008-2012

Otra fuente de modificación de la morfología del cauce, a tener en cuenta, es el dragado del río que se realiza periódicamente en el tramo medio del Ebro para facilitar la navegación en la zona de Zaragoza (desde la zona del recinto de Exposición Internacional de Zaragoza hasta el puerto fluvial situado aguas abajo del Puente de las Fuentes). Este tipo de intervenciones además de suponer cambios en la hidromorfología fluvial, lleva asociadas posibles afecciones a la calidad del agua (pérdida de transparencia por el arrastre de sedimentos o cambios locales en la disponibilidad de nutrientes procedentes del sedimento al removerlo, entre otros). No obstante la evaluación de los efectos de los dragados no se ha desarrollado en el presente estudio puesto que para cada actuación se requiere la realización de un estudio específico.

4.4. TRABAJOS DE CAMPO Y METODOLOGÍA

4.4.1. Caracterización de macrófitos en el Ebro medio

Los trabajos de caracterización de los macrófitos consistieron en la realización de un recorrido por el cauce del tramo medio del Ebro (Tramo 1, entre la desembocadura del río Jalón y Osera) en 3 periodos significativos, en los meses de mayo, julio y septiembre de 2012. Los recorridos se llevaron a cabo en una embarcación neumática a motor, desde la que se realizaron las observaciones de presencia, estado y cobertura (en %) de macrófitos en 117 secciones transversales de referencia.

Las secciones transversales se escogieron en base a la presencia significativa de macrófitos sumergidos, y se georreferenciaron con GPS para asegurar la comparación de los resultados respecto a campañas de control futuras.

En los tramos comprendidos entre las secciones transversales se anotó la cobertura de macrófitos en porcentaje (%), además de identificar las especies más importantes. La localización geográfica de las secciones, así como los datos de cobertura, puntual y entre secciones, se muestran en la **Tabla 2** del **Anexo 2**.

La variación temporal de la cobertura puntual de macrófitos (observada en cada sección) y de la observada entre secciones se testaron aplicando análisis estadísticos de comparación de medias (análisis de la varianza, ANOVA) y test *post hoc* de Tukey.

En algunos puntos se midió la conductividad eléctrica y la temperatura del agua, así como la transparencia del agua mediante la profundidad de visión del disco de Secchi. En la **Tabla 1** del **Anexo 2** se muestran los métodos limnológicos aplicados al proyecto.

En julio de 2013 se realizó una cuarta campaña, después de un largo periodo de caudales elevados, en la que se obtuvieron medidas de cobertura de macrófitos en los mismos puntos estudiados en 2012, y se caracterizó la hidromorfología del cauce del río en secciones de especial interés (secciones que presentaron las coberturas máximas, mínimas o constantes a lo largo del verano de 2012).

4.4.2. Caracterización de macrófitos en otros tramos del Ebro y afluentes

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos en los trabajos realizados en el tramo medio del Ebro (Tramo 1), se realizaron recorridos en dos tramos seleccionados: aguas abajo del tramo del Ebro estudiado (Tramo 2), y en el río Cinca (Tramo 3) (ver **Tabla 1**). Estos recorridos se realizaron en septiembre-octubre, en la misma época que se llevó a cabo la tercera campaña en el tramo de estudio del Ebro.

La metodología de trabajo aplicada en los tramos comparativos fue la misma que la usada en el Ebro medio. Se tomaron datos en 45 secciones transversales en el tramo del Ebro y 27 en el tramo del Cinca. Como en el tramo medio del Ebro, las secciones transversales se escogieron en base a la presencia significativa de macrófitos sumergidos, y se georreferenciaron con GPS. Asimismo, en los tramos entre dos secciones se anotó la cobertura de macrófitos en porcentaje (%), además de identificar las especies más

importantes. La localización geográfica de las secciones, así como los datos de cobertura, puntual y entre secciones, se muestran en las **Tablas 3 y 4** del **Anexo 2**.

Las diferencias de abundancia de macrófitos entre tramos se testaron estadísticamente con un test de comparación de medias (análisis de la varianza, ANOVA) y un test *post hoc* de Tukey (para tamaños muestrales -n- distintos).

En algunos puntos se midió la conductividad eléctrica y la temperatura del agua, así como la transparencia del agua mediante la profundidad de visión del disco de Secchi (ver métodos en **Tabla 1** del **Anexo 2**).

4.4.3. Caracterización hidromorfológica del río Ebro en el tramo de estudio

Las características hidromorfológicas locales del tramo fluvial pueden influir de forma importante en el desarrollo de los macrófitos sumergidos. Con el objetivo de testar este efecto en el tramo de estudio del río Ebro, en julio de 2013 se realizó una campaña en la que se caracterizó la hidromorfología local del cauce en secciones de especial interés, seleccionadas por la evolución de la cobertura de macrófitos a lo largo del verano de 2012. Las secciones escogidas fueron aquellas que presentaron coberturas máximas, mínimas o constantes durante ese periodo.

Las secciones seleccionadas y el criterio de selección aplicado se muestran en la **Tabla 9**. La localización de cada una de las secciones en el tramo de estudio se pueden observar en el **Plano 3.1** del **Anexo 1**.

Tabla 9. Secciones seleccionadas para la medida de variables hidromorfológicas del cauce del río, en función del grado de cobertura por macrófitos durante el verano de 2012. Se muestra también el criterio de selección.

Criterio de selección	Secciones
Cobertura máxima	2, 5, 6, 16, 20, 25, 32, 34, 36, 42, 46, 51, 54, 57, 76, 88, 89, 91, 99, 113
Cobertura mínima	10, 14, 18, 59, 67, 68, 70, 78, 80, 82
Cobertura constante	35, 39, 56, 84, 93

Las variables medidas fueron:

- Velocidad del agua, que se midió en distintos puntos de cada sección (margen derecho, izquierdo y en el centro). La velocidad del agua se midió mediante un correntímetro de molinete hidráulico (*General Oceanics* modelo 2030).
- Profundidad de la columna del agua, medida en intervalos regulares a lo largo de cada sección transversal del río, con la que se construyó el perfil batimétrico de las mismas. A partir de estos datos se obtuvo también la profundidad en el punto de observación de la presencia de macrófitos a lo largo del tiempo. Los perfiles batimétricos se presentan en las **Figuras 1, 2 y 3** del **Anexo 2**.
- Tipo de sustrato, valorado visualmente entre los siguientes: bloques, cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas. Para cada tipo se asignó un tamaño medio de partícula (**Tabla 10**). Finalmente, debido a que el sustrato presente en una sección determinada era, en la mayoría de los casos, una mezcla de tipos, el tamaño de partícula resultante para una sección se calculó como el promedio de los tamaños medios de partícula de los tipos de sustratos presentes en aquella sección.

La relación entre estas variables y la cobertura de macrófitos se testó a partir del cálculo de regresiones y por medio de un análisis de redundancia (RDA). Los programas estadísticos utilizados fueron: PAST (regresiones) y CANOCO (RDA).

Tabla 10. Tipo de sustrato y rango de tamaño de partícula correspondiente. Se muestra también el tamaño promedio de partícula para cada tipo de sustrato.

Tipo de sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Tamaño medio de partícula (mm)
Arcillas	< 0,002	0,002
Limos	0,002-0,06	0,031
Arenas	0,06-2	1,03
Gravas	2-60	31
Cantos rodados	60-250	155
Bloques	>250	250

4.5. TRABAJOS DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS

Entre los factores descritos en el **apartado 3.2**, se han seleccionado los que se estima que deben influir mayormente en el crecimiento de los macrófitos sumergidos en los tramos de estudio. Éstos son:

- Caudal
- Velocidad del agua
- Temperatura
- Disponibilidad de luz (transparencia y profundidad)
- Tipo de sustrato
- Contenido de nutrientes (amonio, nitratos y fosfatos) del agua.

La relación entre estos factores o variables y la presencia de macrófitos se ha testado aplicando diferentes análisis estadísticos: regresiones (principalmente lineales, R^2) y RDA (**Tabla 11**).

Tabla 11. Análisis estadísticos aplicados para determinar la relación existente entre la abundancia de macrófitos y distintos factores o variables que influyen en su proliferación y crecimiento. Se especifica la relación que se testa, las variables consideradas, el origen de los datos utilizados y el tramo al que se refieren.

Relación testada	Tramo	Datos	Variables	Análisis estadístico
Cobertura de macrófitos y variables hidromorfológicas	1	Medidos en este estudio	Hidromorfológicas: velocidad del agua, profundidad y sustrato	Regresión (R^2)
Cobertura de macrófitos y variables hidromorfológicas	1	Medidos en este estudio	Hidromorfológicas: velocidad del agua, profundidad y sustrato	Análisis de redundancia (RDA)
Cobertura de macrófitos, caudal y variables fisicoquímicas; diferencias entre tramos	1,2,3	Medidos en este estudio y/o recopilados	Cobertura Caudal Fisicoquímicas (red SAICA y CEMAS)	Análisis de redundancia (RDA)

Los datos de caudal, nutrientes y disponibilidad de luz (turbidez y sólidos en suspensión) se recopilaron, tal y como se explica en el [apartado 4.3](#), de la consulta de bases de datos de la CHE y del CEDEX. En el caso de la velocidad del agua, disponibilidad de luz (profundidad) y composición del sustrato, los datos corresponden a valores obtenidos durante la campaña de julio de 2013 en las secciones seleccionadas del tramo de estudio ([apartado 4.4](#)).

5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DATOS RECOPIRADOS

En este capítulo se presentan los resultados del análisis y evaluación de los datos recopilados (**Apartado 4.3.**), sobre la hidrología, calidad fisicoquímica del agua, calidad biológica, caracterización morfológica y sobre aspectos relacionados con presiones antropogénicas de los tramos de estudio.

5.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

5.1.1. Tramo medio del Ebro

El régimen hidrológico del río Ebro en Zaragoza es de tipo nivo-pluvial, con caudales máximos en los meses de invierno y primavera, y mínimos en los meses de verano (**Figura 1**).

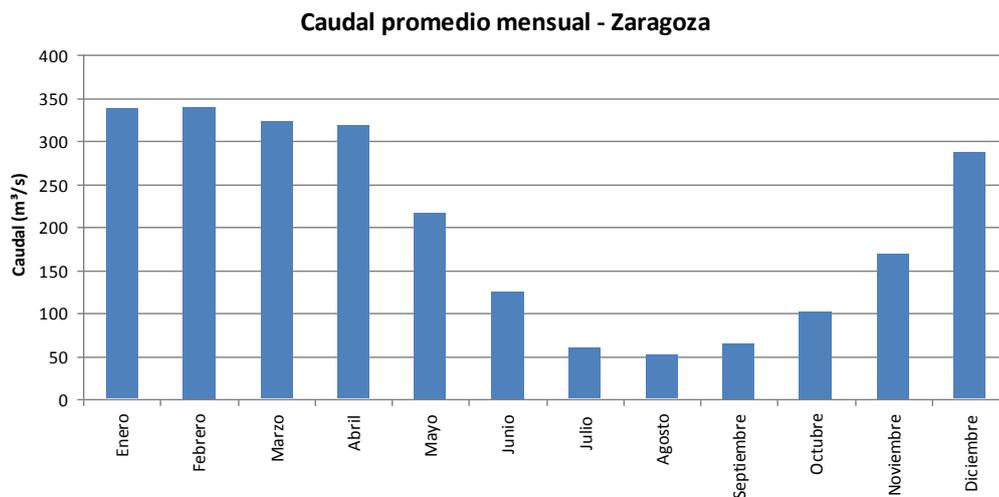


Figura 1. Caudal promedio mensual del río Ebro en Zaragoza en el periodo 1980-2013.

El caudal promedio anual, entre los años 1980 y 2013 ha sido de 198,9 m³/s (**Figura 2**). En los años 2011 y 2012 el caudal promedio anual fue de 122,1 m³/s y 115,1 m³/s respectivamente, lo que representa en torno al 60% del caudal promedio anual.

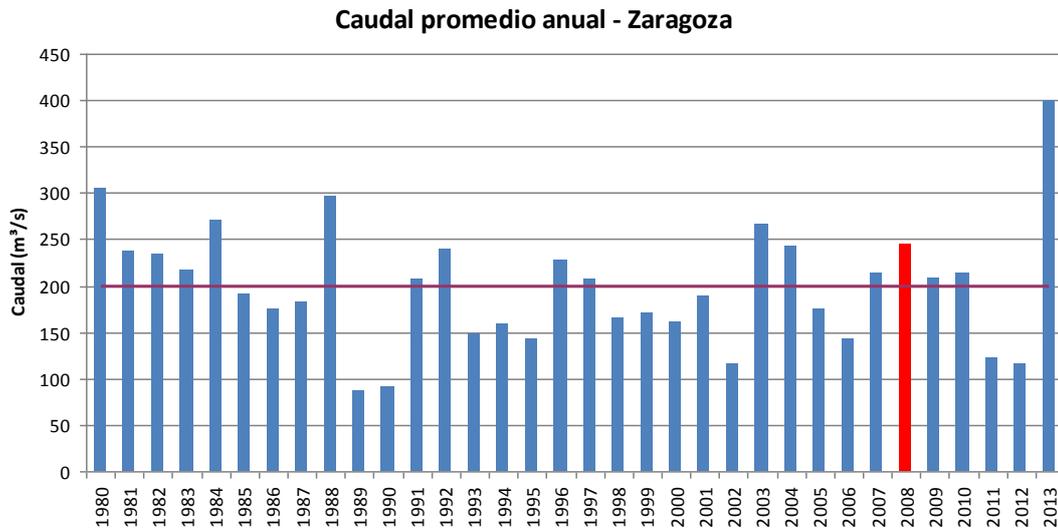


Figura 2. Caudal medio anual del río Ebro en Zaragoza. En rojo: año incompleto. La línea indica el caudal medio anual del periodo.

La variación del caudal medio mensual en la serie analizada (entre 1980-81 y 2012-13), para cada uno de los meses del año se presenta en la **Figura 3**. Se observa:

- En los meses de invierno existe una cierta tendencia a la disminución del caudal en la serie temporal, en los meses de octubre, noviembre y diciembre (e incluso enero) y una tendencia al incremento del caudal en febrero (e incluso marzo).
- En los meses de primavera, el caudal tiende a disminuir en la serie temporal en abril, se mantiene en mayo y aumenta ligeramente en junio.
- En los meses de verano los caudales no varían mayormente en la serie temporal analizada.

Cabe señalar que las tendencias observadas, aunque poco acusadas, reflejan cambios en la distribución de los máximos de caudal que en los últimos años se producen a final de invierno, y en menor medida en primavera y en otoño. La evolución del patrón pluviométrico de la cuenca, entre otros factores, pueden modular estas tendencias.

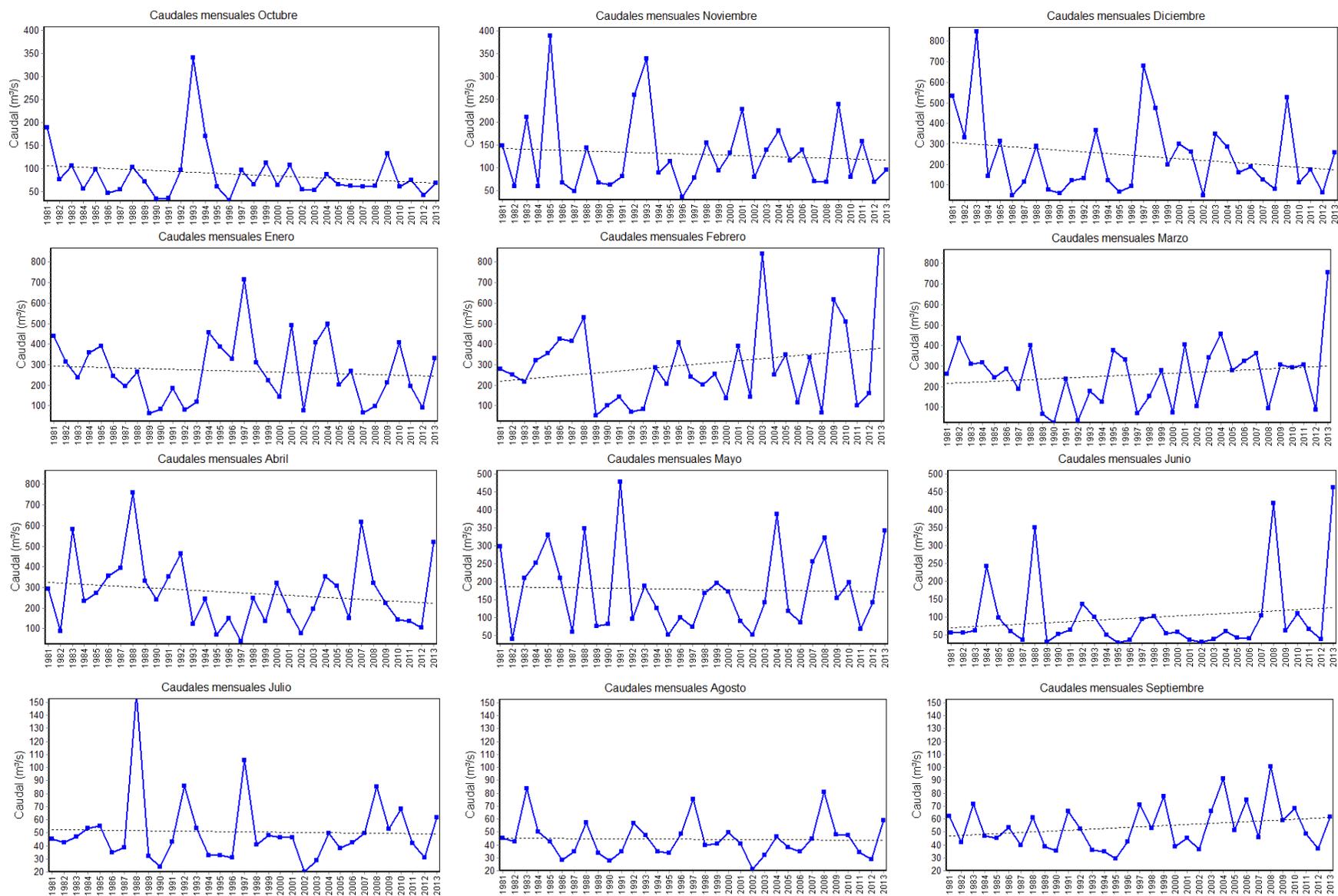


Figura 3. Variación del caudal mensual en la serie temporal para cada uno de los meses del año.

Es de gran interés ahondar en el análisis de la serie de caudales medios diarios disponible para identificar posibles tendencias de variación que puedan haber influido en el desarrollo de los macrófitos. Para ello se ha realizado un análisis estadístico mediante el programa *Indicators of Hydrological Alteration v.7.1*, (IHA; *The Nature Conservancy*, 2009), para los datos de caudal medio diario comprendidos entre los años hidrológicos 1980/81 y 2012/13.

El objetivo del análisis es la caracterización del régimen de caudales altos a partir de la frecuencia de las crecidas fluviales, su magnitud, duración y época del año que se producen. Asimismo se analiza el régimen de caudales extremadamente bajos.

De acuerdo con la metodología del IHA (EFC: *Environmental Flow Components*), los componentes del caudal obtenidos a través del software IHA v.7.1, están integrados por:

- Caudales extremadamente bajos: inferiores al 5% de los caudales diarios del periodo 1980/81 a 2012/13 (corresponde a 31,2 m³/s y equivale al 16,2% del caudal promedio).
- Caudales bajos. Definidos como el caudal inferior al promedio de la serie estudiada (<193,1 m³/s).
- Caudales altos. Definidos como el caudal superior al promedio de la serie estudiada (>193,2 m³/s).
- Pequeñas crecidas. Caudal superior al periodo de retorno de 2 años. Para la serie estudiada corresponde a 1.423 m³/s.
- Grandes crecidas. Caudal superior al periodo de retorno de 5 años. Para la serie estudiada corresponde a 1.852 m³/s.

Los componentes del caudal (EFC) se muestran en la **Figura 4**.

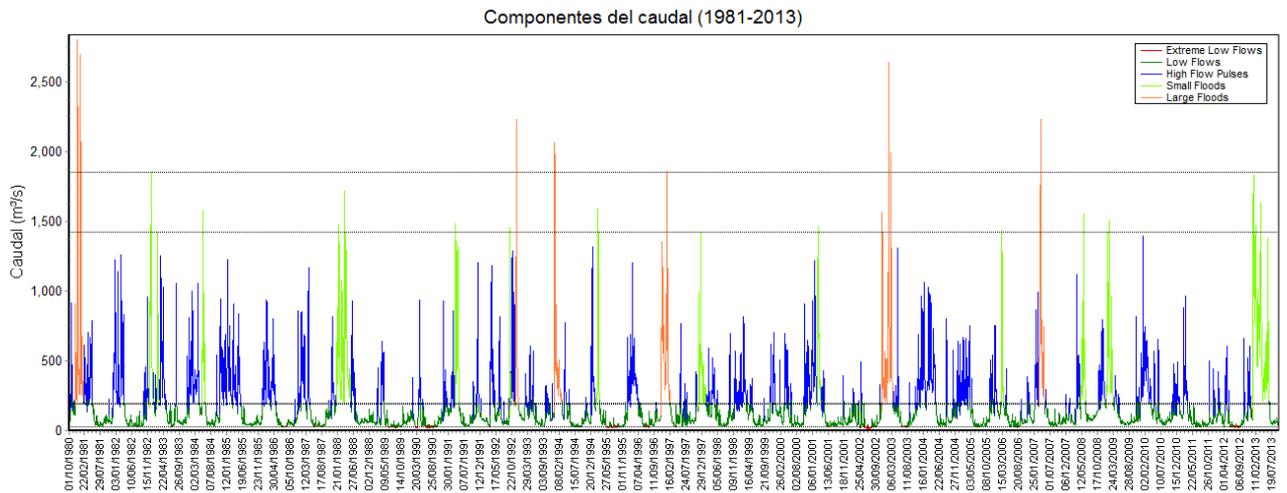


Figura 4. Componentes del caudal (EFC) del río Ebro en Zaragoza en el periodo 1980-2013.

A continuación se analiza la frecuencia, magnitud, duración y época del año en que se producen los distintos elementos de los EFC: caudales extremadamente bajos, caudales altos, pequeñas y grandes crecidas.

Caudales extremadamente bajos

Se han observado 23 años con caudales inferiores a 31,2 m³/s, lo que significa que un 70% de los años se producen caudales extremadamente bajos. La duración de estos eventos suele ser bastante baja, inferior a 5-6 días. En 2011 y 2012 los periodos de caudal extremadamente bajo tuvieron una duración de 2 y 4 días respectivamente.

La época del año en la que se producen los caudales extremadamente bajos es entre finales de julio y principios de agosto (promedio: día juliano 209, que corresponde con el 28 de julio).

La frecuencia en la que se producen los caudales extremadamente bajos muestra una tendencia creciente a lo largo de los años de estudio. Así, aunque los días consecutivos con caudal inferior a 31,2 m³/s sea baja en 2011 y 2012, las veces que se dan estos caudales es más alta.

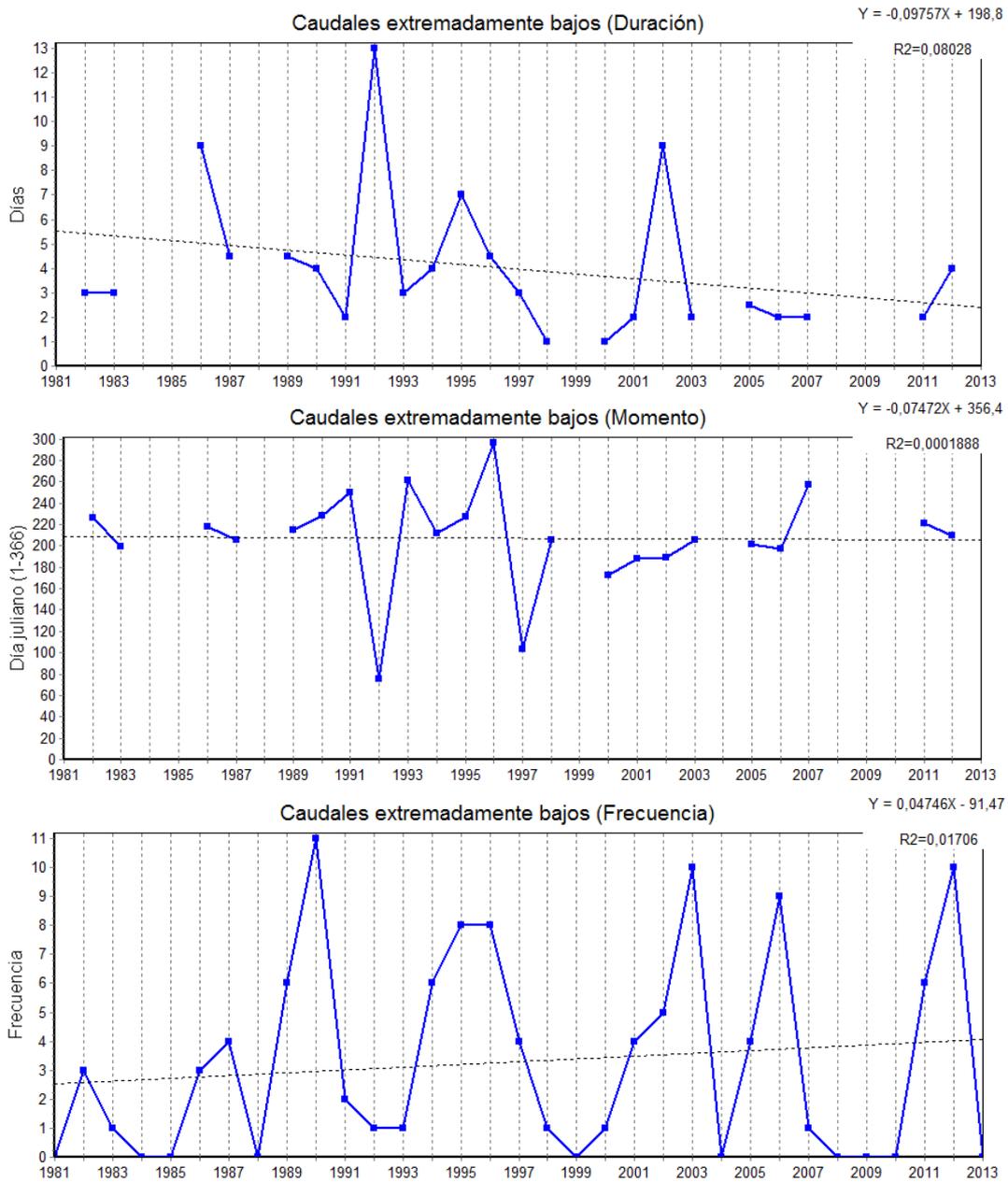


Figura 5. Duración, época y frecuencia de los caudales extremadamente bajos.

Dentro de la serie de caudales extremadamente bajos se identifica el caudal mínimo en una serie de días consecutivos. Éste corresponde con el valor más bajo de la media móvil en un periodo de tiempo concreto. En la **Figura 6** se muestran los caudales mínimos en 7, 30 y 90 días consecutivos.

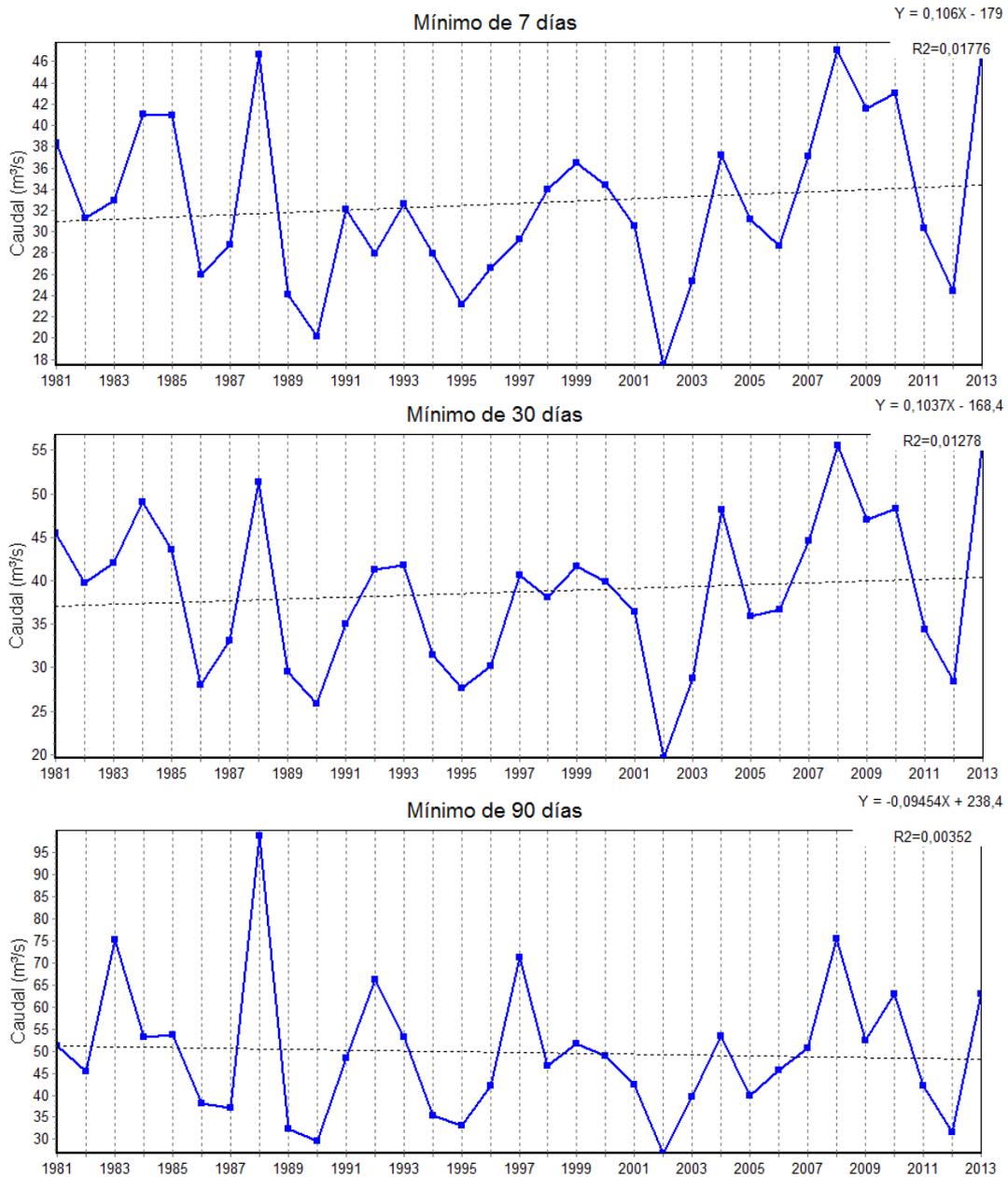


Figura 6. Caudal mínimo en 7, 30 y 90 días consecutivos.

Tanto los caudales correspondientes a 7 días como a los de 30 días siguen una misma tendencia. En los años 1986, 1990, 1995, 2002, 2003 y 2012 se ha producido un caudal promedio inferior a 30 m³/s durante 30 días consecutivos.

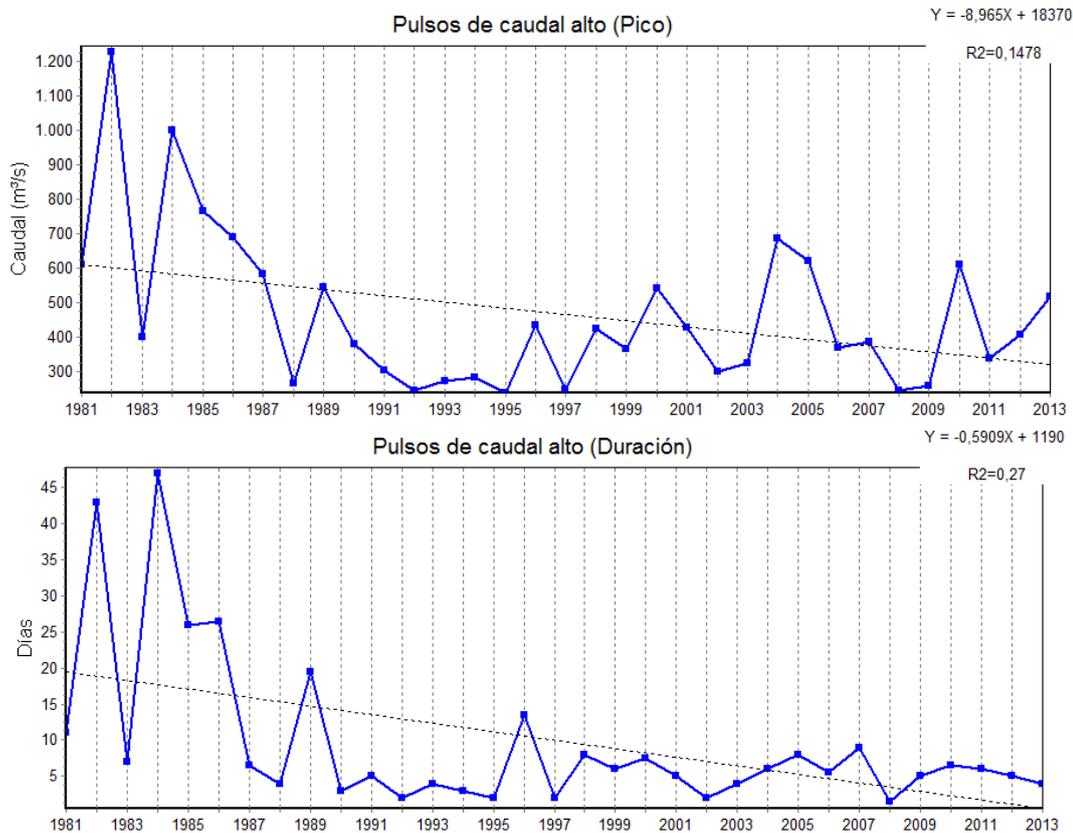
Respecto a los caudales mínimos durante 90 días consecutivos, los años 1989, 1990, 2002 y 2012 son los que mantienen un caudal más bajo, inferior a 32 m³/s.

Caudales bajos

Entre los caudales extremadamente bajos y los pulsos de caudal alto se definen los caudales bajos. Su análisis no se contempla en la aplicación informática. Corresponden a los caudales habituales que circulan por el río analizado.

Pulsos de caudal alto

Los pulsos de caudal alto son los caudales superiores al caudal promedio histórico (193,1 m³/s), e inferiores a los caudales correspondientes a un período de retorno de 2 años (1.423 m³/s).



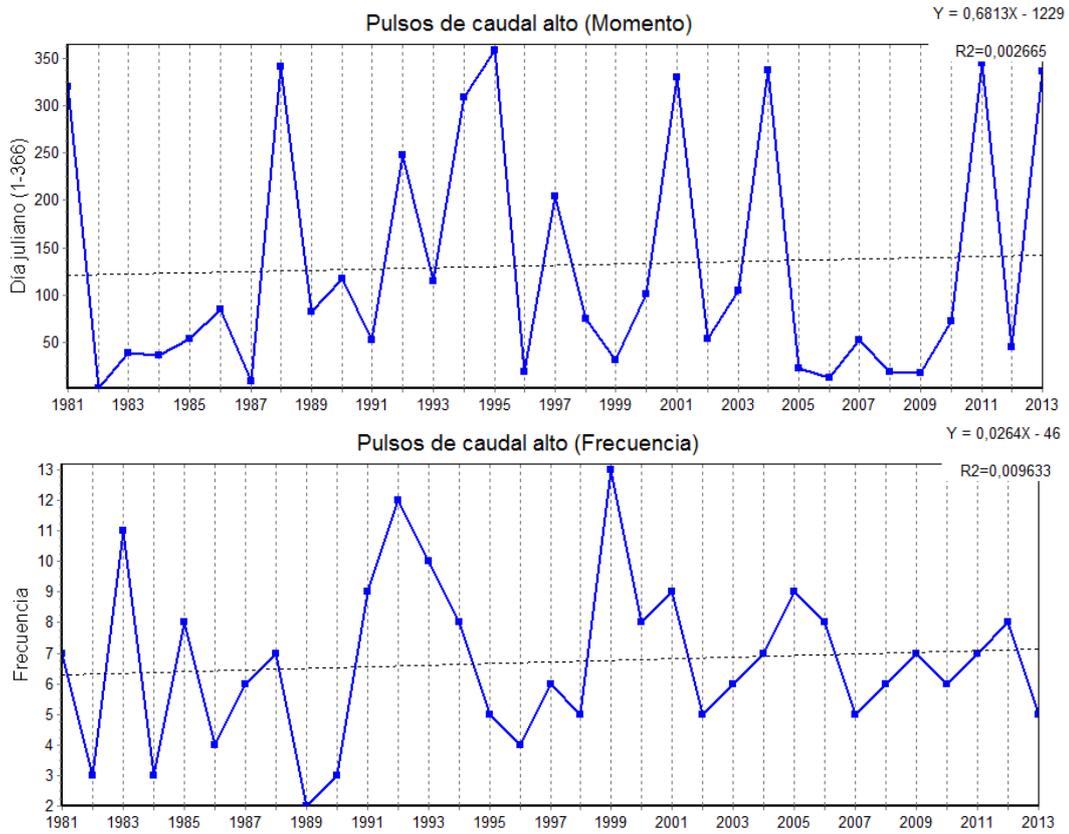


Figura 7. Magnitud, duración, época y frecuencia de los pulsos de caudal alto.

La magnitud más elevada de los pulsos de caudal alto muestra una tendencia descendente desde el año 1981/82. A partir de 1988 se observan picos de caudal alto inferiores a 300 m³/s, y destaca el período 1991-1995, con 4 años consecutivos con pulsos de caudal alto inferiores a 300 m³/s.

En general los pulsos de caudal alto tienen una corta duración, especialmente a partir del año 1990: entre 1990 y 1995 tiene una duración inferior a 5 días. Entre 1997 y 2013 los pulsos de caudal alto han tenido una duración inferior a 10 días. Éstos suelen producirse en periodo invernal, entre diciembre y febrero.

No se observan diferencias significativas en la frecuencia anual de los pulsos de caudal alto, que suelen producirse entre 5 y 8 veces al año.

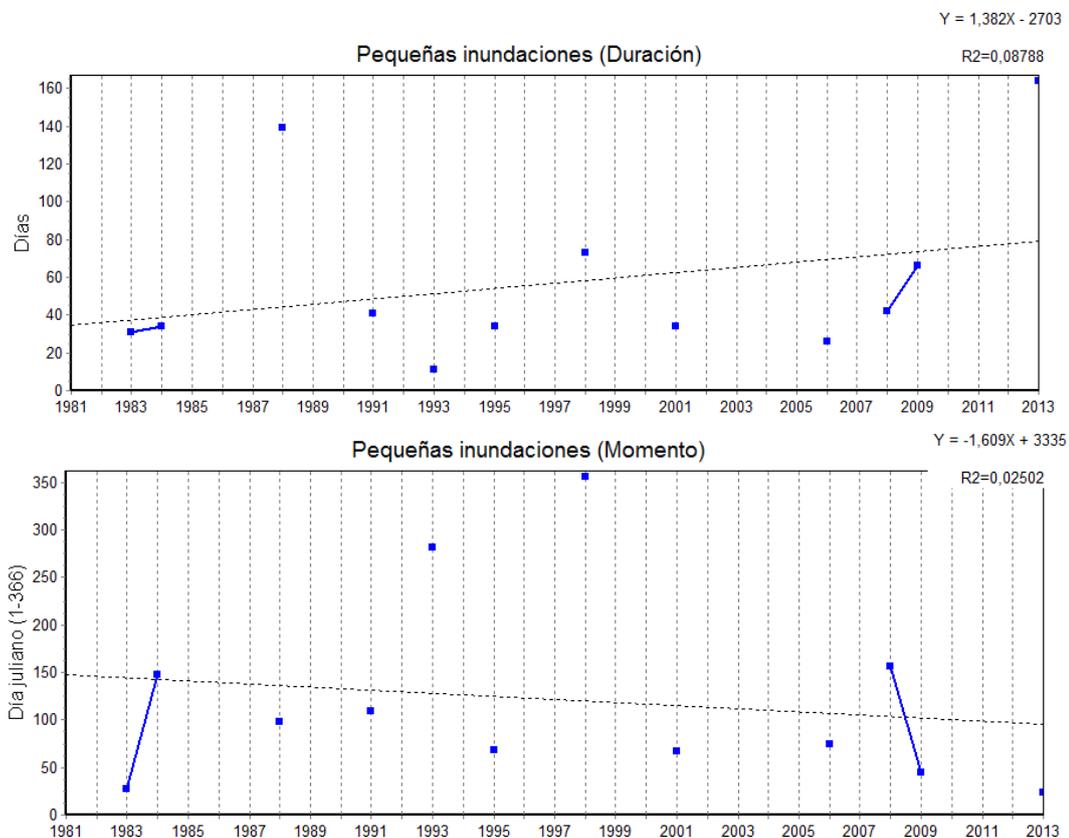
Pequeñas crecidas

Las crecidas fluviales con caudales superiores al periodo de retorno de 2 años (1.423 m³/s). Su magnitud se encuentra entre 1.423 m³/s y 1.852 m³/s (el último corresponde con el periodo de retorno de 5 años, y separa las pequeñas de las grandes crecidas).

La duración de las pequeñas crecidas es elevada, puesto que contemplan la fase de ascenso y descenso del caudal hasta alcanzar el máximo, y lo habitual es que tengan una duración entre 20 y 50 días. Cabe destacar que en 2013 hubo un periodo de 160 días con caudales correspondientes a las pequeñas crecidas.

Suelen producirse a principios de la primavera, desde finales de febrero hasta finales de abril. Sin embargo, en los años 1983, 2009 y 2013 se produjeron en enero, y en 1993 y 1998 se dieron entre noviembre y diciembre.

Las pequeñas crecidas se producen con una frecuencia baja: en 12 de los 33 años analizados. Existen 3 periodos con 3 o más años sin pequeñas crecidas. Estos son: entre 1985-1987, 2002-2005 y 2010-2012.



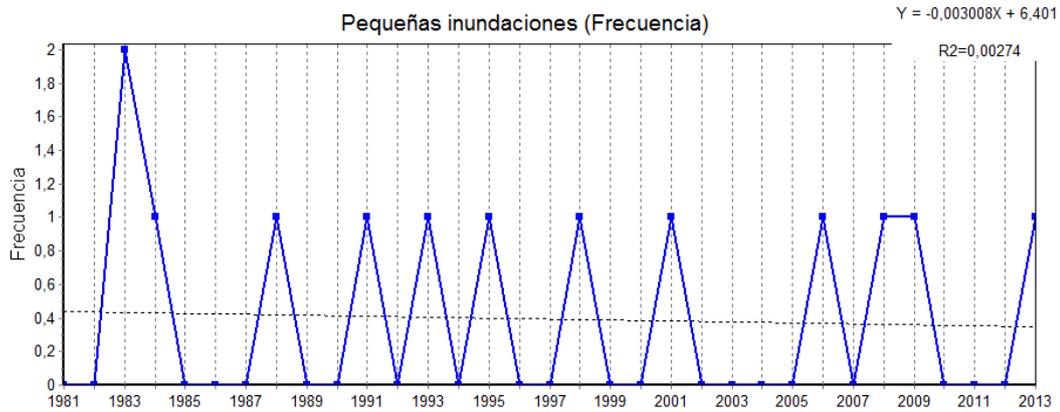
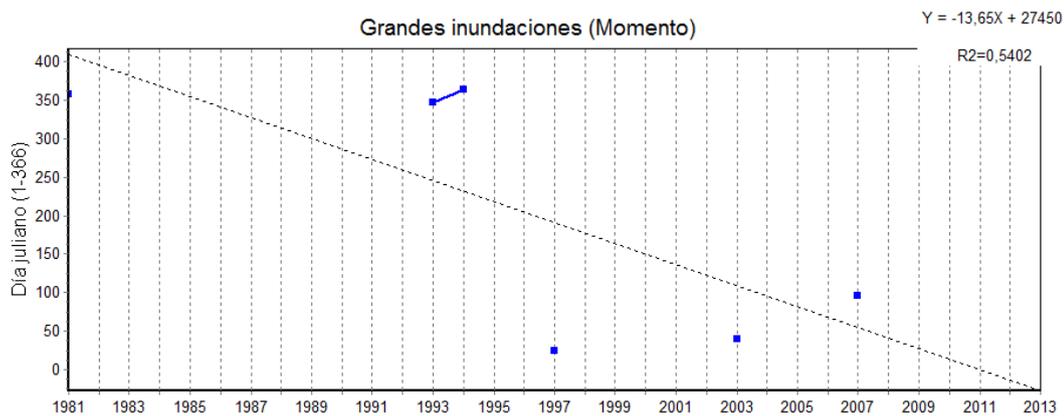


Figura 8. Duración, época y frecuencia de las pequeñas crecidas.

Grandes crecidas

Corresponden a los caudales superiores al periodo de retorno de 5 años, que es de 1.852 m³/s. Se producen en periodo invernal, desde finales de diciembre hasta principios de febrero. La última crecida se produjo en 2007, y fue la más tardía del periodo estudiado (abril).

En el periodo estudiado se identifican 6 episodios de grandes crecidas. La última se produjo en 2007. Además, existen 3 periodos relativamente largos con ausencia de grandes crecidas: entre 1982 y 1992, entre 1998 y 2002 y entre 2008 y 2013.



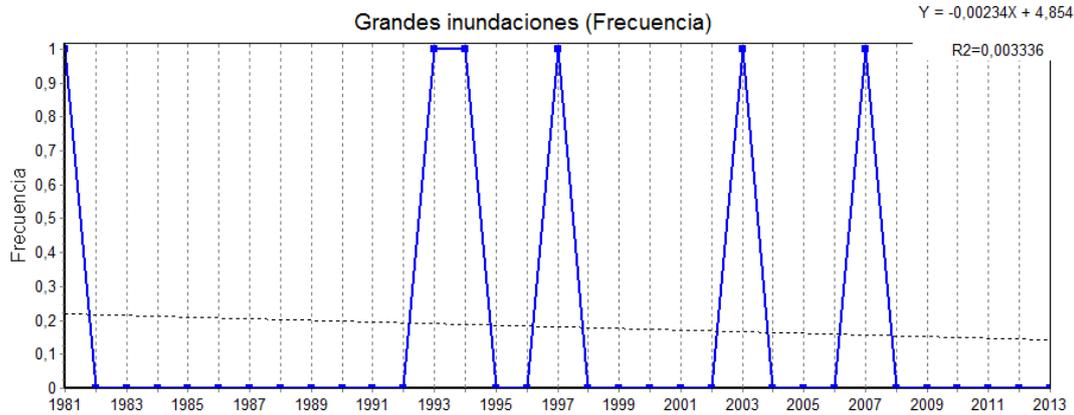
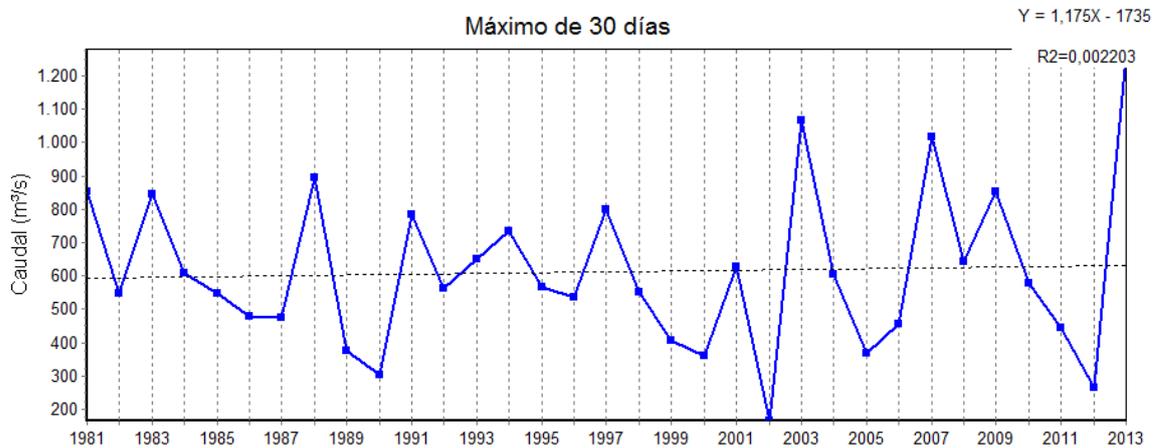


Figura 9. Época y frecuencia de las grandes crecidas.

Caudales máximos

Se analiza el caudal promedio máximo que se produce en periodos de 30 días consecutivos y 90 días consecutivos. En el primer caso, el caudal promedio máximo en 30 días consecutivos es relativamente bajo para algunos años: 1990, 2002 y 2012, y estuvo en torno a 300 m³/s. Respecto a los caudales máximos durante 90 días consecutivos, existen 4 años con caudales inferiores a 200 m³/s: 1989, 1990, 2002 y 2012.



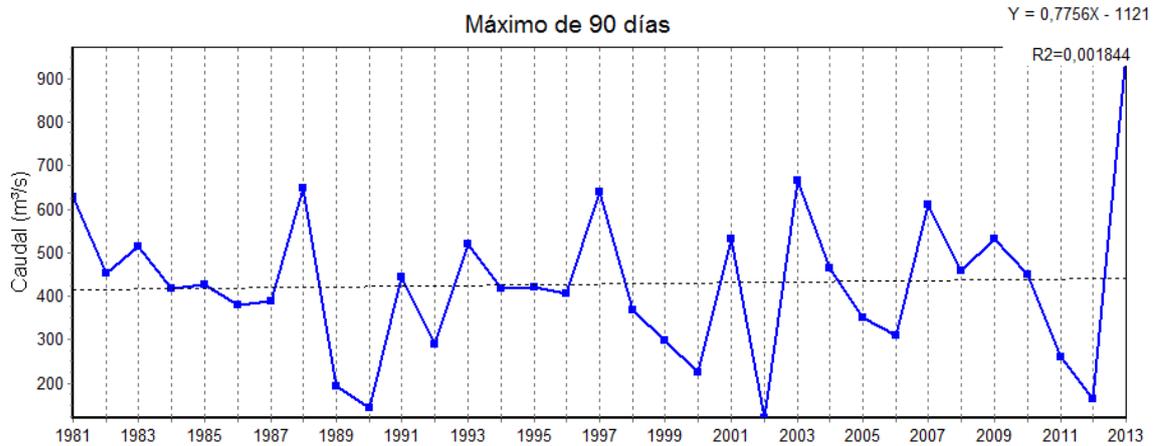


Figura 10. Caudal máximo en periodos de 30 y 90 días consecutivos.

En resumen, el análisis de los caudales extremadamente bajos y altos de la serie hidrológica entre 1980-81 y 2012-13, permite observar la existencia de hechos y tendencias que podrían haber favorecido el asentamiento y crecimiento de los macrófitos en el tramo medio del Ebro. Esto se basa en:

- La tendencia creciente de la frecuencia de caudales extremadamente bajos ($Q < 31,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para la serie considerada), los cuales se producen en julio-agosto (periodo favorable para el crecimiento de los macrófitos).
- En relación con los caudales altos se observa, una tendencia decreciente de los pulsos de caudal alto (superiores a $193,1 \text{ m}^3/\text{s}$ e inferiores a $1.423 \text{ m}^3/\text{s}$), que se producen en invierno; asimismo en la última década los episodios de pequeñas crecidas y de grandes crecidas (caudal superior a $1.852 \text{ m}^3/\text{s}$) han sido escasos (entre 2002 y 2005, y entre 2010 y 2012 no se han producido pequeñas crecidas, y la última gran crecida del periodo analizado se produjo en 2007).
- En particular entre 2011 y 2012, se han dado situaciones hidrológicas de caudal extremo bajo y continuado en el tiempo (30 días consecutivos de caudal mínimo en el verano de 2012, y ausencia de pequeñas y grandes crecidas. Este escenario hidrológico ha podido favorecer el asentamiento y desarrollo de las poblaciones de macrófitos en dicho periodo.

5.1.2. Río Cinca – Tramo comparativo

El régimen hidrológico del río Cinca en Fraga es de tipo pluvial, con caudales máximos en los meses de primavera, y mínimos en los meses de verano (**Figura 11**).

El caudal promedio anual, entre los años 1980 y 2013 ha sido de 59,5 m³/s (**Figura 12**). El caudal más bajo se dio en el año 2012 con un valor promedio anual de 20,7 m³/s, que representa el 34,8% del caudal promedio anual.

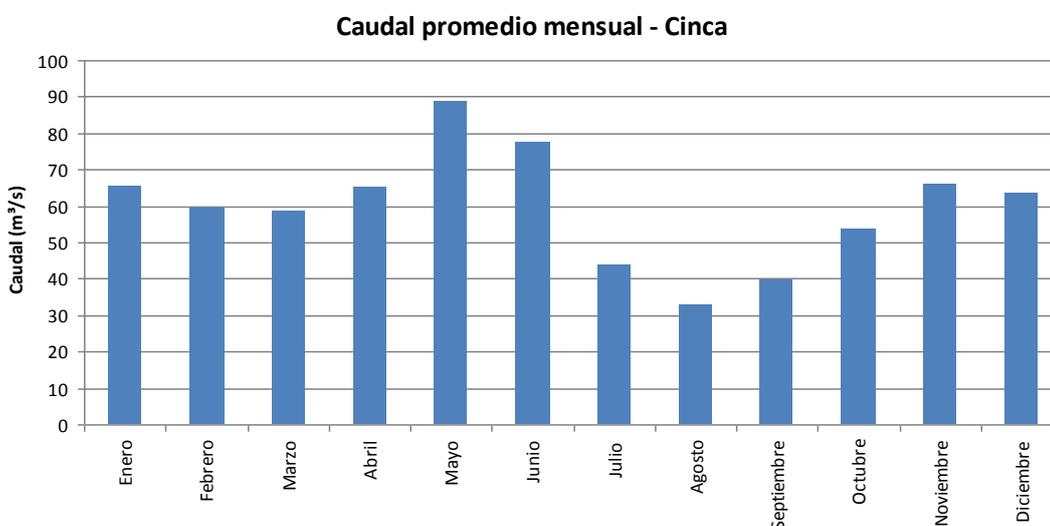


Figura 11. Caudal promedio mensual del río Cinca en Fraga.

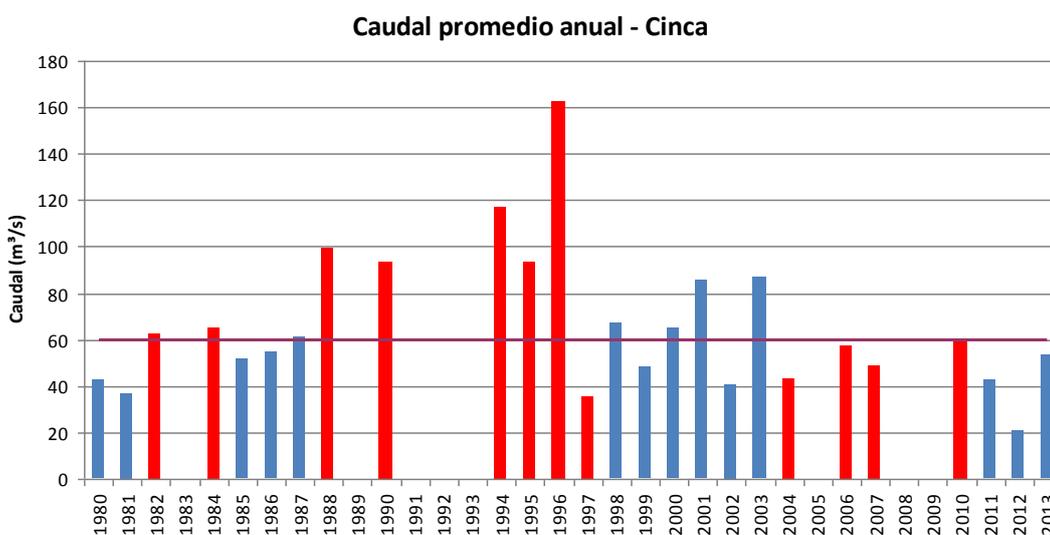


Figura 12. Caudal medio anual del río Cinca en Fraga. En rojo: año incompleto. La línea indica el caudal medio anual del periodo.

5.2. CALIDAD FISICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL AGUA

5.2.1. Variables fisicoquímicas y biológicas seleccionadas

Se seleccionaron algunas de las variables fisicoquímicas y biológicas con datos disponibles recopilados (**apartado 4.3.2**), en función de su relación con los factores que influyen en el desarrollo de los macrófitos, descritos anteriormente (**apartado 3.2**).

Las variables seleccionadas fueron:

- Temperatura, como variable relacionada directamente con el desarrollo de los macrófitos.
- Turbidez y sólidos en suspensión, como medidas de la transparencia del agua.
- Conductividad eléctrica (a 20°C), como variable indicadora del grado de mineralización del agua.
- Nutrientes: amonio, nitratos y fosfatos, relacionados con el desarrollo de los macrófitos.
- Clorofila a, como variable relacionada con la disponibilidad de nutrientes y la transparencia del agua.

En las tablas siguientes se presentan los valores de los estadísticos básicos (mínimo, máximo, mediana y promedio) calculados para los datos recopilados de las variables fisicoquímicas y de la clorofila a, correspondientes al periodo de datos disponible.

Tabla 12. Estadísticos básicos (mínimo, máximo, mediana y promedio) de las variables fisicoquímicas de la red SAICA consideradas en este estudio (temperatura, turbidez, conductividad eléctrica -CE- y amonio) medidas en estaciones del tramo medio del Ebro y del tramo comparativo del Cinca. Se especifica el periodo al que corresponden los datos incluidos.

Tramo	Estación	Estadístico	Variable físicoquímica			
			Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	CE (µS/cm)	Amonio (mg/L)
Ebro medio (T1)	LA Almozara (1996-2012)	Mínimo	3,7	0,2	341	0
		Máximo	27,6	480,5	2528	3,90
		Mediana	15,7	35,7	1300	0,03
		Promedio	15,8	50,3	1314	0,06
	Cabañas (1999-2012)	Mínimo	2,6	4,0	363	0
		Máximo	30,3	499,0	2680	3,19
		Mediana	15,6	56,4	1182	0,03
		Promedio	15,9	68,9	1240	0,04
	Presa de Pina (1996-2012)	Mínimo	2,6	2,2	252	0
		Máximo	29,3	425,5	3660	4,36
		Mediana	16,1	25,2	1338	0,29
		Promedio	16,2	39,2	1353	0,35
Cinca comparativo (T3)	Monzón (1996-2012)	Mínimo	4,7	0,1	246	0,0004
		Máximo	25,0	344,0	1644	3,64
		Mediana	13,9	16,7	808	0,03
		Promedio	14,5	25,5	767	0,06

Tabla 13. Estadísticos básicos (mínimo, máximo, mediana y promedio) de las variables fisicoquímicas de la red CEMAS consideradas en este estudio (temperatura -T, sólidos en suspensión -MES, conductividad eléctrica -CE, amonio, nitratos y fosfatos) medidas en estaciones del tramo medio del Ebro y de los tramos comparativos del Ebro y del Cinca. Se especifica el periodo al que corresponden los datos incluidos.

Tramo	Estación	Estadístico	Variable fisicoquímica					
			T (°C)	MES (mg/L)	CE (µS/cm)	Amonio (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
Ebro medio (T1)	LA Almozara (2001-2012)	Mínimo	4,1	2,0	480	0,05	5,00	0,03
		Máximo	26,2	357,0	2430	0,49	30,50	0,62
		Mediana	15,4	36,0	1300	0,07	16,50	0,14
		Promedio	15,3	56,5	1357	0,08	16,39	0,15
	Presa de Pina (1990-2012)	Mínimo	4,4	1,5	433	0,00	7,50	0,00
		Máximo	29,2	3540,0	2580	3,87	29,00	2,76
		Mediana	15,3	32,0	1310	0,60	16,35	0,23
		Promedio	15,6	85,3	1351	0,74	16,49	0,39
Ebro comparativo (T2)	Sástago (1990-2009)	Mínimo	5,2	1,0	396	0,00	7,80	0,00
		Máximo	30,5	5200,0	2738	0,85	26,40	1,03
		Mediana	16,4	24,0	1390	0,12	15,55	0,15
		Promedio	16,7	66,0	1407	0,19	15,65	0,19
	Pina de Ebro (1990-2012)	Mínimo	4,6	2,0	560	0,05	7,80	0,03
		Máximo	27,4	183,0	2280	1,10	26,40	0,68
		Mediana	13,8	20,0	1298	0,22	15,50	0,20
		Promedio	14,7	38,3	1422	0,31	15,45	0,19
	Escatrón (2002-2012)	Mínimo	5,4	1,0	580	0,05	7,90	0,03
		Máximo	28,0	165,0	2400	0,71	23,10	0,46
		Mediana	16,9	26,0	1600	0,07	15,20	0,15
		Promedio	16,1	37,4	1517	0,15	15,24	0,15
Cinca comparativo (T3)	Fraga (1990-2012)	Mínimo	2,0	2,0	245	0,00	2,50	0,05
		Máximo	28,3	3265,0	1861,0	5,66	21,30	1,49
		Mediana	15,2	27,0	1020	0,07	9,40	0,21
		Promedio	15,3	112,0	977	0,27	9,33	0,30

Tabla 14. Estadísticos básicos (mínimo, máximo, mediana y promedio) de la variable biológica Clorofila a (mg/m^3) medidas en estaciones del tramo medio y del tramo comparativo del Ebro, en el periodo 2005-2012. Se especifica el periodo al que corresponden los datos incluidos.

Tramo	Estación	Periodo	Mínimo	Máximo	Mediana	Promedio
Ebro medio (T1)	Alagón	2008-2012	1,22	43,17	6,02	11,34
	Zaragoza	2005-2012	0,86	58,20	7,77	11,07
	Burgo de Ebro	2008-2012	1,41	38,82	5,57	9,26
	Presa Pina	2005-2012	0,98	63,28	5,52	13,07
Ebro comparativo (T2)	Pina de Ebro	2005-2012	1,37	55,30	9,52	15,36
	Quinto		1,52	77,54	8,26	18,84
	Gelsa		1,88	84,02	10,60	19,01
	Zaida		1,94	71,46	15,85	19,64
	Sástago		2,08	108,62	16,58	24,72

Para realizar un estudio de la variación temporal y espacial de estas variables, así como determinar la relación existente entre ellas, se realizaron diversos análisis estadísticos, presentados en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Análisis estadísticos realizados con las variables fisicoquímicas y la biológica seleccionadas para este estudio. Se especifican las variables que intervienen en cada análisis, a qué tramos corresponden, el tipo de datos utilizado y el tipo de análisis realizado

	Tramo	Datos	Variables	Análisis estadístico
Evolución temporal de las variables	1, 2	Recopilados, distintos periodos	Fisicoquímicas (red SAICA)	Regresión lineal (R^2)
Evolución temporal de las variables	1, 2, 3	Recopilados, distintos periodos	Fisicoquímicas (red CEMAS)	Regresión lineal (R^2)
Evolución temporal de las variables	1,2	2005-2012, valores puntuales	Biológica: Clorofila-a	Regresión lineal (R^2)
Condiciones fisicoquímicas existentes en los tramos	1,3	Promedio mensual	Caudal (Ebro) Fisicoquímicas (red SAICA): temperatura, turbidez, conductividad eléctrica y amonio	Análisis de redundancia (RDA)

	Tramo	Datos	VARIABLES	Análisis estadístico
Condiciones fisicoquímicas existentes en los tramos	1, 2, 3	Promedio anual	Físicoquímicas (red CEMAS): temperatura, sólidos en suspensión (MES), conductividad eléctrica, amonio, nitratos y fosfatos	Análisis de redundancia (RDA)

El análisis de los datos se aborda para reconocer: i) la variación temporal de los parámetros fisicoquímicos y biológicos y ii) la variación espacial (diferencias entre los tramos estudiados).

5.2.2. Análisis de la evolución temporal de las variables fisicoquímicas y biológicas

La evolución temporal de las variables fisicoquímicas se testó a partir de regresiones lineales de cada parámetro con el tiempo (test R^2), considerando diversos rangos temporales para ver su evolución en distintos periodos de tiempo. Los rangos temporales escogidos fueron: el máximo posible (datos disponibles para cada variable según se especifica en la tabla 16), 2006-2012 y 2009-2012. Las variables testadas fueron:

- Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), como un parámetro integrador de la composición química del agua.
- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).
- Turbidez (NTU) y sólidos en suspensión (MES, mg/L) como medida indirecta de la transparencia del agua.
- Nutrientes: amonio (NH_4^+ , mg/L), nitratos (NO_3^- , mg/L) y fosfatos (PO_4^{3-} , mg/L).
- Clorofila-a (mg/m^3).

En la tabla siguiente (**Tabla 16**) se indica, para cada variable, a qué red y estación corresponden los datos, el periodo temporal máximo considerado y el tramo de río al que corresponden.

Tabla 16. Variables fisicoquímicas y biológicas consideradas para testar su evolución temporal. Se especifican las unidades de las variables, así como la red, el periodo de tiempo y el tramo al que pertenecen los datos utilizados.

Variable	Unidad	Red/ Fuente	Estación	Periodo	Tramo
Temperatura	°C	SAICA	Cabañas	1999-2012	Ebro medio - T1
			La Almozara	1996-2012	Ebro medio -T1
			Presa de Pina	1996-2012	Ebro medio - T1
			Monzón	1996-2012	Cinca - T3
Turbidez	NTU	SAICA	Cabañas	1999-2012	Ebro medio - T1
			La Almozara	1996-2012	Ebro medio -T1
			Presa de Pina	1996-2012	Ebro medio - T1
			Monzón	1996-2012	Cinca - T3
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	SAICA	Cabañas	1999-2012	Ebro medio - T1
			La Almozara	1996-2012	Ebro medio -T1
			Presa de Pina	1996-2012	Ebro medio - T1
			Monzón	1996-2012	Cinca - T3
MES	mg/L	CEMAS	La Almozara	2001-2012	Ebro medio - T1
			Presa de Pina	2001-2012	Ebro medio -T1
			Pina de Ebro	2002-2012	Ebro comparativo - T2
			Fraga	2001-2012	Cinca - T3
NH ₄ ⁺	mg/L	SAICA	Cabañas	1999-2012	Ebro medio - T1
			La Almozara	1996-2012	Ebro medio -T1
			Presa de Pina	1996-2012	Ebro medio - T1
			Fraga	1996-2012	Cinca - T3
NO ₃ ⁻	mg/L	CEMAS	La Almozara	2001-2012	Ebro medio - T1
			Presa de Pina	2001-2012	Ebro medio -T1
			Pina de Ebro	2002-2012	Ebro comparativo - T2
			Fraga	2001-2012	Cinca - T3
		SAICA	Presa de Pina	1999-2001;2010-2012	Ebro medio -T1
PO ₄ ³⁻	mg/L	CEMAS	La Almozara	2001-2012	Ebro medio - T1
			Presa de Pina	2001-2012	Ebro medio -T1
			Pina de Ebro	2002-2012	Ebro comparativo - T2
			Fraga	2001-2012	Cinca - T3
		SAICA	Presa de Pina	1999-2001;2010-2012	Ebro medio -T1
Clorofila a	mg/m ³	Universitat de Girona	Todas las muestreadas	2005-2012	Ebro medio - T1
					Ebro comparativo - T2

5.2.2.1. Evolución temporal de las variables fisicoquímicas

Los principales resultados obtenidos sobre la evolución temporal de las variables fisicoquímicas fueron:

- La temperatura del agua (red SAICA) tiende a aumentar en la mayoría de estaciones, especialmente en los periodos 2006-2012 y 2009-2012. Las regresiones son significativas, aunque el grado de ajuste (R^2) es bajo (entre 0,005 y 0,021).
- La turbidez del agua no presenta una tendencia clara en el tiempo, aunque la regresión significativa con un mayor grado de ajuste ($R^2=0,131$), muestra una tendencia a la disminución (estación de Cabañas, Tramo 1, en el periodo 2006-2012; **Figura 13**). Los sólidos en suspensión tampoco presentan una tendencia clara, sólo en la estación de La Almozara los sólidos en suspensión cambian de forma significativa ($p<0,05$), disminuyendo en el periodo 2001-2012, aunque el grado de ajuste de la regresión es bajo ($R^2=0,051$).

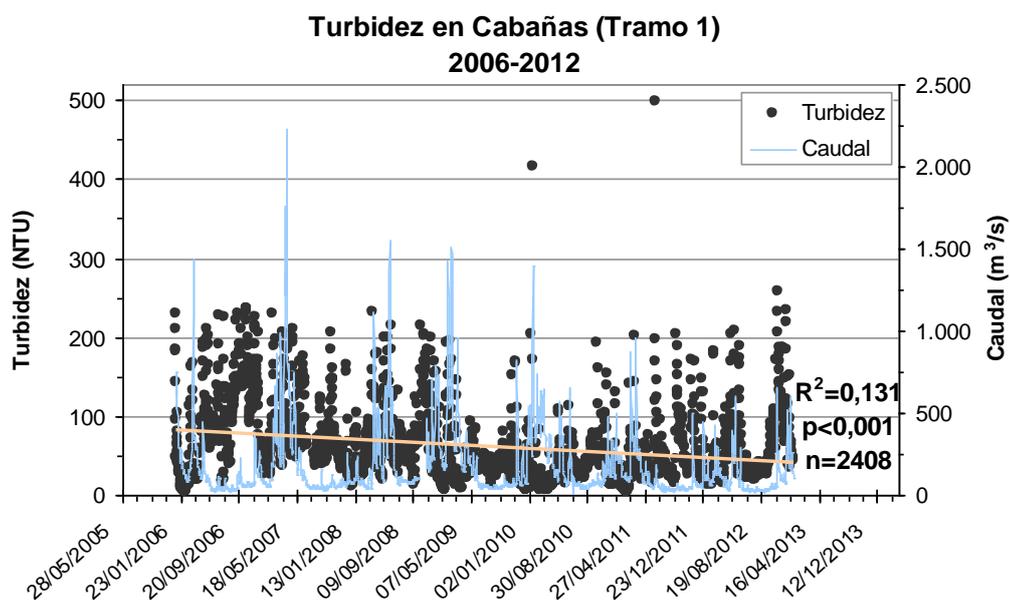


Figura 13. Evolución temporal de la turbidez del agua (NTU) en la estación de Cabañas, en el tramo medio del río Ebro (T1). Se representa también la regresión lineal de los datos, con el grado de ajuste (R^2), el nivel de significación (p) y el número de datos incluidos en el test (n). Se representa también el caudal del río Ebro correspondiente a la estación de la red SAIH en Zaragoza (A011).

- La conductividad eléctrica (red SAICA) presenta una tendencia a aumentar en todos los periodos de tiempo contemplados. Las regresiones significativas ($p < 0,001$) con una R^2 más alta corresponden a los datos del periodo 2009-2012 de las estaciones de Presa de Pina (Tramo medio del Ebro - T1) y Monzón (Cinca - T3; **Figura 14**), con valores respectivos de 0,08 y 0,145.

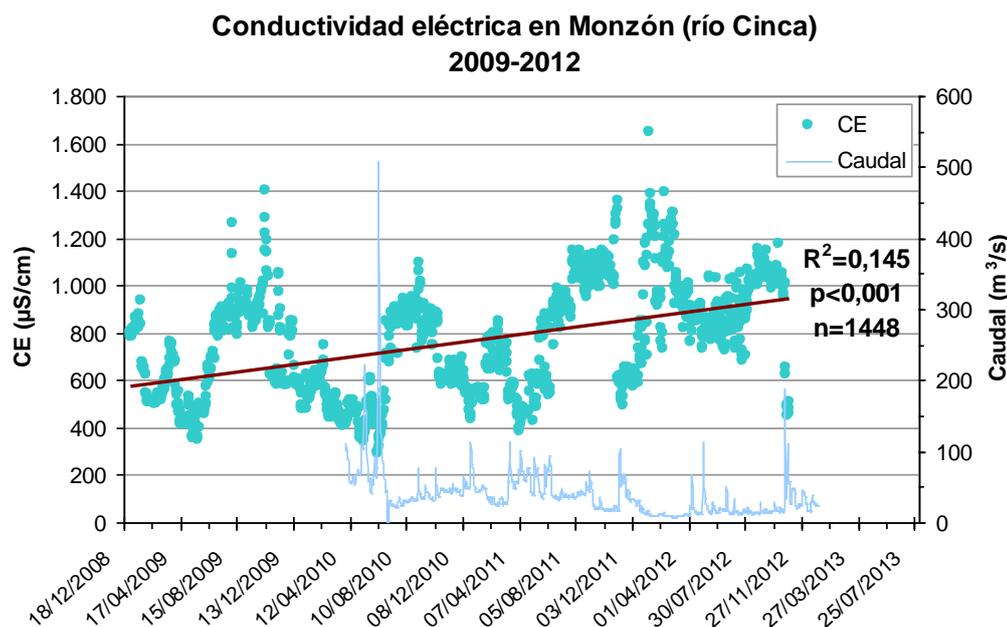


Figura 14. Evolución temporal de la conductividad eléctrica (CE; $\mu\text{S}/\text{cm}$) en la estación de Monzón, en el río Cinca. Se representa también la regresión lineal de los datos, con el grado de ajuste (R^2), el nivel de significación (p) y el número de datos incluidos en el test (n). Se representa también el caudal del río Cinca correspondiente a la estación de la red SAIH en Fraga (A017).

- La concentración de amonio en el agua tiende a disminuir en los periodos de tiempo más largos (red SAICA, Tramos 1 y 3), mientras que incrementa significativamente en el periodo de 2009-2012 en la mayoría de estaciones, especialmente en Presa de Pina ($R^2 = 0,170$; $p < 0,001$; **Figura 15**). No obstante esto se atribuye a los caudales bajos del 2011 y 2012, y no a un incremento de las concentraciones respecto a los valores de la serie histórica.

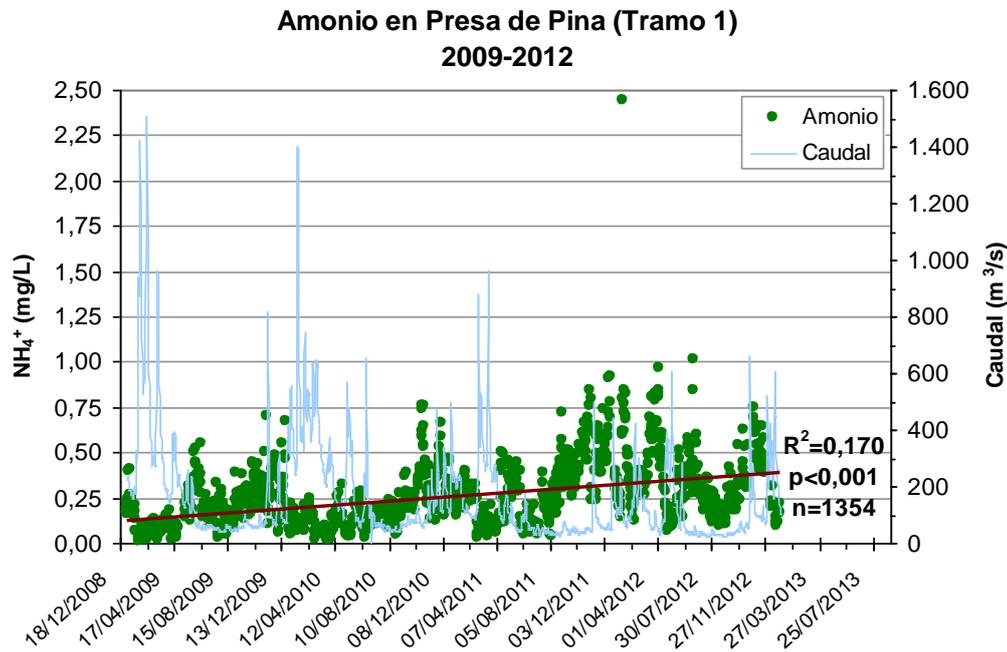


Figura 15. Evolución temporal de la concentración de Amonio (mg/L) en la estación de Presa de Pina, en el tramo medio del río Ebro (T1). Se representa también la regresión lineal de los datos, con el grado de ajuste (R^2), el nivel de significación (p) y el número de datos incluidos en el test (n). Se representa también el caudal del río Ebro correspondiente a la estación de la red SAIH en Zaragoza (A011).

- La concentración de nitratos (red CEMAS) en el agua tiende a disminuir en el tiempo en 2001-2012 (en La Almozara y Monzón) y en 2006-2012 (en Presa de Pina y Pina de Ebro); sin embargo, en un periodo más corto (2010-2012; red SAICA, estación de Presa de Pina) la concentración de nitratos incrementa (**Figura 16**).

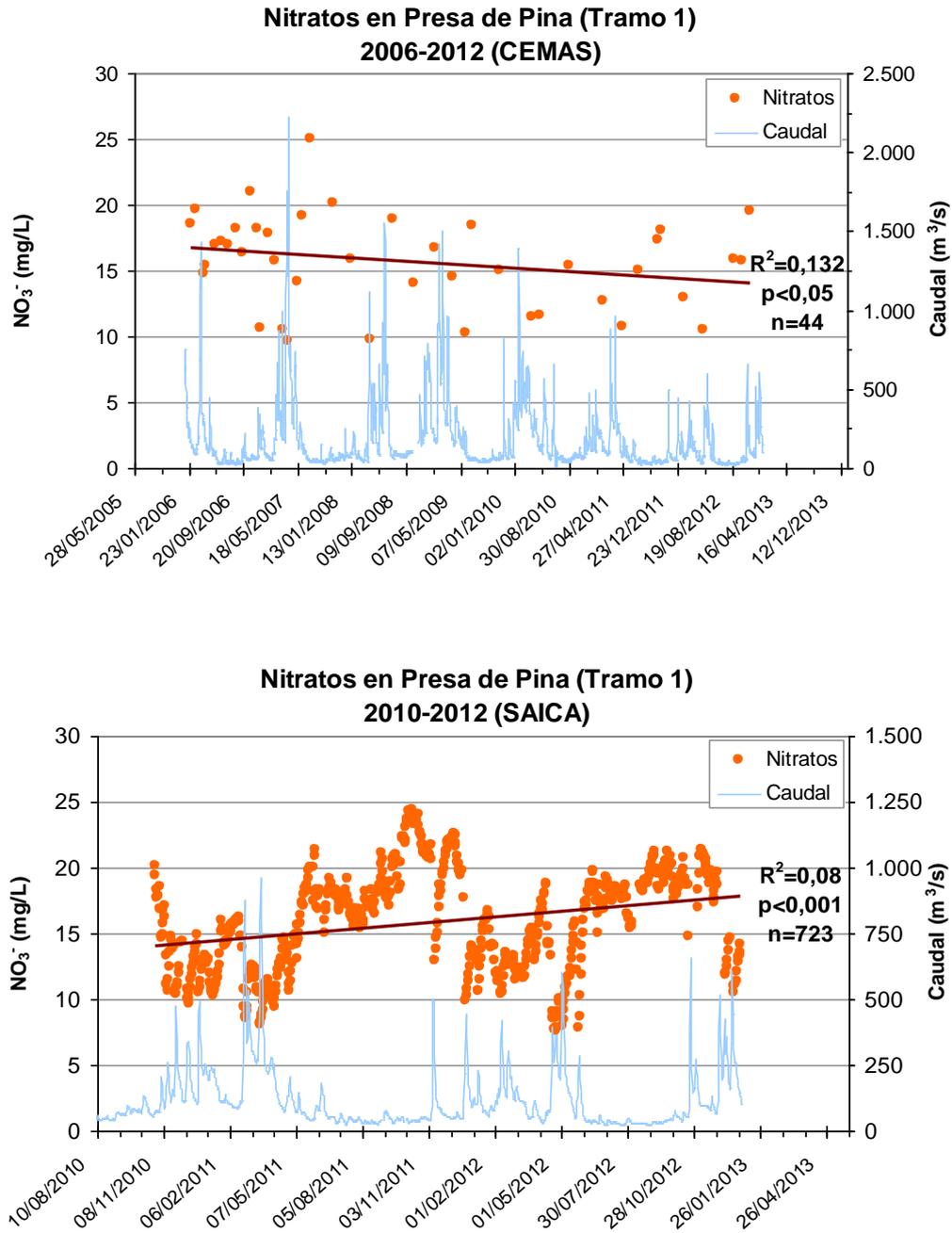


Figura 16. Evolución temporal de la concentración de Nitratos (mg/L) en la estación de Presa de Pina, en el tramo medio del río Ebro (T1), en los periodos de 2006-2012 (red CEMAS) y 2010-2012 (red SAICA). Se representa la regresión lineal de los datos, con el grado de ajuste (R^2), el nivel de significación (p) y el número de datos incluidos en el test (n). Se representa también el caudal del río Ebro correspondiente a la estación de la red SAIH en Zaragoza (A011).

- La concentración de fosfatos presenta un comportamiento similar a la de los nitratos: una disminución significativa en un periodo de duración media (2006-2012; datos de la red CEMAS de La Almozara y Presa de Pina, en T1) y un aumento en el periodo más reciente (2011-2012) en Presa de Pina (datos SAICA; **Figura 17**).

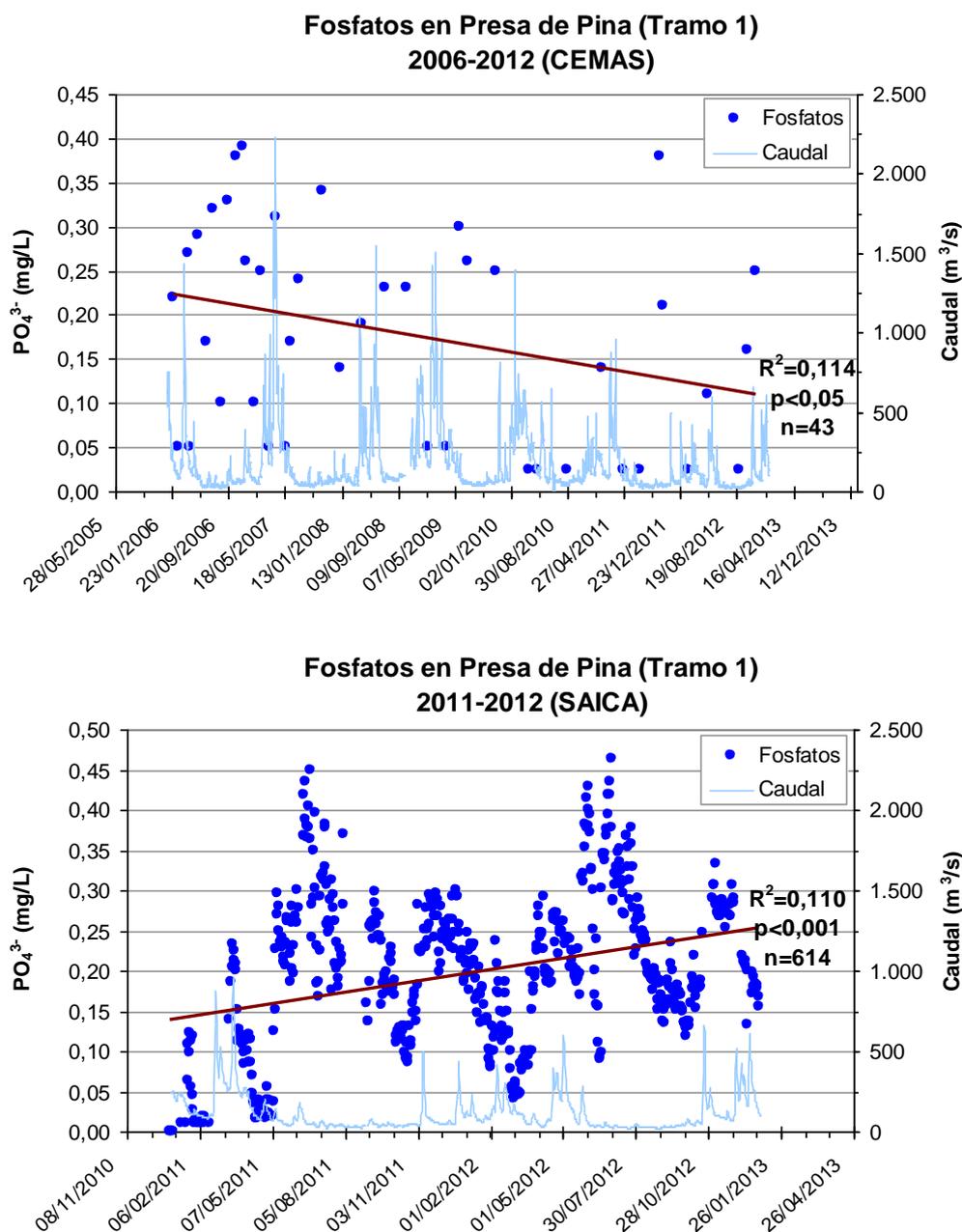


Figura 17. Evolución temporal de la concentración de Fosfatos (mg/L) en la estación de Presa de Pina, en el tramo medio del río Ebro (T1), en los periodos de 2006-2012 (red CEMAS) y 2011-2012 (red SAICA). Se representa la regresión lineal de los datos, con el grado de ajuste (R^2), el nivel de significación (p) y el número de datos incluidos en el test (n). Se representa también el caudal del río Ebro correspondiente a la estación de la red SAIH en Zaragoza (A011).

En resumen, la tendencia de variación de los nutrientes (fosfatos y nitratos) es decreciente en las series largas analizadas (datos de la red CEMAS entre 2006 y 2012). La tendencia creciente que se observa para los últimos años de la serie analizada (desde 2009-10 hasta 2012-13) según los datos de la red SAICA está influida por las condiciones hidrológicas del periodo (años 2011 y 12 más secos que 2009-10) y las concentraciones de nutrientes son del mismo orden de magnitud o inferiores a las que se miden en la serie histórica.

5.2.2.2. Evolución temporal de la concentración de clorofila a planctónica

La concentración de clorofila a en la columna de agua disminuye significativamente durante el periodo 2005-2012 en el tramo medio del Ebro, tanto en el tramo de estudio (T1; $R^2=0,183$, $p<0,047$) como en el tramo de referencia (T2; $R^2=0,278$, $p<0,012$). La evolución temporal conjunta de los tramos T1 y T2 se presenta en la **Figura 18**.

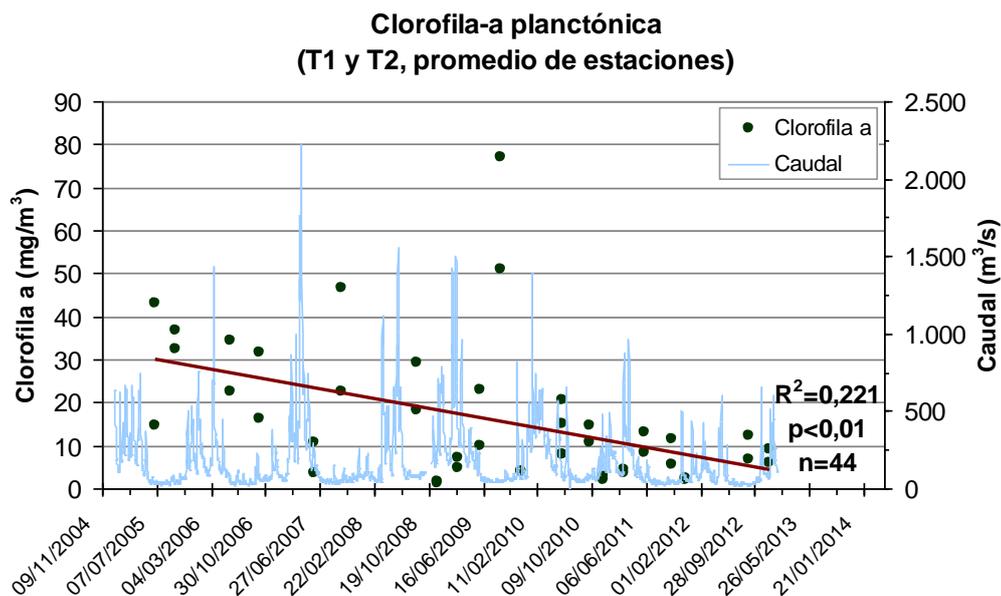


Figura 18. Evolución temporal de la concentración de clorofila-a (mg/m^3). Los datos representados corresponden al promedio de los datos de las estaciones correspondientes al T1 (Alagón, Zaragoza, Burgo de Ebro y Presa de Pina, y al promedio de las 5 estaciones correspondientes al T2 (Pina de Ebro, Quinto, Gelsa, Zaida y Sástago). Se representa la regresión lineal de los datos, con el grado de ajuste (R^2), el nivel de significación (p) y el número de datos incluidos en el test (n). Se representa también el caudal del río Ebro correspondiente a la estación de la red SAIH en Zaragoza (A011).

5.2.3. Tendencias temporales detectadas

Los resultados de las regresiones lineales realizadas con las variables fisicoquímicas y la clorofila-a muestran que, en los análisis que incluyen series de datos largas, se observa:

- la temperatura presenta una tendencia a incrementar;
- la turbidez y los sólidos en suspensión (MES) presentan una cierta tendencia a disminuir en el tiempo;
- la conductividad eléctrica ha incrementado en el tiempo;
- los nutrientes (amonio, nitratos y fosfatos) disminuyen en el periodo 1996-2012; y
- la clorofila-a ha disminuido en el periodo 2005-2012.

El análisis de series temporales más cortas y recientes como las de los datos de la red CEMAS para los nutrientes muestran:

- los nutrientes incrementan en el periodo más corto considerado (2009-2012 para el amonio, 2010-2012 para los nitratos y 2011-2012 para los fosfatos), coincidiendo con una disminución del caudal del río en estos años (**Figura 2**),

En la última década, el aumento de la transparencia del agua (menos sólidos en suspensión y menos clorofila-a), unido a una disponibilidad de nutrientes suficiente, ha podido favorecer el crecimiento de los macrófitos en el tramo medio del Ebro.

En los años secos del periodo (2011-12), con concentraciones de nutrientes relativamente más elevadas (por el menor caudal) y mejores condiciones para su captación (menor velocidad del agua), se ha podido favorecer el crecimiento y proliferación de los macrófitos (en especial en 2012).

En la **Tabla 17** se resumen los principales resultados obtenidos de las regresiones lineales realizadas con las variables fisicoquímicas y con la clorofila-a.

Tabla 17. Tabla resumen de los resultados de las regresiones lineales realizadas con las variables físicoquímicas (CE, Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos, Amonio, Nitratos y Fosfatos) y la clorofila a planctónica. Se muestran la red o fuente de datos, la tendencia observada y el periodo en el que se observa esta tendencia. También se presenta una estación representativa, para la que se muestra el periodo de cambio significativo, el grado de ajuste de la regresión (R^2), el nivel de significación (p) y el número de datos utilizados en el test (n).

Variable	Red/ Fuente	Tendencia	Periodo en el que se observa	Estación representativa				
				Nombre	Periodo	R^2	$p <$	n
Temperatura (°C)	SAICA	↑ (ajuste débil, baja R^2)	1996-2012; 2006-2012; 2009-2012	Presa de Pina - T1	2006-2012	0,004	0,01	2344
Turbidez (NTU)	SAICA	≈↓	1996-2012; 2006-2012; 2009-2012	Cabañas - T1	2006-2012	0,131	0,001	2408
MES (mg/L)	CEMAS	≈↓	2001-2012; 2006-2012	La Almozara- T1	2001-2012	0,051	0,05	114
Conductividad eléctrica (μS/cm)	SAICA	↑	1996-2012; 2006-2012; 2009-2012	Presa de Pina - T1	2009-2012	0,082	0,001	1402
				Monzón -T3	2009-2012	0,145	0,001	1448
NH₄⁺ (mg/L)	SAICA	↓	1999-2012; 2006-2012	La Almozara - T1	1996-2012	0,094	0,001	5206
		↑	2009-2012	Presa de Pina - T1	2009-2012	0,170	0,001	1354
NO₃⁻ (mg/L)	CEMAS	↓	2001-2012; 2006-2012	Presa de Pina- T1	2006-2012	0,132	0,05	44
	SAICA	↑	2010-2012	Presa de Pina- T1	2010-2012	0,080	0,001	723
PO₄³⁻ (mg/L)	CEMAS	↓	2006-2012	Presa de Pina- T1	2006-2012	0,114	0,0249	42
	SAICA	↑	2011-2012	Presa de Pina- T1	2011-2012	0,110	0,001	617
Clorofila a (mg/m³)	UdG	↓	2005-2012	T1 y T2, promedio de estaciones	2005-2012	0,221	0,01	44

5.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS TRAMOS SEGÚN LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS Y EL CAUDAL

5.3.1. Caracterización según los datos recopilados de la red SAICA

Las condiciones fisicoquímicas y de caudal existentes en los tramos 1 y 3 se han caracterizado mediante la realización de un Análisis de redundancia (RDA), en el que se han usado los promedios mensuales de variables fisicoquímicas de la red SAICA y del caudal del río en el periodo 1999-2012 (**Tabla 18**).

Tabla 18. Variables utilizadas en el RDA de caracterización de los tramos 1 y 3 con datos fisicoquímicos de la red SAICA y el caudal medido en la red SAIH. Se especifica la red a la que pertenecen y la estación o estaciones a las que corresponden cada variable.

Variable	Red	Periodo	Tramo	Río	Estación
Caudal (m ³ /s)	Clásica	hasta 30/09/2008	1	Ebro	Zaragoza-La Almozara
			3	Cinca	Fraga
	SAIH	01/10/2008 - 2012	1	Ebro	Zaragoza-La Almozara
			3	Cinca	Fraga
Temperatura (°C), turbidez (NTU), conductividad eléctrica (µS/cm) y amonio (mg/L),	SAICA	1999-2012	1	Ebro	Cabañas Zaragoza-La Almozara Presa de Pina
			3	Cinca	Monzón

Los resultados del RDA indican (**Figura 19**):

- El caudal, la temperatura y la conductividad eléctrica están muy relacionados.
- En el tramo 1, las estaciones de Cabañas y La Almozara son similares en cuanto a las variables consideradas. Presa de Pina, sin embargo, se aparta de las dos estaciones anteriores. Esto es debido a que presenta valores más elevados de amonio.
- La estación del tramo 3 (Cinca) se aparta de las estaciones del tramo 1 debido a que presenta valores menores de conductividad eléctrica y de caudal, así como de temperatura, tal y como se ha observado en las mediciones *in situ* durante las campañas realizadas (**apartado 6.2**).

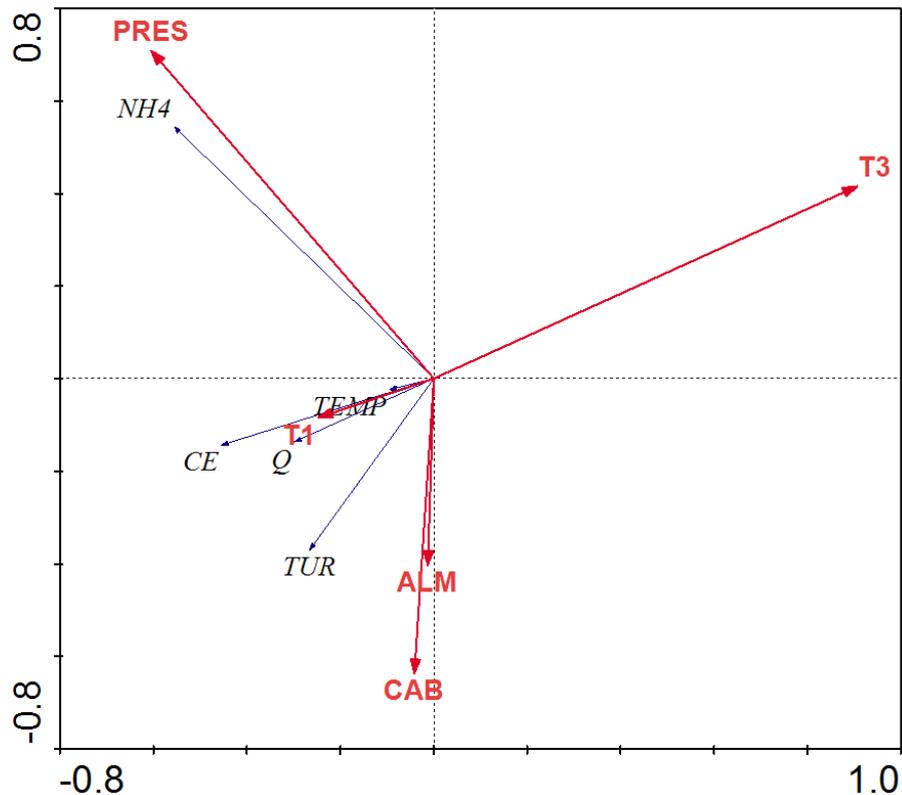


Figura 19. Representación gráfica del RDA realizado con los promedios mensuales de las variables fisicoquímicas de la red SAICA (estaciones de Cabañas, La Almozara y Presa de Pina en el Ebro, y Monzón en el Cinca) y del caudal del río Ebro (estaciones de Ebro-La Almozara y Cinca-Fraga) en los tramos 1 y 3 en el periodo 1999-2012.

5.3.2. Caracterización según los datos recopilados de la red CEMAS

Las condiciones fisicoquímicas y de caudal existentes en los tramos 1, 2 y 3 se caracterizaron con un RDA realizado con los promedios anuales de variables fisicoquímicas de la red CEMAS y del caudal (**Tabla 19**) en el periodo 2002-2012.

Tabla 19. Variables utilizadas en el RDA de caracterización de los tramos 1, 2 y 3 con datos fisicoquímicos de la red CEMAS (promedio anual) del periodo 2002-2012. Se especifican las estaciones a las que corresponden las variables en cada tramo.

Variables	Tramo	Río	Estaciones
Caudal (m³/s)	1 y 2	Ebro	Zaragoza-La Almozara
	3	Ebro	Fraga
Temperatura (°C) Conductividad eléctrica (µS/cm) Amonio (mg/L) Nitratos (mg/L) Fosfatos (mg/L)	1	Ebro	Zaragoza-La Almozara Presa de Pina
	2	Ebro	Sástago Pina de Ebro Escatrón
	3	Cinca	Fraga

Los resultados del RDA indican lo siguiente (**Figura 15**):

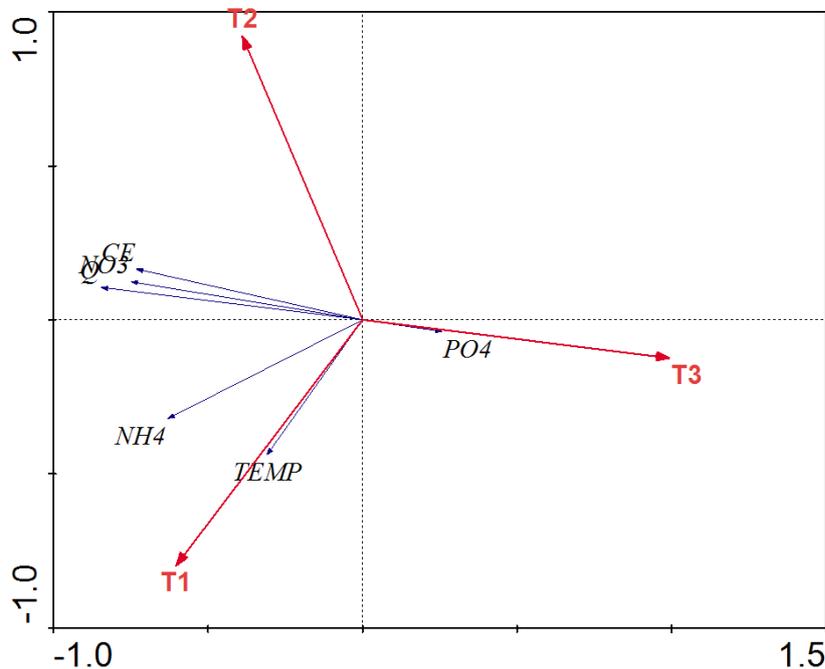


Figura 20. Representación gráfica del RDA realizado con los promedios mensuales de las variables fisicoquímicas de la red SAICA (estaciones de Cabañas, La Almozara y Presa de Pina en el Ebro, y Monzón en el Cinca) y del caudal del río Ebro (estaciones de Ebro-La Almozara y Cinca-Fraga) en los tramos 1 y 3 en el periodo 1999-2012.

- Caudal, conductividad eléctrica y nitratos están muy relacionados, debido al efecto de dilución de estas variables por el caudal.
- En el tramo 1: Cabañas y La Almozara son similares en cuanto a las variables consideradas. Presa de Pina se aparta de las dos estaciones anteriores por presentar valores más elevados de amonio.
- Las diferencias entre el tramo 1 y el tramo 2 se explican por los valores más altos de amonio en una de las estaciones del tramo 1.
- El tramo 3 se caracteriza por tener valores menores de conductividad eléctrica, de caudal y de nitratos, así como de temperatura, tal y como se ha observado en las mediciones *in situ* durante las campañas realizadas (**apartado 6.2**).

En resumen cabe señalar que la caracterización de los tramos según los datos de la red SAICA y CEMAS presentan resultados prácticamente equivalentes.

5.4. CALIDAD BIOLÓGICA

5.4.1. Variables seleccionadas

Las variables recopiladas sobre calidad biológica fueron:

- Porcentaje de cobertura de macrófitos en 2011-2012, como expresión de la evolución temporal del desarrollo de los macrófitos en ese periodo.
- Índice IVAM, como métrica de evaluación de la calidad del agua basada en las comunidades de macrófitos.
- Composición y abundancia de especies de peces, así como su variación temporal por su posible interacción con las comunidades de macrófitos.

5.4.2. Evolución temporal de la cobertura de macrófitos

En los datos recopilados, y correspondientes a los meses de verano, *Potamogeton* sp., *Myriophyllum* sp. y *Ceratophyllum* sp. (los géneros más abundantes observados en las campañas de 2012), presentan distinta tendencia temporal en 2011 y 2012 (**Tabla 20**):

- *Potamogeton* sp. presenta coberturas elevadas en 2012 en el Ebro. En el Cinca, se observan coberturas bajas en 2012, no obstante éstas eran altas en 2011.
- *Myriophyllum* sp. sólo aparece en 2012 y con coberturas bajas.
- *Ceratophyllum* sp. presenta valores de cobertura bajos en los datos recopilados, excepto en el Ebro en Pina, en 2012.

De estos resultados se deduce que debe existir una importante heterogeneidad espacial en la distribución de las especies de macrófitos, y una variabilidad temporal acusada. Lo más llamativo es el hecho de que, *Potamogeton* sp. se desarrolló de forma masiva en el Ebro medio en 2012, mientras que en 2011 presentó unas coberturas bajas.

Tabla 20. Datos de la red CEMAS de cobertura (%) de los macrófitos más abundantes encontrados en las campañas de 2012: *Potamogeton* sp, *Myriophyllum* sp. y *Ceratophyllum* sp. Se especifica el tramo y la estación donde se observaron, y el año al que corresponden.

Macrófito	Tramo	Estación	Año	% cobertura
<i>Potamogeton</i> sp.	Tramo medio del Ebro	La Almozara	2012	60
		Presa de Pina	2011	<0,1
			2012	60
		Burgo de Ebro	2011	1
	2012		80	
	Tramo comparativo del Ebro	Pina de Ebro	2011	1
		Escatrón	2011	10
	Tramo comparativo del Cinca	Cinca-Fraga	2011	50
2012			<0,1	
<i>Myriophyllum</i> sp.	Tramo medio del Ebro	La Almozara	2012	1
		Presa de Pina	2012	1
<i>Ceratophyllum</i> sp.	Tramo medio del Ebro	La Almozara	2011	0,1
			2012	<0,1
		Presa de Pina	2011	0,1
			2012	<0,1
		Burgo de Ebro	2011	10
			2012	0,1
	Tramo comparativo del Ebro	Pina de Ebro	2011	60
		Escatrón	2011	1

5.4.3. Evolución temporal del índice IVAM

La evolución temporal del índice IVAM, que evalúa la calidad del agua en base a las comunidades de macrófitos existentes, muestra un incremento en los dos últimos años del periodo considerado (2011 y 2012; **Figura 21**). El aumento del IVAM se explica en parte por el incremento en el número de especies (**Figura 22**), lo que podría estar influido por los caudales moderado-bajos que circularon en 2011 y 2012.

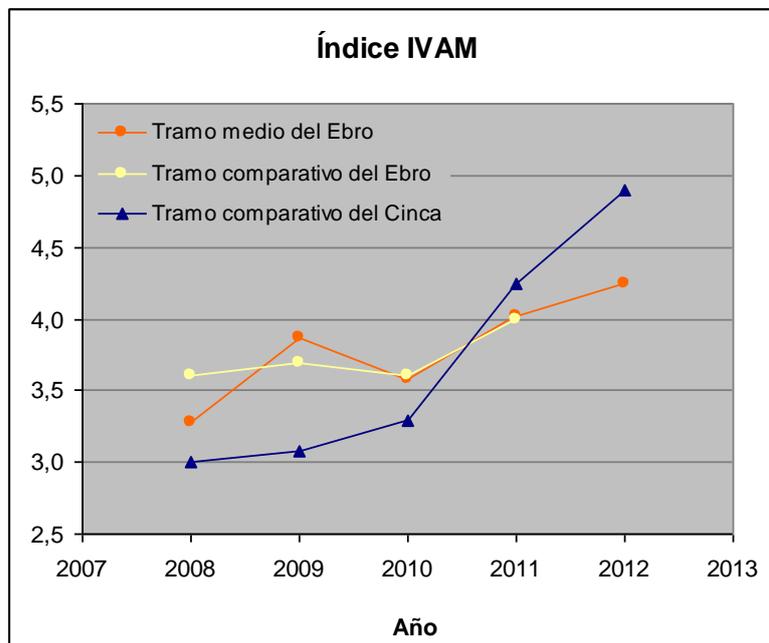


Figura 21. Índice IVAM (promedio) medido en los tres tramos de estudio durante el periodo 2008-2012.

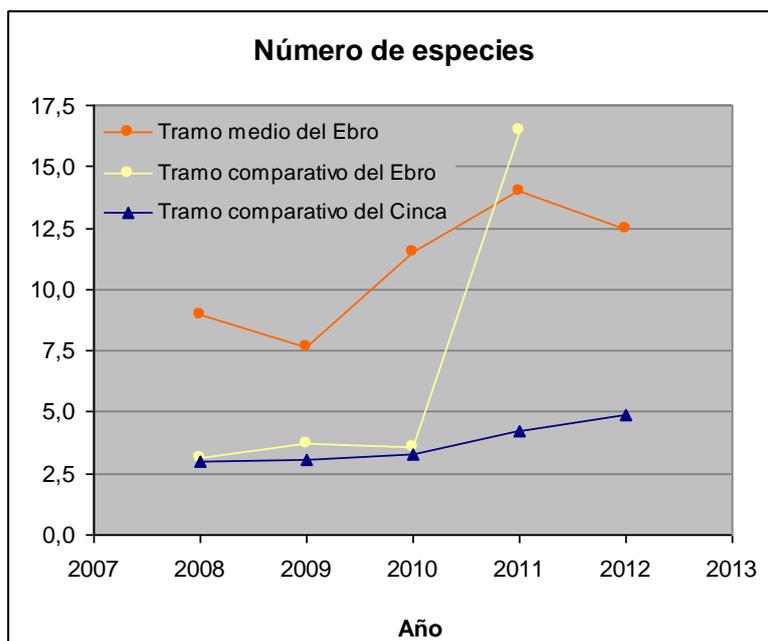


Figura 22. Número de especies de macrófitos (promedio) en los tres tramos de estudio durante el periodo 2008-2012

5.4.4. Composición y evolución temporal de la fauna ictiológica

De los datos recopilados, finalmente se ha trabajado con los inventarios (datos de presencia y ausencia) obtenidos en los muestreos de la red CEMAS (estaciones de Presa de Pina y Fraga), ya que los datos disponibles del IBIMED correspondían a un sólo año para cada estación muestreada. Los datos de la Red de Control de Sustancias Peligrosas (RCSP) se han examinado y se incluyen para completar el inventario. Los datos de la red CEMAS y de la RCSP no son directamente comparables dado que proceden de metodologías diferentes, no obstante su inclusión en el inventario de peces de los tramos analizados es plausible y permite completar el diagnóstico requerido.

Las especies de peces que se identificaron en las cercanías de Presa de Pina, en el Ebro, y en el tramo bajo del río Cinca (en Monzón y Fraga), se muestran en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Especies de peces correspondientes a los muestreos de la red CEMAS en el Ebro en Presa de Pina (1994-2012) y en el Cinca en Fraga (1992-2011). El inventario se completa con los datos de las especies capturadas en la red de sustancias peligrosas en Presa Pina y en Monzón (RCSP, 2002-2013).

Nombre común	Especie	Red CEMAS		Red RCSP	
		Presa de Pina	Cinca - Fraga	Presa de Pina	Cinca - Monzón
Alburno	<i>Alburnus alburnus</i>	X	X	X	X
Bagre	<i>Squalius laietanus</i>		X		X
Barbo	<i>Barbus graellsii</i> + <i>Barbus haasi</i>	X	X	X	X
Bermejuela	<i>Parachondrostoma arcasii</i>		X		
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	X		X	X
Carpín	<i>Carassius auratus</i>	X			
Gambusia	<i>Gambusia holbrooki</i>			X	X
Gardí	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>			X	X
Gobio	<i>Gobio lozanoi</i>	X	X	X	X
Lamprehuera	<i>Cobitis calderoni</i>				X
Lobo de río	<i>Barbatula quignardi</i>				X
Lucio	<i>Esox lucius</i>	X			
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>		X		X
Pez gato	<i>Ameiurus melas</i>	X		X	
Pez rojo	<i>Carassius auratus</i>			X	X
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>			X	
Rutilo	<i>Rutilus rutilus</i>			X	X
Siluro	<i>Silurus glanis</i>			X	X

Ebro en Presa de Pina

Los datos correspondientes a la red CEMAS en Presa de Pina muestran una comunidad constituida básicamente por alburno, barbo, madrilla y carpa, en los primeros años (**Tabla 22**). No se encuentra madrilla desde 1996, carpa desde 2000 (en 2012 se ha capturado) y barbo desde 2007. Otras especies aparecen de forma esporádica en el tiempo, como el carpín o pez rojo, el gobio, el lucio y el pez gato.

Tabla 22. Distribución temporal de las capturas de peces en los muestreos de la red CEMAS en el Ebro en Presa de Pina (1994-2012). En trama verde las especies autóctonas. La numeración indica clases de abundancia.

Denominación especies		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alburno	<i>Alburnus alburnus</i>					2	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Barbo	<i>Barbus spp.</i>			2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	2	2			1		1												1
Lucio	<i>Esox lucius</i>					1														
Gobio	<i>Gobio lozanoi</i>																			1
Pez gato	<i>Ameiurus melas</i>					1														
Pez rojo	<i>Carassius auratus</i>					1														1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	1	2	2																

Los datos obtenidos en los muestreos de la RCSP en Presa Pina (**Tabla 23**) amplían el inventario en cinco especies: gambusia, gardí, piscardo, rutilo y siluro. Además amplían el periodo en el que están presentes la carpa, gobio y pez rojo.

Tabla 23. Distribución temporal de las capturas de peces en la RCSP en el Ebro en Presa de Pina (2002-2013). En trama verde las especies autóctonas. La numeración indica porcentaje de abundancia para el tipo de captura usado en dicha red (los valores de abundancia no son comparables con los de la red CEMAS).

Denominación especies		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Alburno	<i>Alburnus alburnus</i>	50	70	60	45	40	64	85	60	86	20	30	74
Barbo	<i>Barbus graellsii</i>	35	14	15	6	20	5	1	1	3	5	1	3
Barbo colirrojo	<i>Barbus haasi</i>			5	10								
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	5		10	12	10	7	4	11		10	7	5
Gambusia	<i>Gambusia holbrooki</i>				1	10	5		5		30	44	
Gardí	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>						1						1
Gobio	<i>Gobio lozanoi</i>	10	10		12	10	3	5	18	10	15	10	12
Pez gato	<i>Ameiurus melas</i>		1										
Pez rojo	<i>Carassius auratus</i>		5	10	12	10	10					3	
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>										5		2
Rutilo	<i>Rutilus rutilus</i>										10		
Siluro	<i>Silurus glanis</i>				2		5	5	5	1	5	5	3

La disminución del barbo a partir de 2007, y de otras especies como pez rojo, pueden estar relacionadas con la aparición del siluro en el eje del Ebro. Esta especie se capturó por primera vez en el tramo medio del Ebro, en 2005, y su presencia ha sido continua en los muestreos de la RCSP desde 2007.

Tramo bajo del Cinca

En la estación de Fraga, en el Cinca, correspondiente a la red CEMAS, el alburno y el barbo son las especies con una mayor presencia en el periodo considerado, aunque el alburno no se encuentra entre 2006 y 2010 (**Tabla 24**). El bagre apareció en 2007 y se encontró hasta el final del periodo, y la bermejuela, el gobio y la madrilla aparecieron esporádicamente durante los primeros años del periodo del que se tienen datos.

En esta estación no se observa la disminución de la población de barbo, que se aprecia en Presa de Pina a partir de 2007.

Tabla 24. Distribución temporal de las capturas de peces en los muestreos de la red CEMAS en la estación de Fraga (río Cinca) (1992-2011). En trama verde las especies autóctonas. La numeración indica clases de abundancia.

Denominación especies		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Alburno	<i>Alburnus alburnus</i>			2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2						2
Barbo	<i>Barbus spp.</i>		2				1			1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	
Bagre	<i>Squalius cephalus</i>																2	1	1	2	2
Bermejuela	<i>Parachondrostoma arcasii</i>						1														
Gobio	<i>Gobio lozanoi</i>	1	1																		
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	2	1																		

El inventario de peces del río Cinca se incrementa en 8 especies si se toma en cuenta los inventarios de la estación de la RCSP en Monzón. Éstas son: carpa, gambusia, gardí, lamprehuela, lobo de río, pez rojo, rutilo y siluro (**Tabla 25**).

Tabla 25. Distribución temporal de las capturas de peces en la RCSP en el río Cinca en Monzón (2002-2013). En trama verde las especies autóctonas. La numeración indica porcentaje de abundancia para el tipo de captura usado en dicha red (los valores de abundancia no son comparables con los de la red CEMAS).

Denominación especies		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Alburno	<i>Alburnus alburnus</i>	30	15	15	40		5		15	10	12		
Bagre	<i>Squalius cephalus</i>			20	25		40	25	11	15	12	35	10
Barbo	<i>Barbus graellsii</i>	15	5	10	15	10	30	10	5	10	11	35	5
Barbo colirrojo	<i>Barbus haasi</i>			10	10	20	10	7	10				10
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	5	5					3	2		3	1	
Gambusia	<i>Gambusia holbrooki</i>											3	
Gardí	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	10											
Gobio	<i>Gobio lozanoi</i>	5	35	30	10	30		50	30	35	20	11	70
Lamprehuela	<i>Cobitis calderoni</i>											4	
Lobo de río	<i>Barbatula barbatula</i>			5				2	2		1	4	
Madrilla	<i>Chondrostoma miegii</i>	35	35	10		10	15	3	25	30	20	5	5
Pez rojo	<i>Carassius auratus</i>		5										
Rutilo	<i>Rutilus rutilus</i>										20		
Siluro	<i>Silurus glanis</i>										1	2	

Las poblaciones de peces y los macrófitos

Se plantea el análisis de la posible influencia de la fauna íctica sobre el crecimiento de los macrófitos en el tramo medio del Ebro. Los factores más importantes son: i) el efecto directo de los peces sobre los macrófitos por herbivorismo, y ii) efectos indirectos derivados de la modificación de las condiciones ambientales (en especial la transparencia del agua). Se observa que:

- Las especies de peces encontradas no se alimentan directamente de macrófitos sumergidos, no obstante algunas de ellas, la carpa y el barbo, pueden comer macroalgas y remover el fondo (carpa).
- El barbo es una especie bentófila que se alimenta del perifiton que se desarrolla en los sustratos sumergidos, y también de macroalgas y posiblemente de pequeños brotes de macrófitos. Su actividad alimentaria puede influir en el crecimiento de los macrófitos en sus fases iniciales de crecimiento, como resultado de la perturbación de brotes y plántulas, o quizás, por su consumo.

La disminución de la población de barbo que se observa en el río Ebro, a partir de 2007 puede haber favorecido el crecimiento de los macrófitos, al reducirse la posible presión de la especie sobre los brotes y plántulas.

- La carpa se alimenta de detritos y para ello remueve el fondo, lo que puede producir una cierta alteración de éste, y de los pequeños brotes de macrófitos, además de provocar un enturbiamiento local del agua. En tramos lénticos de ríos o en lagos, el enturbiamiento del agua debido a la actividad de las carpas es un factor importante de posible reducción de las poblaciones de macrófitos.

En el tramo medio del Ebro, la población de carpa no es muy abundante. La aparición del alburno que consume las huevas de peces, y últimamente del siluro que depreda sobre alevines y fases juveniles, son factores que han podido desequilibrar la población de carpas y con ello limitar su crecimiento. En todo caso los efectos de la carpa sobre los macrófitos serían locales (en tramos lénticos y con sustratos finos) y de poca significación.

- Además, se ha descrito el hecho de que la reducción de ciprínidos locales, como el barbo, puede incrementar la transparencia del agua como resultado de la modificación de la estructura de la comunidad del zooplancton, y de esta forma favorecer de forma indirecta a los macrófitos. Esto es porque los alevines y juveniles de barbo pueden depredar sobre la fracción del zooplancton constituida por especies de pequeño tamaño. En ausencia (o menor abundancia) de barbo, la comunidad del zooplancton tiende a estar dominada por especies de mayor tamaño (cladóceros), que retirarían cantidades mayores de fitoplancton que otras especies más pequeñas.

Se considera que la influencia de la comunidad de peces sobre el crecimiento de macrófitos en el tramo medio del Ebro no ha sido relevante, si bien han existido factores de favorecimiento como son la disminución de la población de barbo y el mantenimiento de la población de carpas en densidades bajas.

Por otro lado, el desarrollo de los macrófitos ha sido favorable para ciertas especies de peces, como la gambusia y otras especies insectívoras (piscardo, rutilo), cuya presencia en el río coincide con el aumento de la cobertura de macrófitos observado en los últimos años. Esto es porque la aparición de grandes masas de macrófitos ha proporcionado nuevas zonas de refugio y/o mayor abundancia de alimento (insectos) a las especies indicadas. En este caso,

el cambio en la comunidad de peces es una consecuencia, y no una causa, de las proliferaciones de macrófitos en el tramo medio del Ebro.

En el tramo bajo del Cinca, no se observa disminución de la población de barbo a causa del siluro, especie que se ha detectado en el río mucho más tarde que en el Ebro medio. Los efectos de dicha interacción están todavía por ver. Asimismo la población de carpa es relativamente frecuente en el tramo de Monzón pero poco abundante.

En el río Cinca, y con los datos disponibles (sólo hay datos de cobertura de macrófitos en 2011 y 2012), no se puede establecer ninguna relación entre el aumento de la cobertura de los macrófitos y la variación de la composición y abundancia de la comunidad de peces.

5.5. PROCESOS ANTROPOGÉNICOS POTENCIALMENTE RELACIONADOS CON EL DESARROLLO DE LOS MACRÓFITOS

5.5.1. Contaminación del agua y alteración morfológica del río por presencia de estructuras.

A partir de las evaluaciones de las presiones sobre las masas de agua, realizadas en 2007, 2009 y 2012 por la CHE, se observa que, en los tramos de río objeto de estudio, hay pocos cambios, en el periodo considerado, en las presiones relacionadas con contaminación puntual y difusa (2007-2012; **Tabla 26**). Éstos son:

- la presión por contaminación puntual incrementa de *nula* a *alta* en las masas de agua 453 (Zaragoza) y 438 (Cinca);
- la presión por contaminación difusa incrementa de *nula* a *baja* en las masas de agua 441 y 438, en el Cinca (por usos agrícolas y ganaderos, respectivamente) y de *media* a *alta* en la masa 453 (por usos urbanos), en Zaragoza.

Por otro lado, no se observan cambios por presiones relacionadas con la alteración morfológica del río por presencia de estructuras, que es *nula* en todas las masas de agua excepto en la 453 (Zaragoza), por la presencia del azud del Ebro (azud Manuel Lorenzo Pardo), y en la 454, por la presa de Pina.

Tabla 26. Resultados (en colores) de la evaluación de las presiones por contaminación puntual, difusa y alteración morfológica del cauce en las masas de agua incluidas en los tramos de estudio. Estos resultados corresponden a los informes IMPRESS de 2007, 2009 y 2012, tal como se indica en la tabla. T1: tramo medio del Ebro; T2: tramo comparativo del Ebro; T3: tramo comparativo del Cinca. Rojo: presión alta; naranja: presión media; amarillo: presión baja; azul: presión nula; gris: sin datos; blanco: presión no evaluada.

Presión	T1 - 452		T1 - 453		T1 - 454		T2 - 455		T2 - 456		T3 - 441		T3 - 438	
	2009	2012	2007	2012	2009	2012	2009	2012	2009	2012	2009	2012	2007	2012
<i>Contaminación puntual</i>														
Vertidos biodegradables urbanos e industriales	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Vertidos de núcleos no saneados	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■
Por autorización de sustancias peligrosas	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■

Presión	T1 - 452		T1 - 453		T1 - 454		T2 - 455		T2 - 456		T3 - 441		T3 - 438	
	2009	2012	2007	2012	2009	2012	2009	2012	2009	2012	2009	2012	2007	2012
Por Autorización Ambiental Integrada (IPPC)	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■
<i>Contaminación difusa</i>														
Usos agrícolas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Usos ganaderos	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Usos urbanos	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Zonas mineras	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Vías de comunicación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Alteración morfológica del cauce</i>														
Longitudinales (Encauzamientos y canalizaciones)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Transversales (Presas y azudes)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Según estos resultados, la presión por contaminación incrementó en el periodo entre la elaboración de los dos documentos IMPRESS. Sin embargo, debido a que la proliferación de macrófitos se dio con una intensidad similar en masas de agua donde no varió la presión por contaminación puntual o difusa, el desarrollo masivo de los macrófitos no parece estar relacionado directamente con los cambios mencionados.

5.5.2. Alteraciones de las condiciones morfológicas del río: zona ribereña y cauce

Las condiciones de la zona de ribera se evalúan con el índice QBR, el cual presenta los valores más bajos en la estación de La Almozara situada en una zona con encauzamientos. Este índice presenta una cierta mejora en 2010 en todas las estaciones para las que hay datos, seguido de un cierto empeoramiento en los dos últimos años (2011 y 2012, Ebro en Burgo de Ebro, Pina de Ebro y Escatrón, y Cinca en Fraga; **Figura 23**). En la mayoría de los casos, la evaluación de la calidad según este índice está por debajo del límite entre Muy Buena y Buena (QBR=69,7, según el *Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro* - BOE núm. 52 de 1 de marzo de 2014).

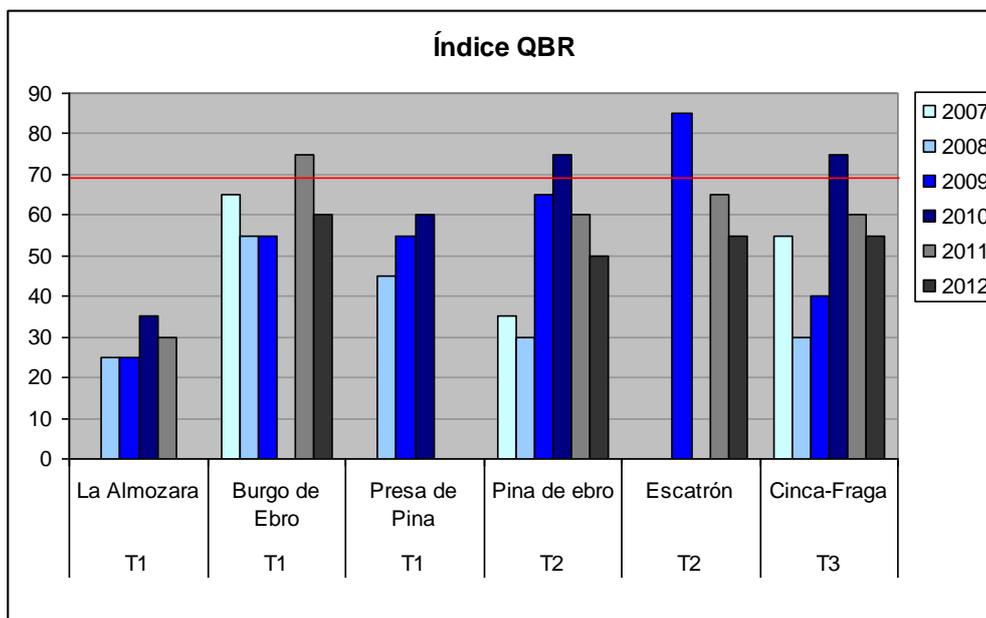


Figura 23. Índice QBR medido en las estaciones correspondientes a los tres tramos de estudio durante el periodo 2007-2012. La línea roja indica el límite entre las clases de calidad Muy Buena y Buena para este índice, según el *Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro* (BOE núm. 52 de 1 de marzo de 2014)

Las condiciones morfológicas del cauce (estructura y sustrato) se evalúan por medio del índice IHF, Este índice presenta valores generalmente por encima del límite entre las clases de calidad Muy Buena y Buena (IHF=59,9, según el *Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro* - BOE núm. 52 de 1 de marzo de 2014). En el Ebro se observa una cierta disminución del IHF en 2011 y 2012 en las estaciones para las que hay datos (La Almozara, Burgo de Ebro, Pina de Ebro y Escatrón), lo que indicaría una cierta homogeneización de las condiciones morfológicas del río, mientras que en el Cinca se observa una disminución del índice IHF en 2011 que se recupera en 2012 (**Figura 24**). Las variaciones del índice IHF no reflejan cambios de importancia en la hidromorfología de los tramos evaluados.

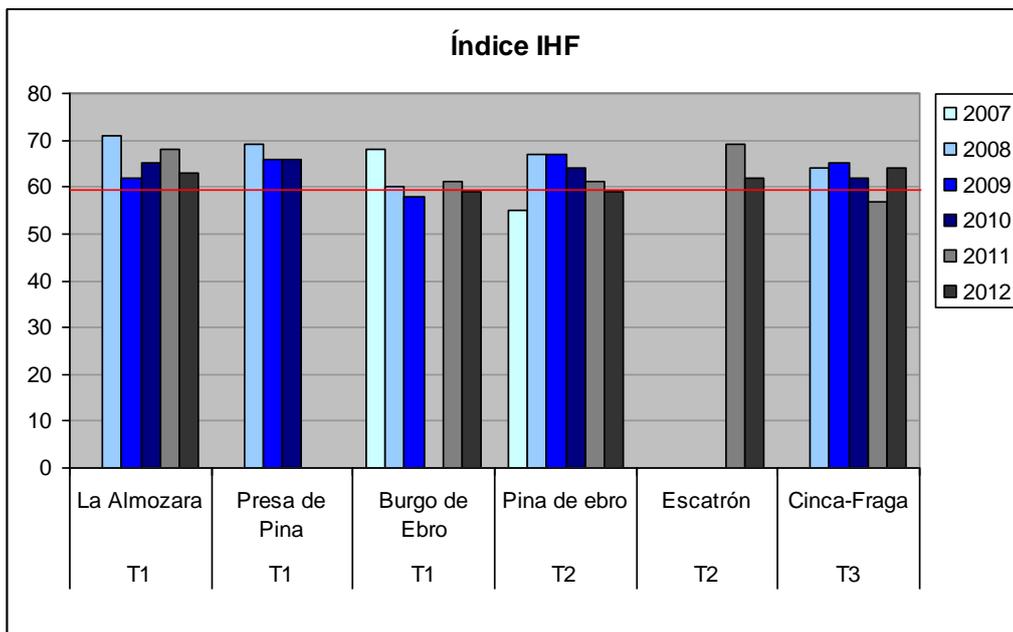


Figura 24. Índice IHF medido en las estaciones correspondientes a los tres tramos de estudio durante el periodo 2007-2012. La línea roja indica el límite entre las clases de calidad Muy Buena y Buena para este índice, según el *Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro* (BOE núm. 52 de 1 de marzo de 2014)

6. RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

6.1. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

Durante el periodo de estudio, el caudal del río varió entre campañas (**Figura 25**), con valores más altos en mayo que en julio y septiembre de 2012, y valores muy altos en julio de 2013:

- La observación de macrófitos en el mes de mayo se realizó después de un periodo de caudales elevados (**Figura 25**), con un máximo de 624 m³/s el 1 de mayo (caudal alto según la caracterización hidrológica del IHA, **apartado 5.1.**). Durante el muestreo de campo el caudal fue de 95,6 m³/s de promedio (*caudal bajo* según IHA).
- La campaña del mes de julio se realizó en época de estiaje, tras un periodo largo de caudales bajos (inferiores a 70 m³/s desde el 30 de mayo). Durante el muestreo de campo el caudal fue de 33,4 m³/s (cercano al *caudal extremadamente bajo* según IHA). Unos dos meses antes de esta campaña, se dio un pico de caudal superior a 200 m³/s que duró unos 3 días (23-25/05/2012).
- La campaña del mes de septiembre se realizó después de una época de estiaje larga, con caudales inferiores a 70 m³/s desde el 30 de mayo. Durante los días de muestreo de campo el caudal medio fue de 30,7 m³/s (*caudal extremadamente bajo* según IHA).
- La campaña del mes de julio de 2013 se realizó después de meses de caudales elevados, con caudales superiores a 200 m³/s desde mediados de enero de 2013 hasta principios de ese mismo mes, con puntas de hasta 1.800 m³/s (próximo al caudal de *gran crecida* según IHA). Durante los días de muestreo de campo el caudal medio fue de unos 50 m³/s.

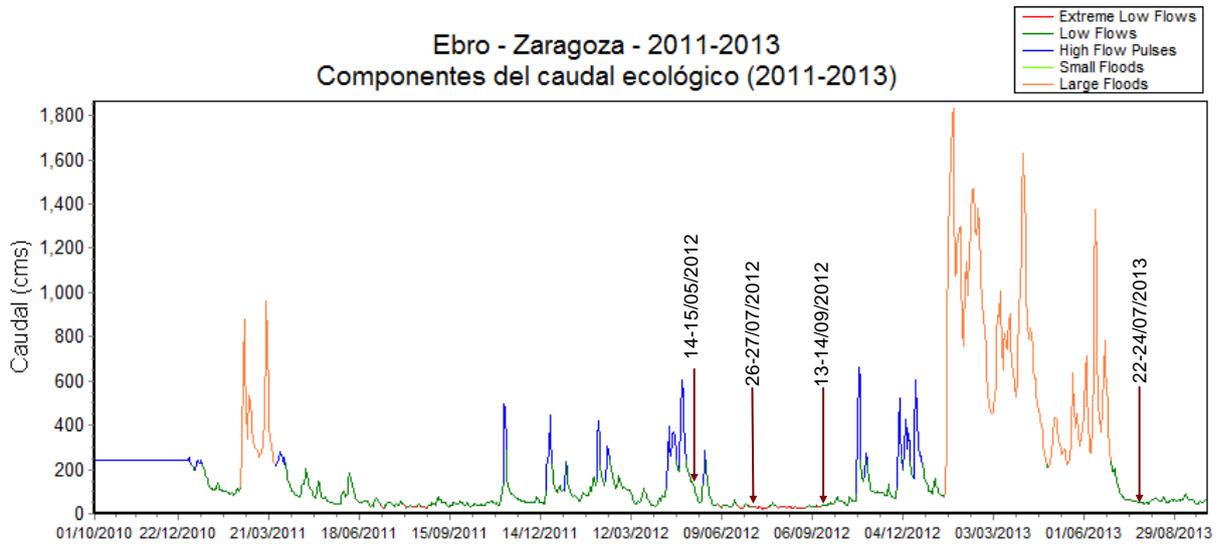


Figura 25. Caudal del río Ebro en Zaragoza en el periodo 2011-2013 y fechas de muestreo de las campañas de 2012 y 2013. El caudal se muestra como los componentes del caudal ecológico, integrados por los caudales bajos, caudales extremadamente bajos, pulsos de caudal alto, y pequeñas y grandes inundaciones.

6.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MEDIDAS *IN SITU*

En las **Tablas 27, 28 y 29** se muestran los resultados de las mediciones *in situ* de las variables fisicoquímicas (temperatura, profundidad de disco de Secchi y conductividad eléctrica) recogidas durante los recorridos del tramo medio del río Ebro (tramo 1) y de los tramos comparativos del río Ebro (tramo 2) y del Cinca (tramo 3).

En estos resultados se observa:

- En el río Ebro (tramo 1) la conductividad del agua varió en torno a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mayo, mientras que en julio y septiembre se midieron valores superiores a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto se atribuye a la variación del caudal que fue alto en mayo y bajo en julio y septiembre. El disco de Secchi también fue menor en mayo con valores de $<0,5$ m, frente a valores entre 0,8 y 2,3 m en julio y septiembre. La temperatura media en el tramo fue en torno a 20°C en mayo y septiembre y de 25°C en julio.
- En el tramo comparativo del Ebro (tramo 2), las medidas efectuadas en septiembre presentaron valores similares a los del tramo 1 (disco de Secchi y conductividad ligeramente superiores).

- En el tramo comparativo del Cinca (tramo 3), las medidas efectuadas en octubre muestran una conductividad inferior a la del Ebro (excepto en mayo), temperatura más baja y una transparencia escasa (0,24 m de disco de Secchi).

Tabla 27. Temperatura, profundidad de disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE) medidas en las distintas campañas realizadas en el tramo 1. Se especifica la sección donde se realizó la medición y la localización del punto de muestreo (margen del río y coordenadas UTM). Para cada campaña se presenta el promedio de cada variable medida.

Sección	Margen	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Tramo 1 - Mayo		
		X (m)	Y (m)	Temperatura (°C)	DS (m)	CE (µS/cm)
Mayo						
1	D	661.213	4.627.144	20,5	0,42	958
17	I	664.524	4.623.052	21,0	-	969
46	I	673.642	4.615.694	21,2	0,42	1.028
48	I	674.102	4.614.972	18,1	0,44	1.139
70	D	679.988	4.613.183	18,8	0,42	1.107
106	D	694.846	4.602.776	20,0	0,48	1.211
			<i>Promedio</i>	19,9	0,44	1.069
Julio						
1	D	661.213	4.627.144	24,3	0,90	2.300
15	D	664.456	4.624.990	24,8	1,00	2.320
45	I	674.320	4.615.964	25,6	1,80	2.490
66	D	677.485	4.613.871	25,2	1,80	2.500
71	D	680.351	4.612.259	24,5	1,80	2.480
104	I	693.829	4.602.899	24,6	2,30	2.640
			<i>Promedio</i>	24,8	1,60	2.455
Septiembre						
1	D	661.213	4.627.144	20,5	0,78	2160
15	D	664.456	4.624.990	20,8	0,80	2160
42	I	673.667	4.617.944	21,0	0,90	2200
66	D	677.485	4.613.871	-	1,70	2230
85	D	684.698	4.608.000	-	1,40	2290
			<i>Promedio</i>	20,8	1,12	2.208

Tabla 28. Temperatura, profundidad de disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE) medidas en la campaña realizada en el tramo 2. Se especifica la sección donde se realizó la medición y la localización del punto de muestreo (margen del río y coordenadas UTM). Se muestra también el promedio correspondiente a cada variable medida.

Sección	Margen	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Tramo 2 - Septiembre		
		X (m)	Y (m)	Temperatura (°C)	DS (m)	CE (µS/cm)
3	C	702.044	4.600.280	20,3	2,80	2.400
22	I	708.921	4.590.256	21,1	1,55	2.460
27	C	711.485	4.585.654	20,1	1,00	2.540
42	C	719.894	4.579.836	21,6	0,70	2.570
45	D	721.972	4.578.274	21,8	0,80	2.590
<i>Promedio</i>				20,5	1,78	2.467

Tabla 29. Temperatura, profundidad de disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE) medidas en la campaña realizada en el tramo 3. Se especifica la sección donde se realizó la medición y la localización del punto de muestreo (margen del río y coordenadas UTM). Se muestra también el promedio correspondiente a cada variable medida.

Sección	Margen	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Tramo 3 - Octubre		
		X (m)	Y (m)	Temperatura (°C)	DS (m)	CE (µS/cm)
1	I	771.890	4.610.529	17,4	0,27	1.289
10	C	777.009	4.605.852	18,3	0,24	1.448
22	I	780.452	4.594.330	16,9	0,22	1.452
27	D	779.935	4.592.107	17,0	0,24	1.456
<i>Promedio</i>				17,4	0,24	1.411

6.3. CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD DE MACRÓFITOS DEL EBRO MEDIO

6.3.1. Inventario de especies

Las principales especies identificadas en el tramo medio del río Ebro fueron:

- *Potamogeton pectinatus*
- *Myriophyllum spicatum*
- *Ceratophyllum demersum*
- *Potamogeton crispus*
- *Potamogeton nodosus*
- *Potamogeton cf. perfoliatus*
- *Azolla filiculoides*
- *Lemna minor*
- Algas filamentosas

Las principales características de cada especie se explican a continuación.

***Potamogeton pectinatus* L.-.** Es un macrófito enraizado, que forma grandes masas de hojas estrechas y largas, sumergidas. Las raíces están poco desarrolladas y son pequeñas, suelen penetrar hasta 0,5 m de profundidad en sustratos arenosos (Kantrud, 1990) o hasta 1,5 m en sedimentos más finos (Best *et al.*, 2001). Este tipo de raíz indica que la planta absorbe más nutrientes de la columna de agua que del sustrato. Un rizoma puede tener hasta siete brotes en cuatro semanas, lo que indica su rápida proliferación en poco tiempo (Kantrud, 1990).



Imagen 1.- *Potamogeton pectinatus* L. en el tramo medio del río Ebro. Septiembre 2012.

En cuanto a preferencia de hábitat, *P. pectinatus* es poco específica, debido a su elevada plasticidad y resistencia dinámica. Suele localizarse en hábitats de aguas dulces o salobres

tranquilas y fertilizadas, pero también tiene capacidad para establecerse en tramos con corriente.

P. pectinatus es de las primeras especies de macrófitos que se desarrollan durante la primavera. Crece a partir de sus órganos de hibernación cuando la temperatura del agua supera los 10 °C, en general desde finales de marzo hasta junio. De mayo a finales de julio alcanza el máximo de biomasa, cuando se produce la floración. La polinización puede ser acuática, aérea o animal.

Entre junio y agosto empieza a formarse la drupa, que estará madura desde julio hasta septiembre. Cuando la drupa está madura, se desprende y puede ser transportada a la orilla del río o depositarse en el fondo del cauce. El fruto permanece en estado latente hasta marzo, y cuando se den las condiciones apropiadas podrá germinar en apenas 4 días.

Las estructuras vegetativas de resistencia aparecen con el inicio de la senescencia de la planta adulta (finales de agosto a octubre), y permanecen en hibernación hasta el mes de marzo, cuando estas estructuras vuelven a desarrollar raíces (Kantrud, 1990).



Imagen 2.- *Myriophyllum spicatum* L. en el tramo medio del río Ebro. Julio 2012.

Myriophyllum spicatum L.- Es un macrófito enraizado, de color verde pardo. Las hojas están divididas en forma de plumas, agrupadas en verticilos. Aunque puede desarrollarse en numerosos ambientes, se suele localizar en aguas dulces o salobres, tranquilas y de profundidad entre 0,5-1 a 6-10 metros (Best *et al.*, 2001; Jacono *et al.*, 2004).

Sus requerimientos ambientales son amplios. Tolerancia salinidades de hasta 15 partes por mil, y un pH entre 5,4 y 11 ud., aunque prefiere aguas alcalinas.

Frecuentemente presenta incrustaciones de carbonato que provienen de su precipitación (Jacono *et al.*, 2004; Newman, 2004). Sin embargo, necesita mucha luz, prefiere sedimentos inorgánicos de textura fina y ambientes con concentraciones de nutrientes intermedias (Jacono, 2004).

Su ciclo vital se desarrolla en unos 8 meses (marzo-octubre), y el resto del año el macrófito permanece en estado latente. Cuando las condiciones ambientales son favorables, empieza a

desarrollarse, en general a mediados y final de la primavera. La floración se produce entre junio y agosto. El volumen máximo de biomasa suele darse entre julio y agosto.

La reproducción y dispersión se realiza desde finales de verano hasta principios de otoño. La planta puede reproducirse por semillas, estolones o por fragmentación. Las semillas no se consideran importantes en la reproducción de esta especie (Ring *et al.*, 2001). En cambio, la fragmentación es el mecanismo más común, debido a la fragilidad de su estructura.

A finales de octubre el macrófito empieza a decaer, y resta latente en estructuras de resistencia (rizomas subterráneos) hasta principios de primavera, cuando vuelve a germinar.

Ceratophyllum demersum L.- Es un macrófito no enraizado, aunque presenta la peculiaridad de fijarse ligeramente al sustrato mediante hojas modificadas, debido a la ausencia de raíces. Las hojas se han transformado en unas estructuras filiformes rígidas y ramificadas, que se agrupan en verticilos, y el tallo no es rígido. Es una especie cosmopolita que puede proliferar en cualquier tipo de ambiente, aunque prefiere los cauces tranquilos.



Imagen 3.- *Ceratophyllum demersum L.* en tramo medio del río Ebro. Septiembre 2012.

Los requerimientos ambientales de esta especie no son muy exigentes, y puede encontrarse en aguas relativamente turbias, con menor disponibilidad de luz y mayor contenido en nutrientes.

La fase de crecimiento empieza cuando el agua alcanza una temperatura de 15 °C, generalmente a mediados de primavera (Barrat-Segretain, 1996). La época de floración es de mayo a septiembre, y es una de las pocas especies adaptadas a la polinización sumergida.

La reproducción puede ser vegetativa o sexual. La reproducción vegetativa es la más frecuente, debido a la fragilidad de la planta con las variaciones de caudal, y se reproduce por esquejes durante su desarrollo y en verano. La dispersión tiene lugar a finales de verano y en octubre, cuando el macrófito empieza a decaer.

No tiene órganos de resistencia propiamente dichos, sino que mantiene sus hojas durante el invierno, y utiliza los órganos reproductores vegetativos como mecanismo de supervivencia. Entre finales de octubre y la primavera resta en estado latente (Grosselain *et al.*, 2005).



Imagen 4.- *Potamogeton crispus* L. en el tramo medio del río Ebro. Mayo 2012.

***Potamogeton crispus* L.-** Es un macrófito de hojas gelatinosas, lanceoladas de 3 a 9 cm, translúcidas y con el borde rizado y finamente dentado, y totalmente sumergidas. El tallo es cuadrangular, y puede alcanzar entre 30 y 120 cm de longitud. Forma masas densas enraizadas en el sustrato, y crece en cursos de agua lenta o remansada, lagos, estanques, embalses y arroyos.



Imagen 5.- *Potamogeton nodosus* Poiret. en el tramo medio del río Ebro. Julio 2012.

***Potamogeton nodosus* Poiret.-** Es un macrófito de hojas flotantes, con pecíolo, con una distribución esparsa, forma oblonga y coriácea. La inflorescencia en forma de espiga (3-5 cm) sale fuera del agua. Tiene tallos de hasta 50 cm, enraizado en los nudos inferiores, poco ramificados. Suele aparecer en cursos de agua lentos.

Potamogeton perfoliatus L.- Es un macrófito de hojas sumergidas, de forma oval, translúcidas, sin pecíolo y pueden alcanzar hasta 8 cm de longitud. El periodo de floración es entre junio y septiembre. Puede vivir en aguas dulces estancadas o corrientes y además tolerar ambientes salobres.



Imagen 6.- *Potamogeton . perfoliatus L.* en el tramo medio del río Ebro. Julio 2012.

Azolla filiculoides Lam.- Es un helecho acuático flotante, con un crecimiento muy rápido, puede ocupar la extensión superficial de un lago en pocos meses. En Europa es una especie invasora. Cada planta mide entre 1 y 2 cm de diámetro, y pueden estar teñidas de color verde, rosa, naranja o rojo en los bordes de ramificación.



Imagen 6.- *Azolla filiculoides Lam.* en el tramo medio del río Ebro. Julio 2012.

No tolera temperaturas bajas, y en regiones templadas muere en gran parte durante el invierno. Únicamente sobreviven las yemas sumergidas. Puede fijar nitrógeno atmosférico.

Lemna minor L.- Es un hidrófito flotante, con una raíz larga que cuelga debajo del agua y hojas en forma de lenteja. Prefiere un hábitat de aguas lentas.



Imagen 6.- *Lemna minor L.* en el tramo medio del río Ebro. Julio 2012.

Los periodos biológicamente significativos de las tres especies principales de macrófitos encontradas (*P. pectinatus*, *M. spicatum* y *C. demersum*) se resumen en la **Figura 26**. En esta figura se observa que el periodo de crecimiento más temprano se da en *P. pectinatus* y en *C. demersum* (en primavera y verano), y que el periodo de senescencia se da antes en *P. pectinatus* (en agosto) que en las otras dos especies (en octubre).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<i>P. pectinatus</i>	Latencia		Crecimiento					Senescencia			Latencia		
	Reprod. Asexual			Reprod. Sexual			Reprod. Asexual						
					Floración			Fructificación					
							Dispersión						
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<i>M. spicatum</i>	Latencia				Crecimiento			Senescencia		Latencia			
							Reprod. Sexual			Reprod. Asexual			
							Floración		Dispersión				
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<i>C. demersum</i>	Latencia		Crecimiento					Senescencia			Latencia		
						Reprod. Sexual			Reprod. Asexual				
					Floración								
								Dispersión					

Figura 26. Esquema de los períodos biológicamente significativos de las principales especies de macrófitos encontradas en el tramo de estudio del río Ebro. Se especifican los periodos correspondientes a: latencia, crecimiento, senescencia, reproducción sexual y asexual, floración, fructificación y dispersión.

6.3.2. Resultados del muestreo de macrófitos en el tramo medio del Río Ebro

6.3.2.1. Composición de la comunidad de macrófitos

La distribución de las especies de macrófitos observada en los 3 recorridos realizados en mayo, julio y septiembre de 2012 se muestra en la **Figura 27**. En esta figura se aprecia un cambio en el patrón de abundancia de las especies: *Potamogeton pectinatus* domina la comunidad de macrófitos en mayo y *Ceratophyllum demersum* es dominante en septiembre. Este cambio en la comunidad puede venir facilitado por las condiciones de aguas calmas que la propia presencia masiva de *P. pectinatus* ocasiona, lo que estimularía la proliferación de *C. demersum* al ser un macrófito que prefiere las aguas calmas, y por la senescencia más temprana de *P. pectinatus*, que causa una disminución en su biomasa y permite que *C. demersum* prolifere.

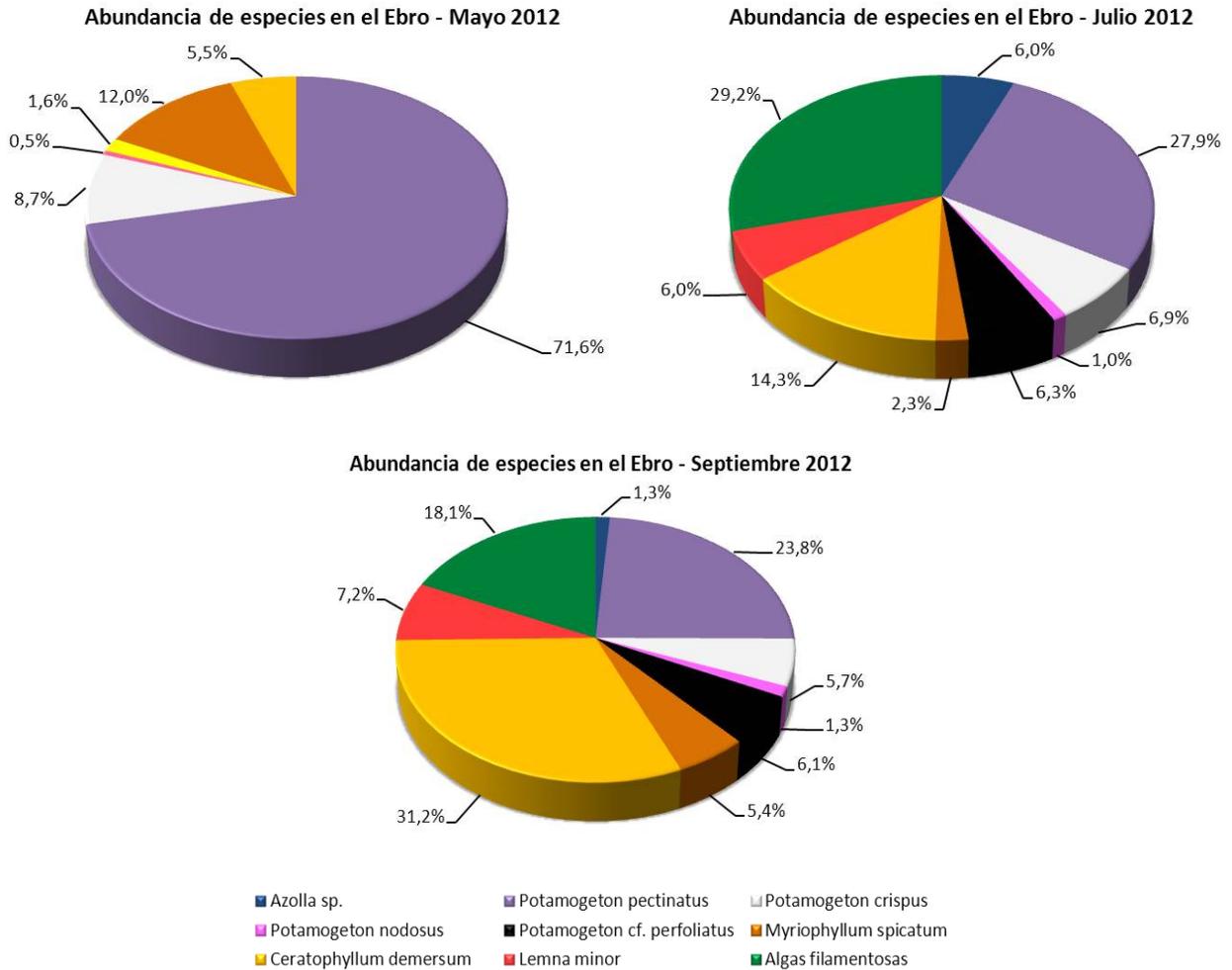


Figura 27. Cambios en la composición de macrófitos en el tramo medio del Ebro (tramo de estudio).

6.3.2.2. Cobertura de macrófitos

Cobertura de macrófitos en las secciones transversales

El porcentaje de cobertura de macrófitos en las secciones estudiadas (cobertura puntual) observado en los tres recorridos realizados en 2012 fue de 16,5% en mayo, 57,3% en julio, de 51,7% en septiembre, y 1,4% en julio de 2013 (en esta campaña sólo se observaron macrófitos en algunas secciones).

La cobertura puntual encontrada en los muestreos de 2012 se muestra en las figuras siguientes. Se puede apreciar el incremento en la abundancia de los macrófitos durante el verano.

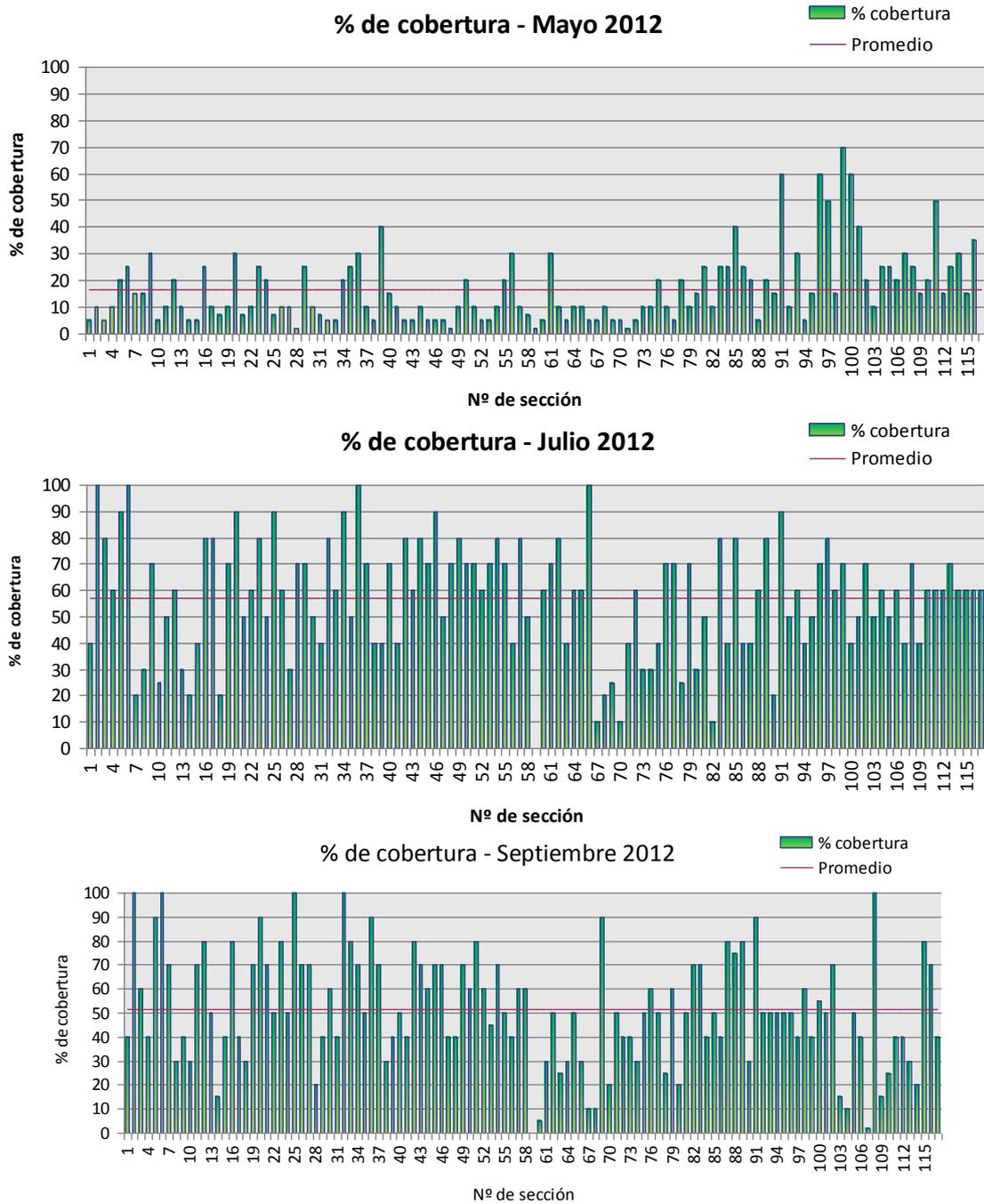


Figura 28. Cobertura de macrófitos (%) en las secciones estudiadas en mayo, julio y septiembre de 2012 en el tramo medio del Ebro.

Cobertura de macrófitos entre secciones

El porcentaje de cobertura de macrófitos observado entre secciones se muestra en los **Planos 3.1-3.3 del Anexo I**, y en las figuras siguientes. Se puede apreciar el cambio en la abundancia de los macrófitos durante el verano.

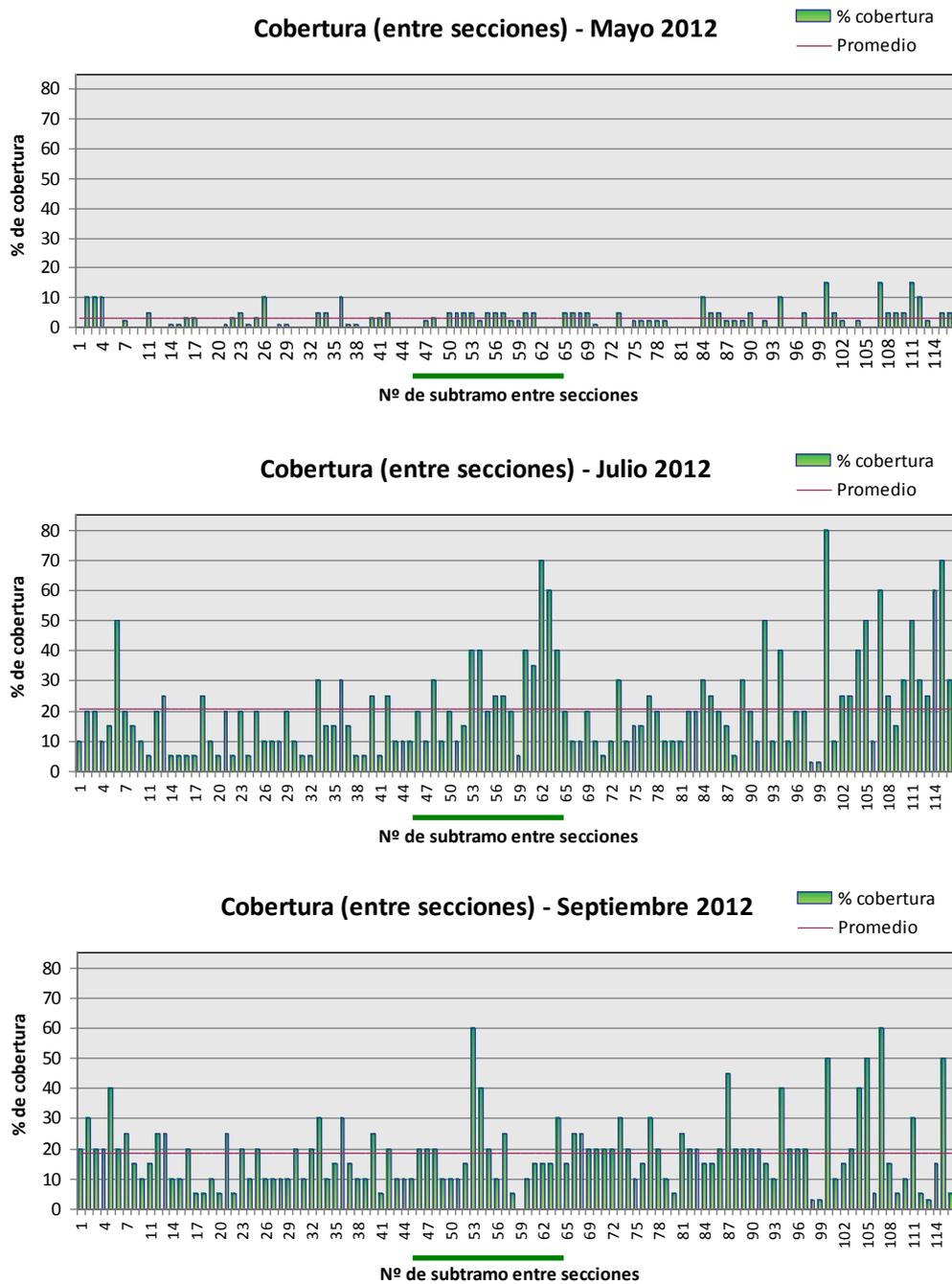


Figura 29. Cambios en el % de cobertura de macrófitos en los subtramos entre las secciones estudiadas. El subtramo correspondiente a Zaragoza se indica con la línea verde horizontal

Los datos de cobertura entre secciones se utilizaron para calcular la media ponderada por área del porcentaje de cobertura en el tramo de estudio. Las coberturas del tramo fueron del 3,01%, 19,8% y 17,02% para mayo, julio y septiembre de 2012, respectivamente. En julio de 2013 prácticamente no se observaron macrófitos entre secciones.

6.3.2.3. Resumen por campaña

- Mayo de 2012

Se identificaron 6 especies de macrófitos, la más abundante de las cuales fue *P. pectinatus*, con el 72% de abundancia relativa. El resto de especies se encontraron en densidades muy bajas. Las algas filamentosas estuvieron presentes en todo el tramo, aunque con una densidad muy baja.

La cobertura de macrófitos sumergidos fue baja en la mayor parte del tramo. Las densidades más elevadas se encontraron aguas abajo de Zaragoza, en la zona cercana a Burgo de Ebro, así como en la zona de remanso de la presa de Pina de Ebro.

- Julio de 2012

Se identificaron 7 especies de macrófitos, la más abundante fue *P. pectinatus*, que persiste en las zonas más reófilas. En la mayoría de las secciones se encontró acompañada de: *P. crispus*, *P. perfoliatus* y *C. demersum*. Esta última especie se encontró en todo el tramo, especialmente en zonas de poca corriente.

Las algas filamentosas fueron muy abundantes a lo largo de todo el tramo, tanto sobre el lecho como sobre otros macrófitos sumergidos. Algunas de las especies que se engloban dentro de este grupo son *Cladophora* sp., *Spirogyra* sp. y *Enteromorpha* sp.

P. crispus y *P. perfoliatus* también se encontraron en todo el tramo, con mayor abundancia a partir del azud del Ebro, en Zaragoza. *Azolla filiculoides* aparece en algunos puntos, con poca cobertura, y siempre sobre acumulaciones de otras especies de macrófitos. *Lemna minor* se observó principalmente en el tramo aguas abajo de Zaragoza. En las zonas de poca corriente cubre extensiones significativas.

El porcentaje de cobertura promedio de todo el tramo aumentó desde el mes de mayo, y pasó de 3 al 19,8% de promedio en el mes de julio.

- Septiembre de 2012

Se identificaron 7 especies de macrófitos sumergidos, la más abundante de las cuales fue *C. demersum*, presente a lo largo de todo el tramo, con preferencia en zonas de corriente baja o nula. En zonas reófilas se observó la dominancia de *P. pectinatus*, que fue la segunda especie en abundancia.

Las algas filamentosas fueron también abundantes, tanto sobre el sustrato del cauce como sobre los macrófitos sumergidos. Las principales especies que forman este grupo son: *Cladophora* sp., *Spirogyra* sp. y *Enteromorpha* sp.

Lemna minor se encontró en casi todo el tramo, excepto en la zona delimitada entre las secciones 20 y 57.

P. perfoliatus apareció con bastante frecuencia hasta la zona de Pastriz (sección 81), acompañando las especies principales. En cambio, *M. spicatum* se observó a partir de Utebo, con densidades mayores en zonas de poca velocidad del agua.

P. crispus se encontró como especie acompañante a lo largo de todo el tramo de estudio, aunque con densidades muy bajas. Las especies menos frecuentes fueron *P. nodosus* y *Azolla filiculoides*, y se observaron en 6 o 7 secciones de las 117 estudiadas.

- Julio de 2013

La cobertura de macrófitos fue muy inferior a la del verano anterior. Sólo en 13 de las 117 secciones se encontró presencia de macrófitos (con un promedio del 12,3% de cobertura puntual para estas secciones). Entre secciones apenas se detectó presencia de macrófitos.

Se identificaron 5 especies de macrófitos sumergidos. La más abundante fue *Potamogeton pectinatus*, que apareció en 10 puntos; la siguiente especie más abundante fue *Ceratophyllum demersum*, que apareció en dos puntos; *P. crispus*, *P. perfoliatus* y las algas filamentosas aparecieron esporádicamente en alguna de las secciones.

6.3.2.4. Comparación entre campañas

Entre los meses de mayo y julio de 2012 se produjo un desarrollo importante de la cobertura de macrófitos en el tramo de estudio, que pasó de un promedio (ponderado por área) de 3,01 a 19,8% (**Tabla 30**). En septiembre la cobertura disminuyó ligeramente (17,02%), aunque no de forma significativa, con la observación de restos de macrófitos al entrar en la fase de senescencia.

Para testar si estas diferencias eran o no significativas, se realizó un test ANOVA de medidas repetidas (factor tiempo) con los datos de cobertura entre secciones (ponderada por el área, para conseguir valores comparables entre subtramos, y entre secciones dentro de un mismo subtramo). Este análisis muestra diferencias significativas en la cobertura ($p < 0,001$), que es menor en el mes de mayo que en julio y septiembre (test *post hoc* de Tukey, $p < 0,001$).

La cobertura puntual de macrófitos (observada en los puntos de muestreo) muestra una tendencia similar (**Tabla 30**), si bien en este caso existen diferencias significativas en la cobertura observada en las tres campañas (ANOVA de medidas repetidas, $p < 0,001$), menor en mayo, mayor en julio e intermedia en septiembre (test *post hoc* de Tuckey, $p < 0,001$).

La evolución de la cobertura puntual de mayo a julio y de julio a septiembre se muestra en la **Figura 30**. Se observa un incremento en la cobertura de la mayoría de los puntos de muestreo de mayo a julio (**Figura 31**). Esta tendencia se invierte de julio a septiembre, cuando la cobertura disminuye en la mayoría de los puntos; en los puntos donde la cobertura incrementa en este periodo, ésta había incrementado poco en el periodo de mayo a julio.

La variación de la cobertura de macrófitos en los tramos fluviales delimitados por los puntos de muestreo se muestra en los **Planos 4.1** (de mayo a julio) y **4.2** (de julio a septiembre) del **Anexo 1**.

En julio de 2013 quedaba apenas una presencia residual de macrófitos sumergidos, a pesar de coincidir con la época de mayor desarrollo de las especies más significativas encontradas en el tramo durante 2012. Esto se puede atribuir a las avenidas y caudales elevados que se dieron durante la primera mitad del año. La reducción de la población de macrófitos por avenidas se ha descrito en la bibliografía, e incluso se utiliza este hecho como herramienta de gestión de la abundancia de macrófitos en el tramo bajo del propio río Ebro (Batalla y Vericat, 2009; Ibáñez *et al.* 2012a).

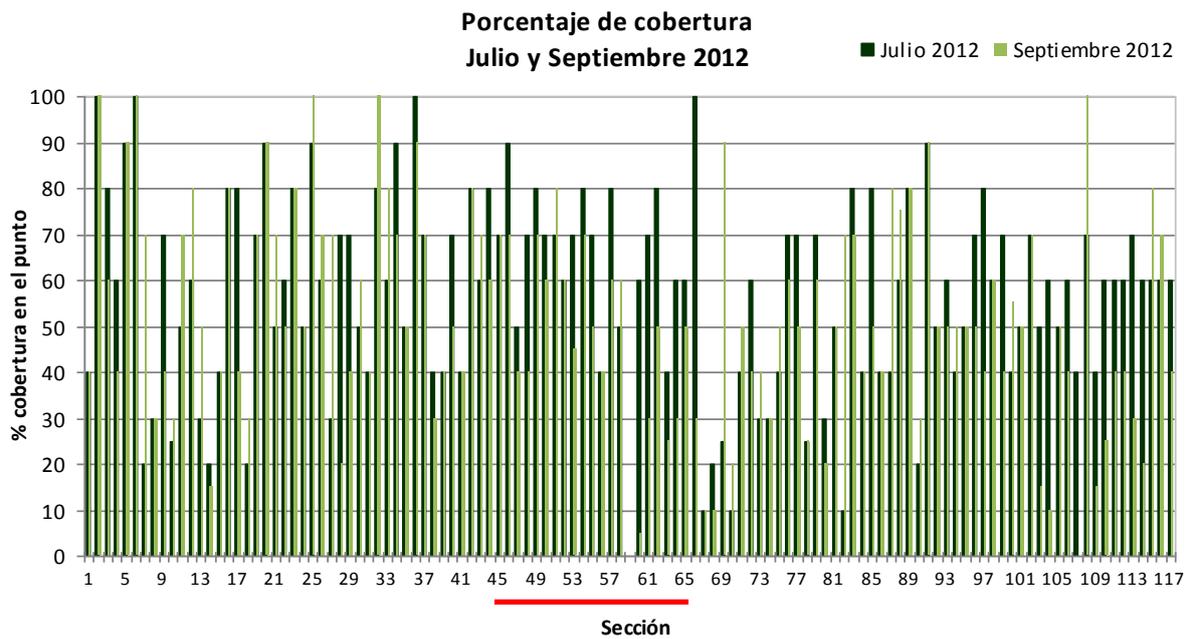
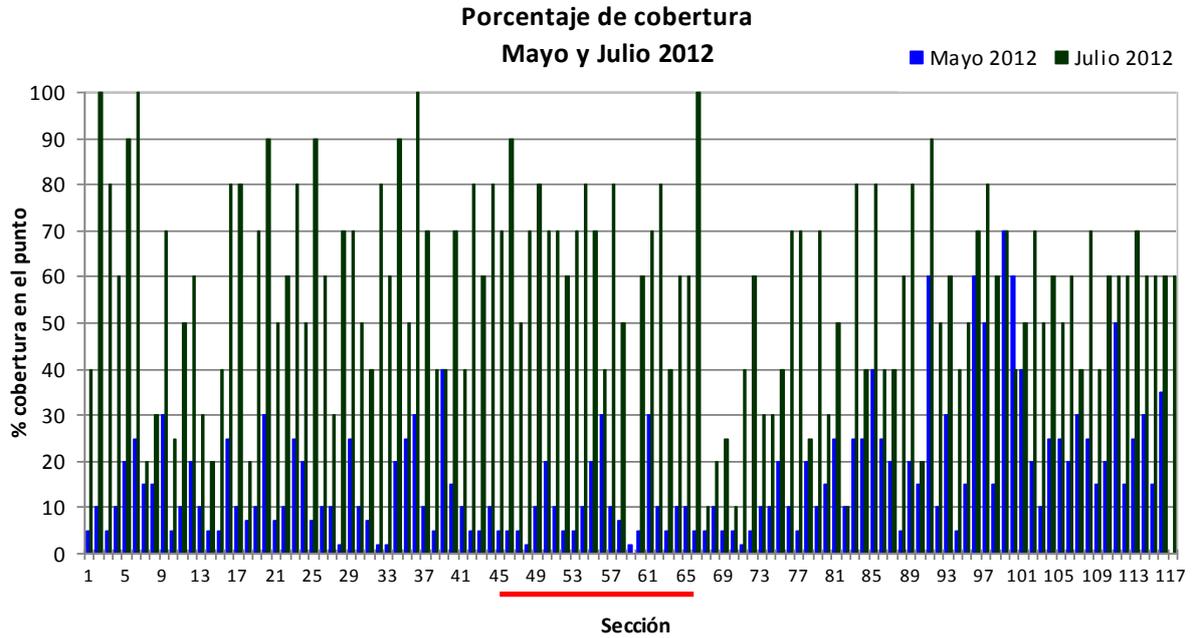
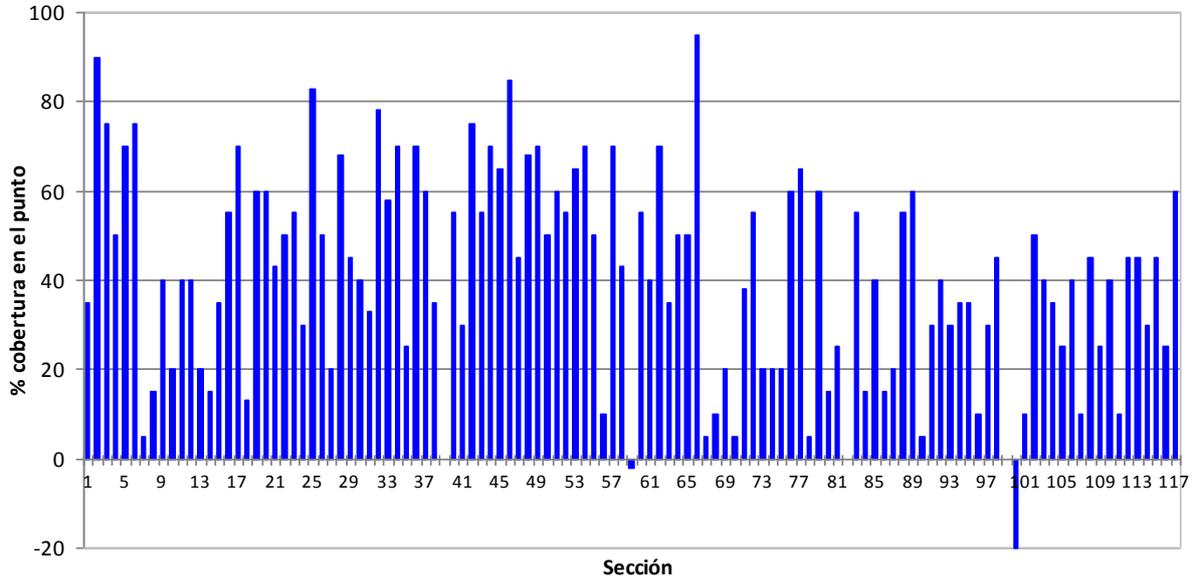


Figura 30. Cobertura de macrófitos en las secciones estudiadas en las campañas de 2012. Se comparan los valores de mayo y julio (gráfica de arriba) y de julio y septiembre (gráfica de abajo). Se indica, con una línea roja horizontal, el subtramo correspondiente a la zona de Zaragoza (secciones 45-65).

Incremento de cobertura entre mayo y julio 2012



Incremento de cobertura entre julio y septiembre 2012

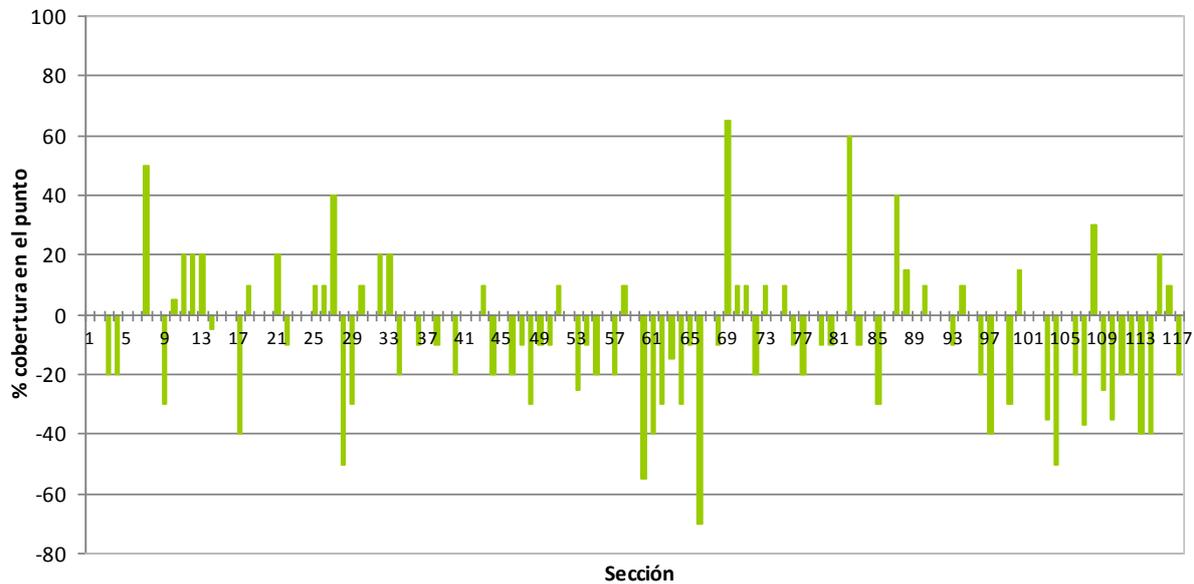


Figura 31. Variación de la cobertura de macrófitos en las secciones estudiadas en las campañas de 2012. Se muestra la variación entre mayo y julio (gráfica de arriba) y entre julio y septiembre (gráfica de abajo).

En la **Tabla 30** se resumen las características de caudal y de variables fisicoquímicas medidas durante las campañas de observación de la cobertura de macrófitos.

Tabla 30. Características de la campaña, resultados de las variables físicoquímicas medidas *in situ*, y cobertura de macrófitos observada para cada una de las campañas realizadas en el tramo medio del río Ebro.

	Río Ebro Tramo medio (Tramo 1)			
	Mayo 2012	Julio 2012	Septiembre 2012	Julio 2013
Características				
Día de muestreo	14-15/05/12	26-27/07/12	13-14/09/12	22-24/07/13
Caudal día de muestro (m ³ /s)	95,6	33,4	30,7	50
Variables físicoquímicas medidas <i>in situ</i>				
Temperatura (°C)	19,9	24,8	20,8	24,75
Disco de Secchi (m)	0,44	1,6	1,12	0,34
Conductividad eléctrica (µs/cm)	1.069	2.455	2.208	1.673
% Cobertura de macrófitos				
Promedio Puntual (en las secciones)	16,6	57,3	51,7	1,4
Entre secciones (media ponderada por el área)	3,01	19,82	17,02	--

6.3.3. Análisis de coberturas de macrófitos en el tramo de Zaragoza

El subtramo de río Ebro que atraviesa Zaragoza parece presentar una cobertura de macrófitos similar a la del resto del tramo de estudio (tramo 1), tal y como se observa en la **Figura 32**. Sin embargo, se procedió a realizar un análisis estadístico para corroborar esta apreciación. Para ello el tramo 1 se dividió en subtramos con áreas similares a la del subtramo de Zaragoza, de 69,7 hectáreas y que comprende desde la sección 45 a la 65 (ver **Plano 3.1 del anexo I**). De este modo se definieron 8 nuevos subtramos, 3 de ellos aguas arriba y 5 de ellos aguas abajo, tal y como se presenta en la **Tabla 31**.

Los análisis estadísticos se realizaron con los datos de cobertura ponderada por el área del subtramo definido entre secciones (% cobertura por hectárea; **Figura 32**). La variabilidad espacial (entre los nueve subtramos) se testó para cada campaña por separado. Para ello, se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA de un factor); en caso de resultar significativo, se utilizó el test *post-hoc* de Tukey (para n distintas) para determinar los subtramos significativamente distintos.

Tabla 31. Subtramos resultantes de la división del tramo 1. Se especifican las secciones incluidas en cada subtramo y el área del mismo. AA: aguas arriba del subtramo de Zaragoza; Z: subtramo de Zaragoza; AB: aguas abajo del subtramo de Zaragoza.

Subtramo	Secciones	Área (ha)
AA3	1-17	66,9
AA2	18-34	69,0
AA1	35-44	68,8
Z	45-65	69,7
AB1	67-78	60,9
AB2	79-88	68,8
AB3	89-97	67,5
AB4	98-108	68,3
AB5	109-115	68,6

El análisis estadístico mostró sólo diferencias significativas en el mes de julio ($p < 0,05$), debidas a valores más altos de cobertura en el subtramo de Zaragoza comparadas con los subtramos inmediatamente aguas arriba y aguas abajo (AA1 y AB1, respectivamente; test *post hoc* de Tukey, $p < 0,05$). La cobertura en el subtramo de Zaragoza es similar a la evaluada en los otros seis subtramos definidos en el tramo de estudio.

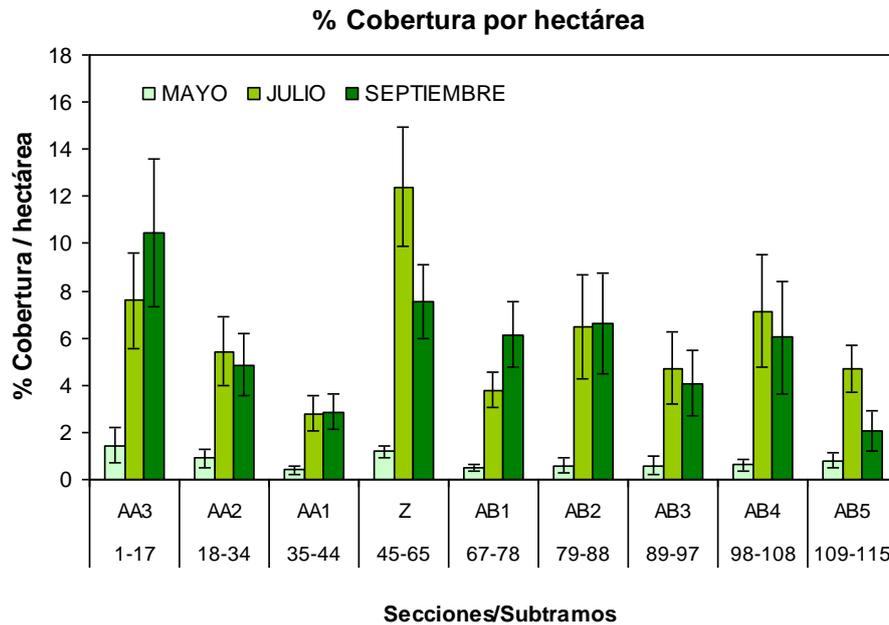


Figura 32. Cobertura media ponderada por área (%/ha) de los nueve subtramos definidos en el tramo 1, correspondientes a las tres campañas de 2012 (las líneas verticales representan el error estándar de la media). Se especifica las secciones incluidas en cada subtramo. AA: aguas arriba del subtramo de Zaragoza; Z: subtramo de Zaragoza; AB: aguas abajo del subtramo de Zaragoza.

6.4. ESTUDIO COMPARATIVO EN OTROS TRAMOS FLUVIALES

6.4.1. Río Ebro – Tramo comparativo

En el recorrido efectuado en el río Ebro entre Osera de Ebro y Sástago, el 19-20 de septiembre de 2012, se observó la presencia de 8 especies de macrófitos: *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton pectinatus*, *Lemna minor*, *Myriophyllum spicatum*, *Azolla* sp., *P. nodosus*, *P. cf. perfoliatus* y *P. crispus*, además de algunas algas filamentosas.

En términos de distribución y abundancia de las especies (**Figura 33**) se observa que *Ceratophyllum demersum* y *Potamogeton pectinatus* son las especies más abundantes. Así en las primeras 19 secciones la especie dominante fue *Potamogeton pectinatus*, y en las últimas 24 secciones la especie dominante fue *Ceratophyllum demersum*.

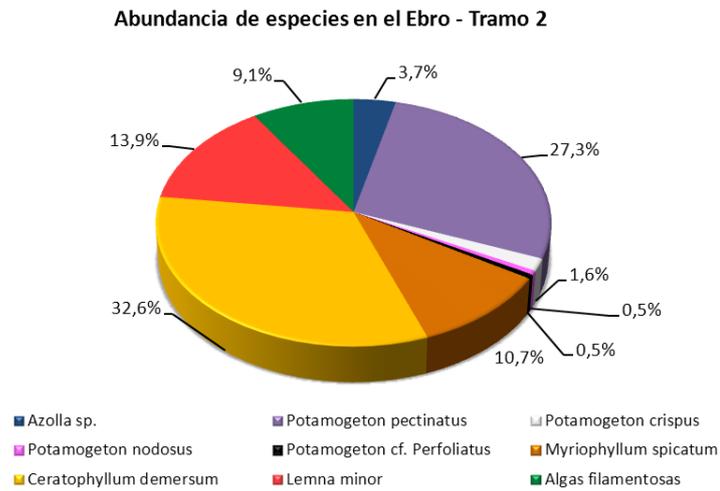


Figura 33. Abundancia relativa de macrófitos en el tramo comparativo del río Ebro.

El porcentaje de cobertura de macrófitos en cada sección estudiada, así como el observado entre secciones, se muestran en las siguientes figuras:

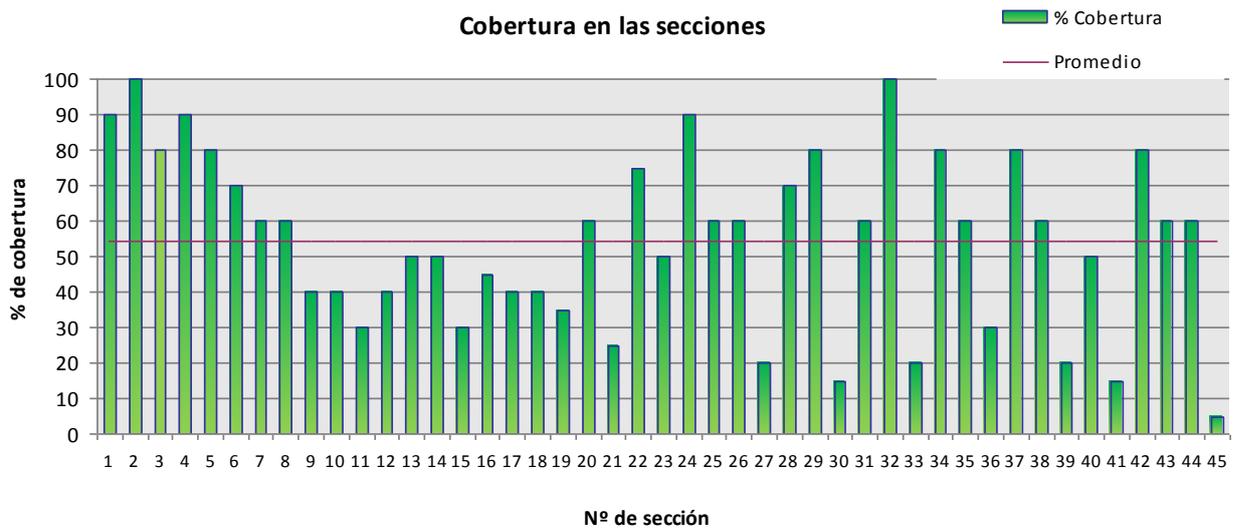


Figura 34. Porcentaje de cobertura (puntual) en las secciones estudiadas en el tramo comparativo del río Ebro.

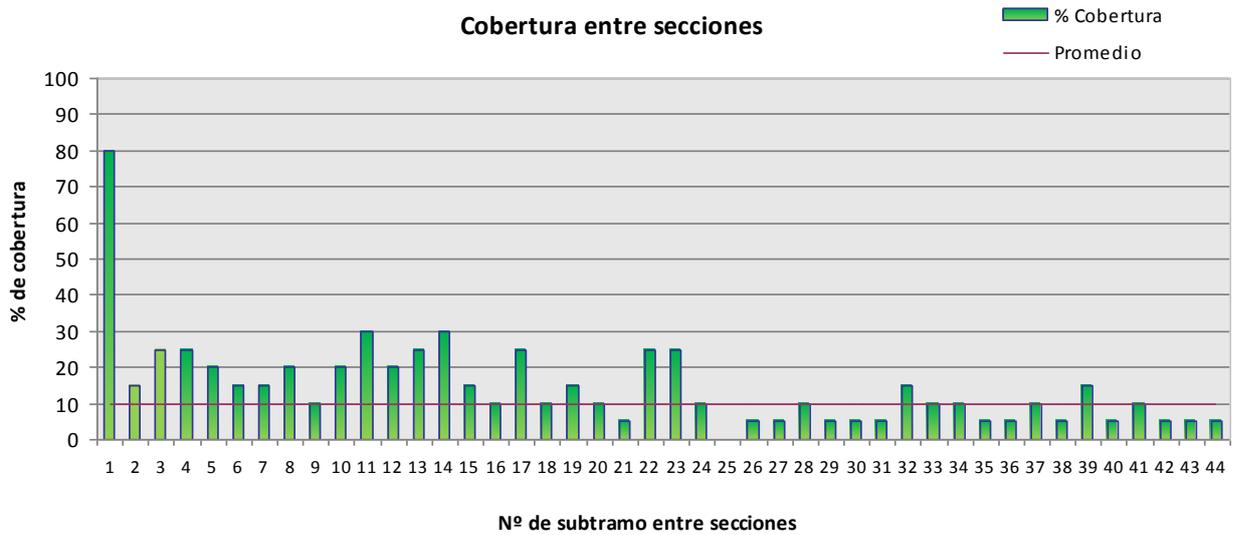


Figura 35. Porcentaje de cobertura observada entre las secciones estudiadas en el tramo comparativo del río Ebro.

La localización geográfica de las secciones, junto con el porcentaje de cobertura entre secciones, se muestra en el **Plano 5.1** del **Anexo I**.

6.4.2. Río Cinca

En el recorrido efectuado por el río Cinca entre Zaidín y la confluencia con el río Segre, el 1-2 de Octubre de 2012, se observó la presencia de 2 especies: *Potamogeton pectinatus* y *P. nodosus* (**Figura 36**).

En las 10 primeras secciones (desde inicio a 7,6 km del tramo) se encontró dominancia de *P. nodosus*, y en las últimas secciones (de la nº 15 a 27) la especie dominante fue *P. pectinatus*.

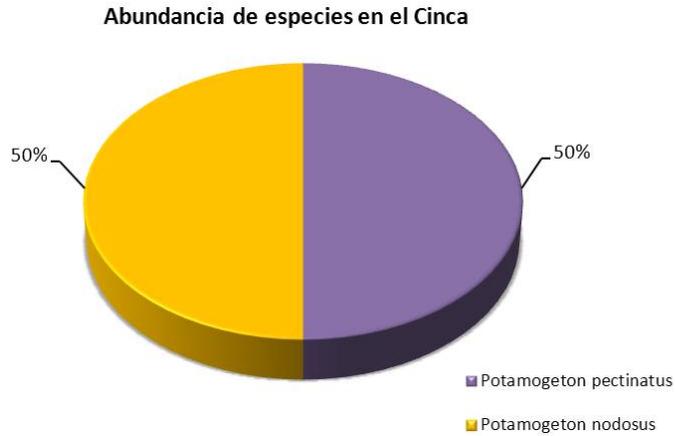


Figura 36. Abundancia relativa de macrófitos en el tramo comparativo del río Cinca.

El porcentaje de cobertura de macrófitos en cada sección estudiada, así como el observado entre secciones, se muestran en las siguientes figuras:

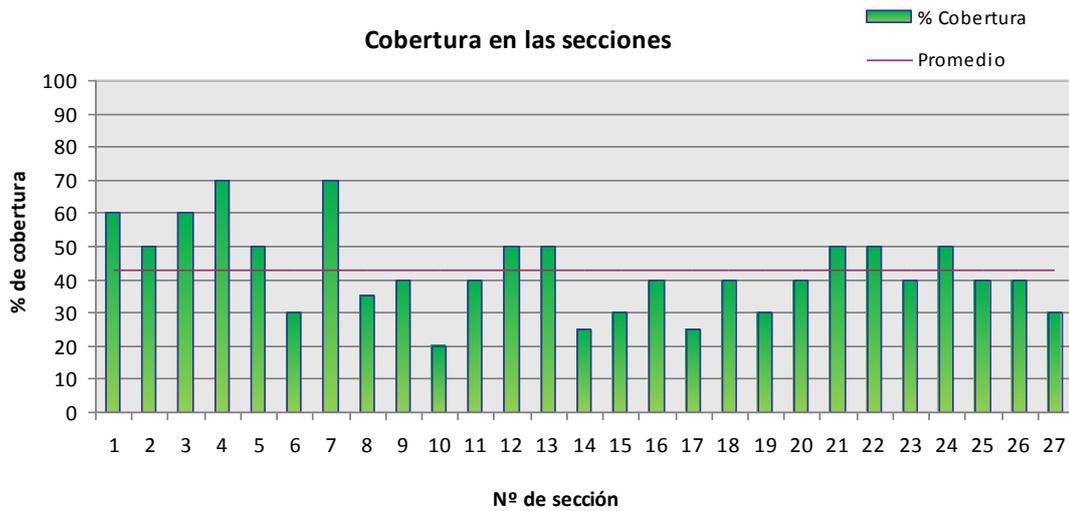


Figura 37. Porcentaje de cobertura en las secciones estudiadas en el tramo comparativo del río Cinca.

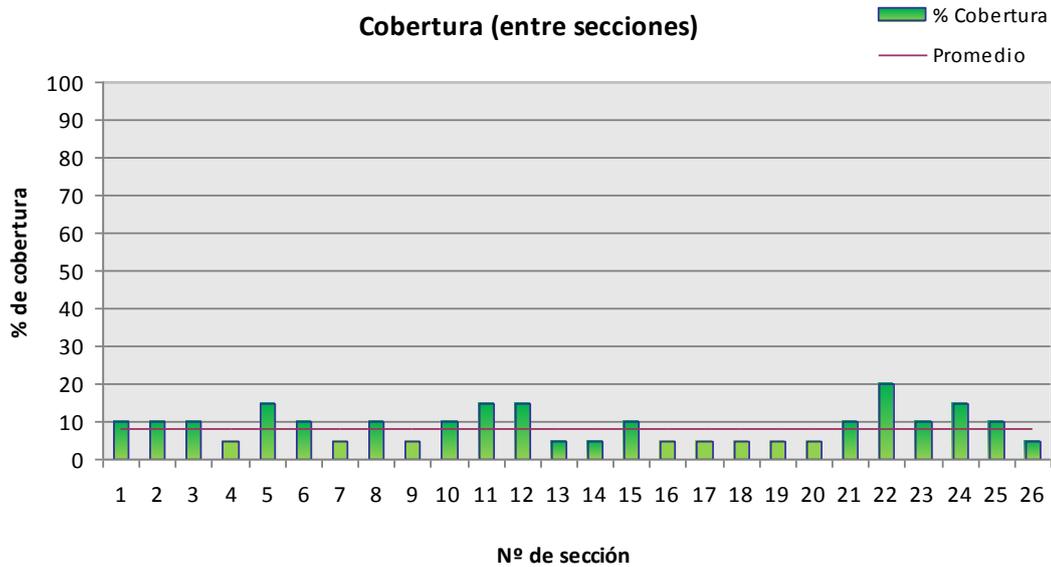


Figura 38. Porcentaje de cobertura entre las secciones estudiadas en el tramo comparativo del río Cinca.

La localización geográfica de las secciones, junto con el porcentaje de cobertura entre secciones, se muestra en el **Plano 5.2** del **Anexo I**.

6.4.3. Comparación entre los tramos del río Ebro y del río Cinca

La cobertura puntual y la observada entre secciones (ponderada por área) en el Cinca parecen ligeramente inferiores a las de los tramos del Ebro (para las campañas de septiembre y octubre) (**Tabla 32**). Sin embargo, las diferencias entre los tres tramos no son significativas (ANOVA de un factor, $p=0,092$ y $0,055$ para la cobertura puntual y entre secciones, respectivamente).

Las diferencias en ciertas características fisicoquímicas medidas en el río Cinca (valores inferiores de temperatura, conductividad y disco de Secchi respecto a los registradas en el Ebro), no parecen tener relación con la cobertura de macrófitos, no obstante sí que podrían influir en la menor diversificación de los macrófitos en el tramo del Cinca (se encuentran 2 especies en el Cinca y hasta 8 en el Ebro).

Este análisis requeriría disponer de más datos del periodo de primavera-verano para establecer los posibles efectos de las características fisicoquímicas comentadas sobre la

comunidad de macrófitos del Cinca. Se conoce que el tramo bajo del río Cinca presenta habitualmente, y especialmente en verano, aguas turbias en parte debidas a los aportes del río Alcanadre por el que circulan, generalmente, aguas contaminadas y turbias (CHE, 2000).

Tabla 32. Características de las campañas realizadas en septiembre-octubre de 2012, resultados de las variables fisicoquímicas medidas *in situ*, y cobertura de macrófitos observada en los tres tramos estudiados: tramo medio del río Ebro (Tramo 1), y tramos comparativos del Ebro (Tramo 2) y del Cinca (Tramo 3).

	Ebro - Tramo 1	Ebro - Tramo 2	Cinca - Tramo 3
Características			
Longitud del tramo (km)	71,8	51,1	25,1
Nº de secciones	117	45	27
Día de muestreo	13-14/09/12	19-20/09/12	1-2/10/12
Caudal día de muestro (m ³ /s)	30,7	40,9	22,4
Variables fisicoquímicas medidas <i>in situ</i>			
Temperatura (°C)	20,8	20,5	17,4
Disco de Secchi (m)	1,12	1,78	0,24
Conductividad eléctrica (µs/cm)	2.208	2.467	1.411
% Cobertura de macrófitos			
Puntual (en las secciones)	51,7	54,56	42,8
Entre secciones (ponderada por el área)	17,02	9,6	8,1

7. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES RELACIONADOS CON EL DESARROLLO DE LOS MACRÓFITOS

Para identificar los factores principales relacionados con el desarrollo de los macrófitos se cuenta con dos fuentes de datos:

- Datos *in situ* de las variables hidromorfológicas medidas durante el muestreo de julio de 2013, de los que se extraerá, en la medida de lo posible, la influencia de estas variables sobre la cobertura de macrófitos observada durante las campañas de 2012.
- Datos recopilados de régimen hidrológico (caudal) y de variables fisicoquímicas, con los que se extraerá la relación existente entre estas variables y la cobertura observada en las campañas de 2012 y 2013.

7.1. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES HIDROMORFOLÓGICAS SOBRE LA COBERTURA DE MACRÓFITOS

La velocidad del agua, la profundidad y el tipo de sustrato se obtuvieron en las secciones seleccionadas por su grado de cobertura de macrófitos (máxima, mínima o constante) en verano de 2012. Los resultados obtenidos se resumen en la **Tabla 33** y se analizan a continuación.

Tabla 33. Variables hidromorfológicas medidas en las secciones seleccionadas por presentar cobertura máxima, mínima o constante durante el verano de 2012 en el tramo medio del Ebro. Se muestran: velocidad del agua promedio (m/s), profundidad (m), tipo de sustrato y tamaño de partícula promedio; se presenta también el promedio de la cobertura puntual (%) calculada para las campañas de 2012.

Criterio de selección	Velocidad del agua (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Cobertura promedio (%)
Cobertura máxima	0,40	1,60	limos a bloques	64,32	60,2
Cobertura mínima	0,24	2,03	limos a bloques	125,85	16,1
Cobertura constante	0,65	1,86	arenas a bloques	119,67	40,0

El análisis de la influencia de las variables hidromorfológicas medidas y la abundancia de los macrófitos se ha realizado a partir de:

- Un análisis de regresión para cada una de las variables.
- Un análisis de redundancia (RDA) para testar la relación entre la cobertura y las tres variables en su conjunto, así como la relación de las tres variables entre sí.

7.1.1. Influencia de la velocidad del agua sobre la cobertura

Existe una relación inversa significativa ($p < 0,01$) entre la abundancia de macrófitos y la velocidad el agua: las mayores coberturas se dan en puntos donde la velocidad del agua es menor, y en los puntos donde la velocidad es mayor la cobertura es más bien baja (inferior al 30%) (**Figura 39**). Existe un grado de dispersión importante a velocidades por debajo de 1 m/s. Esta velocidad ha sido indicada en la bibliografía como un valor umbral a partir del cual el crecimiento y desarrollo de los macrófitos se ven reducidos (Barendregt y Bio, 2003, citado en Ibáñez *et al.* 2012a).

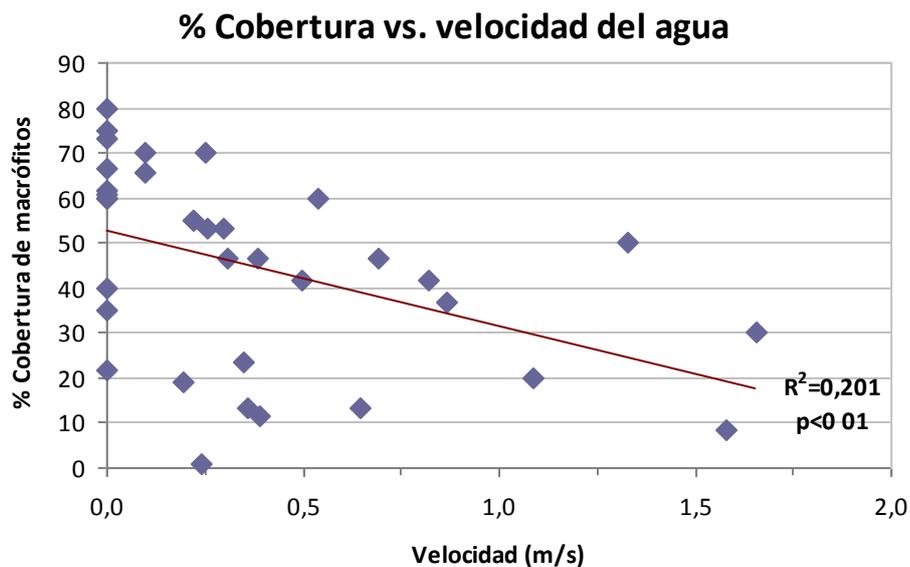


Figura 39. % Cobertura de macrófitos respecto a la velocidad del agua medida en las secciones de interés (con coberturas máximas, mínimas o constantes durante el verano de 2012). La regresión lineal es significativa. En la figura se muestra también el grado de ajuste (R^2) y el nivel de significación (p) de la regresión lineal.

7.1.2. Influencia de la profundidad sobre la cobertura

La cobertura de macrófitos tiende a ser menor a profundidades bajas (menos de 1 m), y a profundidades altas (más de 4 m; **Figura 40**). Aunque esta relación no llega a ser significativa con los datos disponibles, sería explicable por una menor renovación del agua a

profundidades bajas que conllevaría una menor disponibilidad de nutrientes, y por una menor disponibilidad de luz a profundidades más altas. En este segundo caso, la reducción de la abundancia de macrófitos a profundidades mayores de 4 m coincide con los resultados observados en Ibáñez *et al.* (2012a) en el bajo Ebro, donde la presencia de macrófitos ya era escasa a 4 m y desaparecían por debajo de los 6 m de profundidad. A profundidades intermedias, la dispersión observada indica el efecto de otros factores en el desarrollo y presencia de los macrófitos.

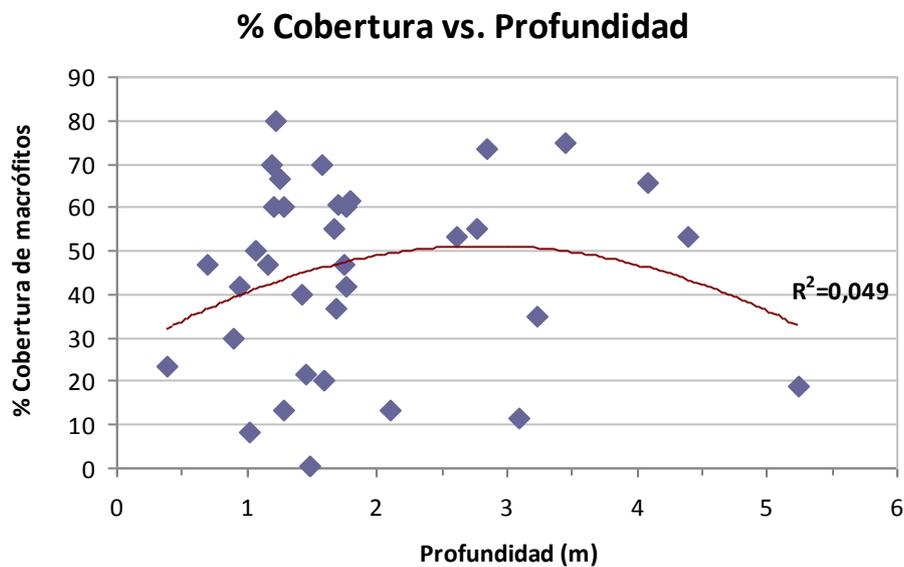


Figura 40. % Cobertura de macrófitos respecto a la profundidad en las secciones de interés (con coberturas máximas, mínimas o constantes durante el verano de 2012). Se presenta una regresión no lineal (cuadrática) que no llega a ser significativa. En la figura se muestra también el grado de ajuste (R^2) de la regresión.

7.1.3. Influencia del tipo de sustrato sobre la cobertura

Existe una relación inversa, aunque no significativa, de la cobertura con el sustrato: la cobertura tiende a ser menor al aumentar el tamaño medio de partícula (**Figura 41**). O, lo que es lo mismo, sedimentos finos facilitarían la proliferación de los macrófitos, probablemente debido a que éstos pueden enraizar y obtener nutrientes del sustrato más fácilmente que en el caso de sustratos más groseros (especialmente en el caso de macrófitos enraizados, como *P. pectinatus*; Madsen *et al.*, 2001).

Esta relación, además, refleja indirectamente el efecto de la velocidad del agua sobre los macrófitos, ya que los sedimentos más finos suelen darse en lugares donde la velocidad del agua es menor.

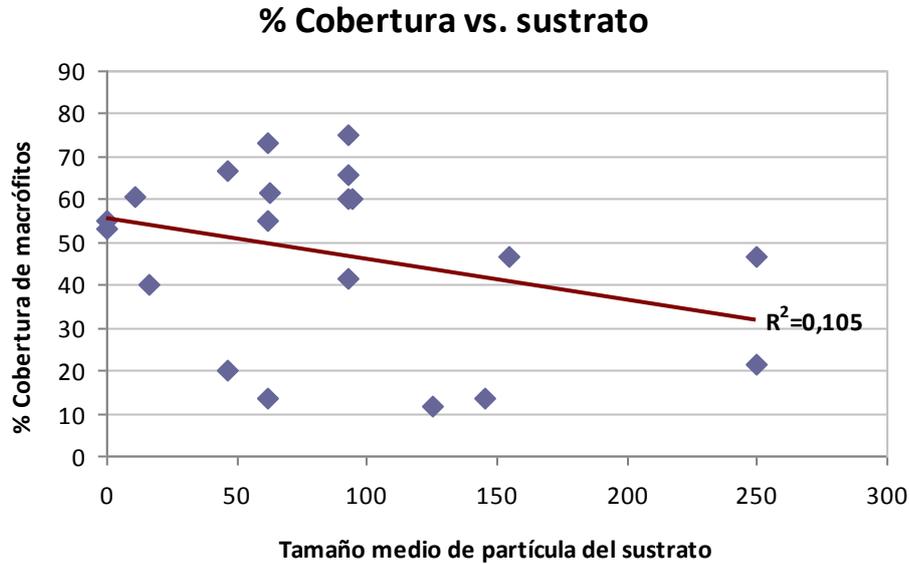


Figura 41. % Cobertura de macrófitos respecto al tamaño de partícula del sustrato en las secciones de interés (con coberturas máximas, mínimas o constantes durante el verano de 2012). La regresión lineal no llega a ser significativa, aunque se observa una clara tendencia. En la figura se muestra también el grado de ajuste (R^2) de la regresión lineal.

7.1.4. Relación entre las variables hidromorfológicas en su conjunto, y la cobertura

Esta relación se ha testado a partir de un análisis RDA, considerando la cobertura, en general, pero también identificando por separado las secciones que presentaron coberturas máximas, mínimas y constantes (**Figura 42**).

Los resultados del RDA realizado con los datos de cobertura de macrófitos y las variables hidromorfológicas corroboran y sintetizan los resultados obtenidos con las regresiones:

- La cobertura está inversamente relacionada con la velocidad del agua.
- El tipo de sustrato parece influir en la proliferación de los macrófitos, de forma que coberturas máximas se relacionan con sustratos más finos.
- Las coberturas máximas y mínimas vendrían caracterizadas principalmente por la velocidad del agua y por el tipo de sustrato. La relación de estas variables con los valores más extremos de cobertura parece indicar que, de las variables medidas, la

velocidad del agua y el tipo de sustrato son los factores más determinantes para el desarrollo de los macrófitos en el tramo estudiado.

- Las coberturas constantes se caracterizarían por la profundidad y el tipo de sustrato más que por la velocidad: valores más altos de esta cobertura se darían a profundidades bajas, tipo de sustrato medio y, en menor medida, a velocidades no muy altas. Esto indicaría localidades con disponibilidad de luz elevada, sustrato adecuado para enraizar y tener disponibilidad de nutrientes, así como suficiente renovación del agua.

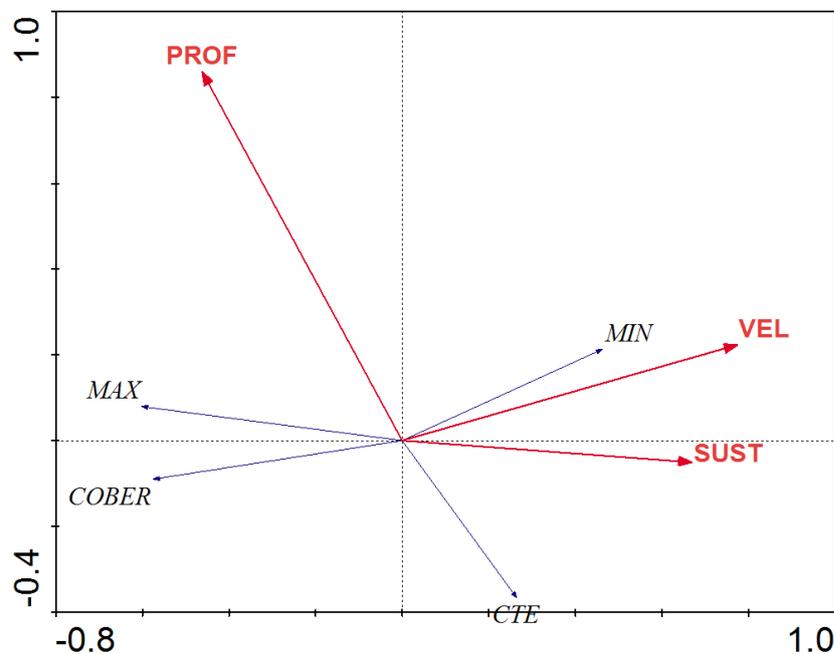


Figura 42. Resultado del RDA realizado con la cobertura de macrófitos (%) y las variables hidromorfológicas medidas en las secciones seleccionadas. COBER: cobertura de macrófitos; MAX: cobertura máxima de macrófitos; CTE: cobertura constante; MIN: cobertura mínima; VEL: velocidad del agua (m/s); PROF: profundidad; SUST: tamaño medio de partícula del sustrato.

Las relaciones entre las variables hidromorfológicas consideradas y la cobertura de los macrófitos en los tramos analizados, se resume en la tabla siguiente.

Tabla 34. Relaciones observadas entre las variables hidromorfológicas consideradas y la cobertura de los macrófitos, en los tramos analizados.

Variable hidromorfológica	Cobertura de macrófitos
Velocidad del agua	Relación inversa
Profundidad (Disponibilidad de luz)	Sin especial relación (óptimo en profundidades intermedias)
Sustrato (tamaño de partícula)	Relación inversa

7.2. RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS, EL CAUDAL Y LA COBERTURA DE MACRÓFITOS

Para establecer la influencia de las variables fisicoquímicas sobre la proliferación de los macrófitos en el tramo medio del Ebro, se realizó un análisis RDA para establecer la relación existente entre la cobertura de macrófitos, observada en los tres tramos estudiados, con los datos recopilados de caudal (valores promedio de los dos meses anteriores a las campañas) y de variables fisicoquímicas.

Las variables fisicoquímicas que se incluyeron en el análisis fueron la temperatura, la turbidez, la conductividad eléctrica, el amonio, los nitratos y los fosfatos. También se incluyeron los datos de abundancia de las distintas especies de macrófitos encontradas.

Los resultados del RDA (**Figura 43**) muestran que:

- El caudal está relacionado con la mayoría de las variables fisicoquímicas consideradas, según lo siguiente:
 - Turbidez: Caudales elevados están asociados a una elevada turbidez, por el arrastre de sedimentos.
 - Temperatura: El caudal se relaciona inversamente con la temperatura, ya que caudales elevados están asociados a bajas temperaturas y a la inversa, a temperaturas altas (verano) se dan los caudales mínimos, debido a la menor cantidad de aportes por lluvia y mayor demanda de agua para riego.

- Conductividad eléctrica y concentración de nitratos y fosfatos: El caudal está también inversamente relacionado con estas variables fisicoquímicas, debido al efecto de dilución que se da a caudales elevados.
- Los factores que más se relacionan con la cobertura de macrófitos, según el análisis realizado son los siguientes:
 - Caudal: Coberturas bajas se dan con caudales altos (mayo 2012 y julio 2013), y coberturas elevadas se dan con caudales bajos (julio y septiembre de 2012). Ello refleja que los caudales elevados (avenidas) controlan la abundancia de los macrófitos, tal como se describe en la bibliografía ([Apartado 3.2.](#)).
 - Turbidez: Esta variable está relacionada con la cobertura de forma similar al caudal. Esto indicaría la relación existente entre caudal y turbidez (a mayor caudal, mayor turbidez) debida a la capacidad de arrastre de sedimentos en caso de avenidas o lluvias intensas.
 - Conductividad eléctrica y concentraciones de nitratos y fosfatos: Están directamente relacionadas y asociadas a coberturas elevadas. Estas variables presentan, en los datos analizados, valores elevados con caudales bajos lo que se atribuye al efecto de concentración de los iones al disminuir el caudal.
 - Temperatura: Con valores elevados en la época de mayor desarrollo de los macrófitos (verano), esta variable aparece relacionada con valores elevados de coberturas de macrófitos y abundancia de especies.
- Otras relaciones interesantes encontradas son:
 - La concentración de amonio no parece influir en la cobertura general observada de macrófitos. Sólo existe una relación clara entre la concentración de amonio y la abundancia de macrófitos, y aparece en el tramo comparativo del Cinca, donde se da la abundancia máxima de *P. nodosus* en condiciones de concentración de amonio bajas.

Finalmente, del análisis de RDA se puede obtener una caracterización de cada una de las campañas realizadas, en cada tramo de río considerado:

Tramo medio del Ebro

- Las campañas de mayo 2012 y julio 2013 se caracterizan por tener caudales elevados y coberturas bajas de macrófitos.
- La campaña de julio 2012 se caracteriza por coberturas de macrófitos máximas y caudales mínimos.
- En la campaña de septiembre de 2012, se dan los valores máximos de conductividad eléctrica y de abundancia de *C. demersum*.

Tramo comparativo del Ebro

- La campaña realizada en septiembre de 2012 se caracteriza por presentar valores altos de amonio, máximos de *M. spicatum*, *L. minor*, y *C demersum*, y valores altos de conductividad eléctrica y concentración de fosfatos.

Tramo comparativo del Cinca

- La campaña realizada octubre de 2012 se caracteriza, como se ha comentado anteriormente, por presentar valores elevados de *P. nodosus* y valores bajos de concentración de amonio, y también por valores bajos de caudal, temperatura y conductividad eléctrica, menores que en los tramos del Ebro en la misma época.

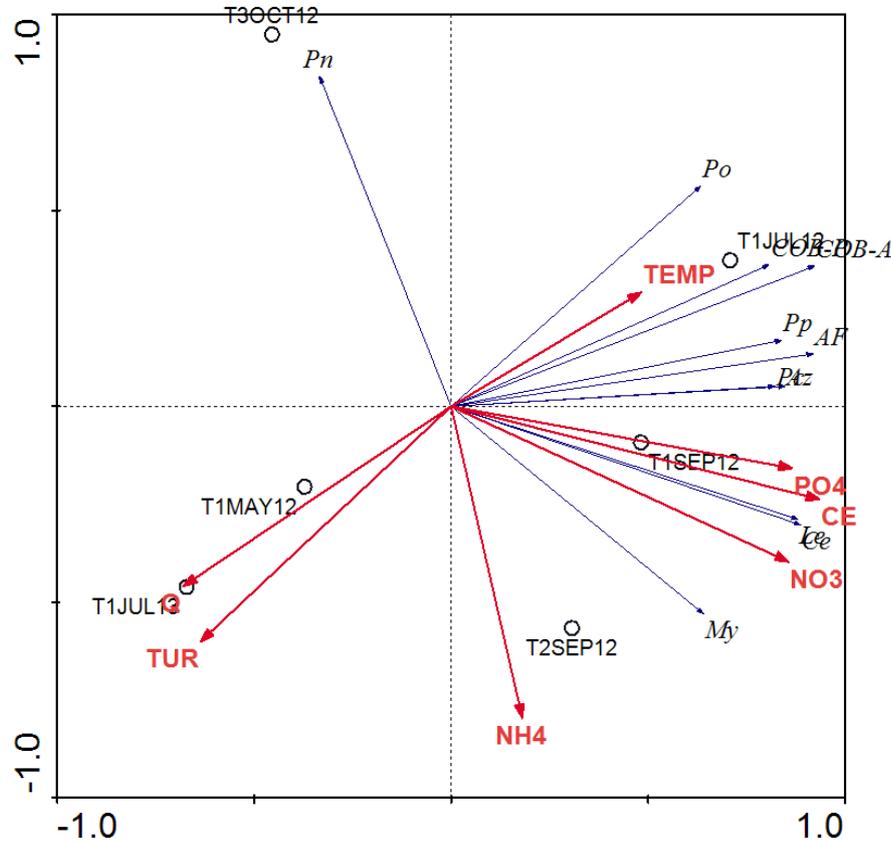


Figura 43. Resultado del RDA realizado con el porcentaje (%) de cobertura de macrófitos (COB-P, medido en las secciones y COB-A entre secciones, ponderada por área) y la abundancia de cada especie encontrada con los datos recopilados de caudal y variables fisicoquímicas. También se muestra en el gráfico la situación de los datos correspondientes a cada campaña respecto a los ejes representados. COB-P: % cobertura puntual en las secciones; COB-A: % cobertura observada entre secciones, ponderada por el área; Po: *Potamogeton pectinatus*; Pc: *P. crispus*; Pp: *P. cf. perfoliatus*; Pn: *P. nodosus*; My: *Myriophyllum spicatum*; Le: *Lemna minor*; Ce: *Ceratophyllum demersum*; Az: *Azolla* sp.; AF: algas filamentosas; Q: caudal; TEMP: temperatura; TUR: turbidez; CE: conductividad eléctrica; NH4: amonio; NO3: nitratos; PO4: fosfatos. T1MAY12: campaña de mayo de 2012 en el tramo 1; T1JUL12: campaña de julio de 2012 en el tramo 1; T1SEP12: campaña de septiembre de 2012 en el tramo 1; T1JUL13: campaña de julio de 2013 en el tramo 1; T2SEP12: campaña de septiembre de 2012 en el tramo 2 y T3OCT12: campaña de octubre de 2012 en el tramo 3.

En resumen las **relaciones principales** entre las variables fisicoquímicas y el caudal, y la cobertura de los macrófitos en los tramos analizados se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 35. Relaciones observadas entre las variables fisicoquímicas y el caudal, y la cobertura de los macrófitos, en los tramos analizados.

Variable fisicoquímica y caudal	Cobertura de macrófitos
Caudal	Relación inversa
Turbidez	Relación inversa
Conductividad, NO ₃ , PO ₄	Relación directa
Temperatura	Relación directa

8. MEDIDAS DE CONTROL DE LOS MACRÓFITOS

Existen diferentes propuestas de control de macrófitos en la bibliografía, no obstante la selección de las más efectivas para el tramo concreto a tratar debe basarse en el conocimiento de los factores que determinan el crecimiento y la proliferación de los macrófitos en el mismo.

En este estudio se han identificado como factores determinantes del crecimiento de los macrófitos: el régimen de caudal del río, ciertas condiciones de calidad fisicoquímica (turbidez, nutrientes) y biológica (fitoplancton), y unas condiciones hidromorfológicas (velocidad del agua, profundidad y sustrato) de los tramos adecuadas. No se ha observado una influencia relevante de la comunidad de peces.

8.1. MEDIDAS BASADAS EN LA MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDAL

Según los resultados obtenidos en este estudio, los factores que mayormente han propiciado la proliferación de los macrófitos en el tramo medio del Ebro tienen que ver con una cierta modificación del régimen hidrológico, en términos de una menor frecuencia y magnitud de pequeñas y grandes avenidas, así como por el aumento de la frecuencia de caudales extremadamente bajos. La gestión del río a nivel de cuenca ha favorecido el aumento de los macrófitos, en la medida en que la regulación de los caudales minimiza el efecto de las avenidas, y modifica el régimen del caudal según las necesidades de agua para los usos agrícolas y urbanos.

En este escenario hidrológico, los tramos analizados presentan las condiciones de velocidad del agua (en general medias y bajas), transparencia del agua (mayor que en años anteriores) y sustratos adecuadas para que los macrófitos se hayan asentado y proliferen en el tramo fluvial (lo mismo se ha observado en el tramo bajo del Ebro).

Las actuaciones para paliar la disminución de la frecuencia e intensidad de las avenidas naturales, se basan en la realización de crecidas artificiales. Existe amplia experiencia en el tema en la misma cuenca del río, en el Bajo Ebro donde se realizan crecidas artificiales desde 2002. Recientemente se han realizado estudios (Ibáñez et al., 2012^a; CHE, 2010) con la finalidad de mejorar los sistemas de control de los macrófitos (realización de las crecidas artificiales según pautas definidas).

En el Ebro medio la realización de crecidas artificiales es más compleja ya que no existen embalses próximos, por lo que éstas se tendrían que coordinar y generar a nivel de cuenca. Esta actuación se considera de difícil aplicación y daría resultados poco efectivos.

8.2. MEDIDAS BASADAS EN LA REDUCCIÓN DE LAS CARGAS DE NUTRIENTES

La relación entre el aumento significativo de los macrófitos en el Ebro medio y la disponibilidad de nutrientes no se ha establecido de forma clara en el estudio. En la serie temporal analizada, se observa que la tendencia de los nutrientes (en especial nitratos y fosfatos) es decreciente, por lo que el periodo de expansión de los macrófitos en el tramo no coincide con las mayores concentraciones de nutrientes. Esto indicaría que las concentraciones de nutrientes existentes son, en general, suficientes para el desarrollo de los macrófitos. Además cabe señalar que alguna de las especies con raíces utilizan el reservorio de nutrientes existente en los sedimentos (en especial *P. pectinatus*).

En años secos (como en 2012), la disponibilidad de nutrientes para los macrófitos aumenta, como resultado de la reducción del caudal, y esto puede favorecer su proliferación.

Por todo lo indicado, se considera que los nutrientes no son el factor principal que ha determinado el mayor crecimiento de los macrófitos en el tramo medio del Ebro, si bien pueden favorecer éste en condiciones determinadas.

La aplicación de medidas de reducción de nutrientes en los vertidos domésticos e industriales se considera favorable para aumentar el control de la contaminación y eutrofia del tramo, y con ello para limitar el efecto favorecedor de los nutrientes sobre los macrófitos. En este sentido, se podría valorar la aplicación de tratamiento terciario en la depuración de las aguas residuales previo al vertido, o bien la utilización de sistemas de depuración con macrófitos en casos aplicables (Celis *et al.*, 2005).

8.3. MEDIDAS BASADAS EN LA INTERACCIÓN ENTRE LAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS

El potenciamiento de las interacciones entre especies biológicas del sistema fluvial se ha utilizado como medida de control de los macrófitos. Por ejemplo la introducción de especies de carpa herbívoras (*Ctenopharyngodon idella*) ha resultado eficaz para el control de *Potamogeton.*; no obstante esto no se recomienda dado que estas carpas son exóticas y su

introducción en el río Ebro podría agravar aún más el desequilibrio de la comunidad de peces, y del resto del sistema natural.

En el tramo medio del Ebro las comunidades ícticas carecen de especies fitófagas estrictas, y las especies que podrían ejercer algún tipo de control como el barbo y la carpa presentan poblaciones decrecientes debido a los efectos de otras especies (introducidas) como el alburno y el siluro.

El control de la expansión del siluro o la aplicación de medidas que favorezcan la interacción de la comunidad de peces con los macrófitos son tarea de difícil aplicación, y que requieren de estudios específicos de viabilidad. En todo caso estas medidas no dan respuesta al control a corto plazo de los macrófitos en el Ebro medio.

8.4. PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL DE LOS MACRÓFITOS EN EL EBRO MEDIO

Las medidas de control de los macrófitos descritas en los apartados 8.1 a 8.3 en el Ebro medio son de difícil aplicación y no garantizan respuestas adecuadas a corto plazo. Por lo tanto, la propuesta más factible y que se considera más eficaz, a corto plazo, consiste en la realización de trabajos de extracción mecánica de los macrófitos como remedio paliativo.

La retirada mecánica es una buena opción cuando existe la necesidad de rebajar la biomasa de macrófitos de forma directa y rápida en aguas abiertas, si bien puede requerir una aplicación de por vida, e incluso de varias veces al año. La intensidad del corte o retirada de los macrófitos va a influir también en su posible recuperación, de modo que extracciones más intensas pueden retrasar la generación de masas importantes de estas plantas. Esto se ha observado, a corto plazo, en el estudio sobre la presencia de macrófitos en la zona de Zaragoza elaborado por el Ayuntamiento de Zaragoza en 2012 (Agencia de Medio Ambiente y Sostenibilidad, 2012).

La retirada mecánica de macrófitos presenta algunas ventajas importantes, como por ejemplo la retirada simultánea de nutrientes del sistema, en forma de biomasa vegetal, con independencia de que algunas especies como *Myriophyllum spicatum*, presenten contenidos de nitrógeno y fósforo demasiado bajos para su uso como sustituto de fertilizantes comerciales (Anderson *et al.*, 1965). Por otro lado, la notable merma de biomasa tras la desecación (hasta el 80-90%), es una ventaja en su manipulación como residuo. También

cabe valorar la selectividad de la medida, con escasos efectos colaterales sobre otros componentes del medio, en función de la opción de retirada mecánica escogida.

La extracción mecánica parece una opción recomendable dado sus efectos inmediatos. Sin embargo, *Potamogeton pectinatus* puede presentar mayor densidad después de una siega mecánica y, podrían llegar a necesitarse 3 campañas de siega al año para controlar su desarrollo (Kantrud, 1990). El ajuste del momento de la siega y la efectividad de la misma deberá controlarse a través de un seguimiento temporal de recolonización. A priori, los momentos más indicados para la siega serían:

- al principio de la etapa de crecimiento de *P. pectinatus* (finales de mayo), antes de que alcance biomasa importantes que faciliten la implantación de otras especies;
- en mitad de la etapa de crecimiento de esta especie (finales de julio), para controlar que realmente no se desarrolle en exceso y evitar, en la medida de lo posible, la floración y fructificación;
- finalmente, el tercer momento de extracción se debería realizar durante su etapa de senescencia (finales de septiembre), para asegurar que quede la menor cantidad posible de efectivos para la recolonización al año siguiente y evitar la dispersión de los talos (reproducción asexual).

En todo caso, un punto importante a considerar es la recogida del material extraído, ya que la principal desventaja de este tipo de medida es que la retirada mecánica puede actuar como un vector de dispersión de macrófitos, dado que una parte de la biomasa removida acaba siendo indefectiblemente arrastrada por el caudal circulante y puede acabar enraizando río abajo, allí donde encuentre condiciones adecuadas para hacerlo. Este efecto se ha podido comprobar en ríos ingleses (Fox, 1996).

Otro punto a tener en cuenta a la hora de elegir la técnica de extracción de macrófitos es la necesidad de comprobar que la retirada mecánica no genere efectos sobre la geomorfología y la ecología fluvial, como la ruptura de la estructura sedimentaria (en este caso coraza) del lecho. La estabilidad del acorazamiento reduce la movilidad del lecho, el intercambio de material entre las capas superficial y subsuperficial, y puede llegar a afectar algunos aspectos de la ecología fluvial (e.g. freza de peces). Por el contrario, el acorazamiento duradero reduce la erosión del cauce, proceso que puede llegar a ser relevante en zonas de déficit sedimentario. En dichas condiciones, la retirada de macrófitos por laboreo rompería la coraza de manera artificial. La rotura de la coraza dejaría una matriz de sedimentos no consolidada y con fracciones granulométricas más finas (aquellas partículas subsuperficiales que en la

actividad de laboreo han pasado a la superficie). Todo ello podría generar un aumento considerable de las concentraciones de sedimentos en suspensión (limos y arenas), y de la erosión del lecho. La utilización de maquinaria flotante para la siega de las plantas (similar a la utilizada por el Ayuntamiento de Zaragoza en las pruebas piloto para el corte de macrófitos; Ayuntamiento de Zaragoza, 2012) evitaría un efecto negativo sobre el fondo del río.

8.5. SEGUIMIENTO DEL CRECIMIENTO DE LOS MACRÓFITOS Y DE LA EFECTIVIDAD DE LAS ACTUACIONES.

Se considera de gran importancia la realización de trabajos de seguimiento de los crecimientos de los macrófitos antes y después de la realización de actividades de retirada, que permitan conocer la dinámica anual e interanual del crecimiento de los macrófitos, y la efectividad de las medidas aplicadas. En el estudio se ha observado la gran variabilidad espacial y temporal que muestran las poblaciones de macrófitos en los tramos analizados. Conocer el alcance y temporalidad de las proliferaciones de macrófitos es de gran ayuda para programar y ejecutar a tiempo las actuaciones de corta o retirada mecánica, lo que puede suponer un ahorro de recursos de importancia.

La efectividad de las medidas aplicadas sobre los macrófitos se deberá evaluar a partir de la monitorización de la abundancia de estas plantas a corto, medio y largo plazo. Es aconsejable que este seguimiento se realice siguiendo un protocolo estandarizado de evaluación de los macrófitos, que asegure que los resultados obtenidos sean comparables en el tiempo. Este protocolo debería contemplar lo siguiente:

- Establecimiento de unos puntos fijos representativos del tramo de río en estudio, como serían los definidos en los recorridos realizados en las campañas de 2012 y 2013 para este informe.
- Recorrido del tramo de río en estudio antes de la extracción de los macrófitos.
- Valoración de la abundancia de macrófitos, a partir de:
 - Anotación de la presencia de las especies de macrófitos y de su abundancia.

- Observación de la cobertura general de macrófitos en los puntos fijos definidos y entre puntos (entre secciones).
- Medida de variables relacionadas con los principales factores que determinan la abundancia de los macrófitos, según este estudio, para profundizar en la relación entre el desarrollo de estas plantas y estas variables, como son:
 - variables hidromorfológicas: caudal, velocidad del agua, profundidad y tipo de sustrato;
 - variables físicoquímicas: sólidos en suspensión y nutrientes disueltos;
 - variables biológicas: concentración de clorofila-a.
- Finalmente, sería aconsejable la representación espacial de los resultados obtenidos para una mejor interpretación de los mismos.

9. SÍNTESIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los trabajos de caracterización de la composición y cobertura de los macrófitos sumergidos en el tramo medio del río Ebro, y en otros tramos comparativos, y la diagnosis de los factores medioambientales que contribuyen al desarrollo y proliferación de los macrófitos presentan los siguientes resultados:

1) *Caracterización de las comunidades de macrófitos en 2012 y 2013*

Tramo medio del río Ebro

- En el periodo de primavera y verano de 2012 se han observado crecimientos importantes de macrófitos en el tramo medio del Ebro, caracterizados por el aumento de la cobertura de mayo a julio, y el inicio de su disminución en septiembre al entrar los macrófitos en fase de senescencia. Las coberturas medias puntuales han sido de 16,6% (mayo), 57,3% (julio) y 51,7% (septiembre).
- *Potamogeton pectinatus* es la especie dominante en mayo y julio de 2012, y es sustituida progresivamente por *Ceratophyllum demersum* en septiembre de 2012.
- Se ha determinado el patrón espacial de los crecimientos de macrófitos en el tramo entre la confluencia del río Jalón y Osera de Ebro, y se ha constatado que la cobertura de macrófitos observada en la zona de Zaragoza no difiere sustancialmente de la observada en otros tramos, no obstante ésta sea ligeramente superior a los subtramos inmediatamente colindantes aguas arriba y aguas abajo, en julio de 2012.
- En julio de 2013, después de un periodo largo de caudales elevados, y tras haber circulado caudales próximos a una gran crecida en invierno, la cobertura de macrófitos en el tramo disminuyó considerablemente (12,3% de promedio en los puntos donde había macrófitos y sólo en 13 puntos del recorrido en el tramo medio del Ebro).
- La diferencia que existe entre los veranos de 2012 y 2013 estriba en el régimen de caudal de cada año. Éste fue bajo y con ausencia de crecidas en 2012, y presentó caudales elevados en 2013.

Comparación con otros tramos de estudio

- La cobertura de macrófitos observada en septiembre-octubre de 2012 en el tramo medio del Ebro es similar a la observada en los tramos comparativos del Ebro (tramo entre Pina de Ebro a Sástago) y del Cinca (desde Zaidín a la confluencia con el Segre) (coberturas puntuales promedio de 51,7%, 54,56% y 42,8%, respectivamente).
- La comunidad de macrófitos es más diversa en el Ebro (7-8 especies) que en el Cinca (2 especies). En el Cinca existen condiciones fisicoquímicas del agua algo diferentes a las del Ebro (valores inferiores de temperatura, conductividad, transparencia y nutrientes -amonio y nitratos), no obstante no se puede concluir sobre su influencia sobre los macrófitos ya que sólo se dispone de datos de una campaña al final del periodo vegetativo de los macrófitos.

2) Caracterización hidromorfológica y de calidad fisicoquímica y biológica de los tramos analizados en 2012 y 2013

El desarrollo masivo de macrófitos en el Ebro y en el Cinca observado en 2012 ocurrió bajo las siguientes condiciones ambientales:

- Un régimen hidrológico en los años 2011-2012 caracterizado por caudales bajos, y extremadamente bajos y estables en verano, en el que no se dieron crecidas anuales de importancia. Asimismo señalar que con anterioridad la última gran crecida en el río se dio en 2007.
- La existencia de condiciones fisicoquímicas favorables al crecimiento de los macrófitos en 2012, como es un cierto aumento de la transparencia del agua y una mayor disponibilidad de nutrientes (asociada, esta última, a una menor dilución debido a caudales bajos en el río).
 - La transparencia del agua presentó una tendencia al aumento, al disminuir ligeramente la turbidez y los sólidos en suspensión. Asimismo, se dio una disminución de la concentración de clorofila-a en el tiempo (2005-2012).
 - Los nutrientes (amonio, nitratos y fosfatos) que si bien presentan una tendencia decreciente a largo plazo (1996-2012), presentan concentraciones más elevadas en 2011-2012 que en años precedentes como respuesta a la disminución del caudal del río en 2011 y 2012.

- No hay evidencias claras de un efecto de la fauna ictiológica sobre la proliferación de macrófitos en el tramo medio del Ebro. En este tramo existe una disminución en la abundancia de barbo (*Barbus graellsii*) y de otros ciprínidos asociada a la presencia de siluro en la zona (Presa de Pina). Esta disminución podría facilitar el desarrollo de los macrófitos, pero sería preciso profundizar más en este estudio para llegar a una conclusión definitiva. Además, en el tramo del Cinca no se observa esta reducción en la población de barbo y sí coberturas de macrófitos similares a los tramos del Ebro.

La proliferación de macrófitos parece haber incrementado la presencia de determinadas especies de peces insectívoras, como la gambusia, que encontrarían refugio y una mayor fuente de alimento asociada a la presencia de las plantas.

- Los cambios detectados en los análisis IMPRESS (2007, 2009 y 2012) relativos a la contaminación puntual por fuentes puntuales o difusas, y a la alteración morfológica del río por presencia de estructuras, en alguno de los tramos analizados, no parecen haber influido de forma directa en la proliferación de los macrófitos, puesto que ésta se da con igual intensidad en tramos donde no varió la presión.
- Los cambios observados en las condiciones morfológicas del río podrían haber facilitado, aunque no causado, la proliferación de macrófitos en las zonas más cercanas a la ribera del río: el ligero empeoramiento del estado de la zona ribereña, probablemente relacionado con la disminución de la cobertura riparia, significaría un incremento de disponibilidad de luz en el lecho del río en las zonas más próximas a las riberas del río, lo que estimularía el crecimiento de las plantas.
- Los efectos del dragado del cauce no se han evaluado en el presente estudio, puesto que precisan de estudios específicos.

3) Identificación de factores principales relacionados con el desarrollo de los macrófitos

- El principal factor al que se atribuye el progresivo desarrollo de los macrófitos en el Ebro medio tiene que ver con variaciones en el régimen de caudales observadas en la serie anual analizada (entre 1980-81 y 2012-13). Éstas son el incremento de los caudales extremadamente bajos ($Q < 31,2 \text{ m}^3/\text{s}$) que se dan en julio-agosto, y la disminución de los pulsos de caudal alto, pequeñas crecidas y grandes crecidas. La menor frecuencia de las pequeñas y grandes crecidas ha podido favorecer el

asentamiento de los macrófitos en los tramos fluviales de condiciones morfológicas adecuadas, y los periodos de caudales bajos y extremadamente bajos y estables en verano han favorecido su proliferación. El año 2012 ha sido un año seco con periodos largos de caudales bajos en verano, lo que ha propiciado el aumento de la cobertura de macrófitos en los tramos analizados en el Ebro medio y en el Cinca. El año 2013 ha sido húmedo con aumentos importantes de caudal a finales de invierno y en primavera; en estas condiciones los crecimientos de macrófitos en el Ebro medio han sido muy inferiores a los de 2012.

- La distribución de los macrófitos en los tramos fluviales puede depender de las condiciones hidromorfológicas locales, y la velocidad del agua, el tipo de sustrato y la profundidad influyen de manera importante en su cobertura:
 - La velocidad del agua y el tipo de sustrato determinan las coberturas extremas (máximas y mínimas) encontradas en el tramo medio del Ebro, de forma que, en general, las coberturas más altas se dan a velocidades bajas y sedimentos finos.
 - Las coberturas constantes a lo largo de las campañas de 2012 se relacionan con la profundidad y el tipo de sustrato, de manera que valores más altos de esta cobertura se darían a profundidades bajas, tipo de sustrato medio y, en menor medida, velocidades no muy altas. Esto indicaría localidades con disponibilidad de luz elevada, sustrato adecuado para enraizar y tener disponibilidad de nutrientes, así como suficiente renovación del agua.
- Entre los factores relacionados con la fisicoquímica de las aguas, la transparencia del agua tiene relevancia para los macrófitos. Algunos datos analizados indican un cierto aumento de la transparencia del agua por reducción de los sólidos en suspensión y de la concentración de fitoplancton. En condiciones de caudal bajo y baja pluviometría (como las de 2012) la transparencia del agua puede depender de la existencia de aportes de aguas de vertidos con aguas turbias y del fitoplancton. En el primer caso pueden darse efectos locales de aguas turbias, y en el caso del fitoplancton éste ha disminuido por lo que, en general, las condiciones de transparencia serían buenas para los macrófitos.
- Los nutrientes pueden tener un efecto potenciador del crecimiento de los macrófitos pero no son el factor principal que explica el asentamiento y progresivo aumento de

los macrófitos en el Ebro medio. De hecho las concentraciones de nutrientes (nitratos, fosfatos) han disminuido en la serie temporal analizada. En años secos como 2012 la disponibilidad de los nutrientes es mayor por efecto de concentración al disminuir el caudal lo que puede estimular el crecimiento de los macrófitos.

CONCLUSIONES

El desarrollo de los macrófitos en el tramo medio del río Ebro ha estado influido por diferentes factores ambientales que han actuado de forma sinérgica. Estos son:

- La variación del régimen de caudales en lo referente a la reducción de la frecuencia de los episodios de grandes avenidas, y asimismo de las pequeñas crecidas, junto al aumento de la frecuencia de los caudales extremadamente bajos en la serie temporal analizada (1980-81 y 2012-13).
- Las características hidromorfológicas de los tramos fluviales, en lo referente a la velocidad del agua y profundidad que en condiciones de caudal medio y bajo son muy favorables al crecimiento de los macrófitos.
- Un cierto aumento de la transparencia del agua motivada por la reducción de los sólidos en suspensión (en algunos tramos) y del fitoplancton.
- La existencia de concentraciones de nutrientes suficientes para asegurar el desarrollo de los macrófitos, incluso cuando dichas concentraciones han disminuido en la serie temporal analizada.
- La inexistencia de control de los macrófitos debida a la interacción con otras comunidades biológicas como los peces.

PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL

Debido a que la realización de avenidas controladas en el tramo medio del Ebro es prácticamente inviable por no existir embalses suficientemente cercanos, se considera que las medidas viables y más eficaces a corto plazo se deben basar en el control de la biomasa de macrófitos a partir de la aplicación de técnicas de corta y de extracción mecánica de dicha biomasa. En este aspecto se considera de gran importancia la realización de seguimientos del

estado de los macrófitos en etapas tempranas de su crecimiento, y el establecimiento de un calendario de actuaciones que permita el control óptimo de los crecimientos y se eviten las proliferaciones extensas de los macrófitos.

El seguimiento propuesto se basa en la metodología de evaluación de la cobertura de los macrófitos aplicada en el estudio, con estimaciones en secciones predeterminadas, y entre secciones que ha permitido obtener resultados robustos y comparables en las diferentes campañas del estudio. La aplicación de dicho seguimiento permitirá identificar los momentos más favorables para la realización de las actuaciones, además de determinar su eficacia.

10. REFERENCIAS

- Agencia de Medio Ambiente y Sostenibilidad, 2012. *Inventario de macrófitos en el Ebro a su paso por el término municipal de Zaragoza*. Ayuntamiento de Zaragoza.
- Anderson R.R., Brown R.G., Rappleye R.D., 1965. *Mineral composition of Eurasian Water Milfoil, Myriophyllum spicatum L.* Chesapeake Science 6 (1): 68-72.
- Ayuntamiento de Zaragoza, 2012. *Informe sobre los trabajos realizados en la Prueba Piloto de Extracción de macrófitos (algas) en el río Ebro en Zona Urbana de Zaragoza*. Informe nº ZGZ-120806.
- Barendregt A., Bio A.M.F., 2003. *Relevant variables to predict macrophyte communities in running waters*. Ecological Modelling 160: 205–17.
- Batalla R.J, Vericat D., 2009. *Hydrological and sediment transport dynamics of flushing flows: implications for management in large Mediterranean rivers*. River Research and Applications 25(3): 297–314.
- Best E.P.H., Buzzelli C.P., Bartell S.M., Wetzel R.L., Boyd W.A., Boyle R.D., Campbell K.R., 2001. *Modeling submersed macrophyte growth in relation to underwater light climate: modeling approaches and application potential*. Hydrobiology 444: 43-70.
- Celis J.C., Junod J., Sandoval M., 2005. *Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas*. Theoria 14(1): 17-25.
- Confederación Hidrográfica del Ebro, 2000. *Estudio de calidad ecológica integral de los tramos fluviales más importantes del río Cinca*. URS España.
- Confederación Hidrográfica del Ebro, 2010. *Asistencia técnica para el control de los macrófitos: Mejora de la gestión de los embalses del Bajo Ebro*. Coordinación de URS España.

- Chambers P.A., Prepas E.E., Hamilton H.R., Bothwell M.L., 1991. *Current velocity and its effect on aquatic macrophytes in flowing waters*. Ecological Applications 1: 249–57.
- Carr G.M., Duthie H.C., Taylor W.D., 1997. *Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth*. Aquatic Botany 59: 195-215.
- Fox A.M., (1996). *Macrophytes*. In: *River Biota. Diversity and Dynamics* (G.E. Petts & P. Calow, Eds.). Blackwell Science Ltd. Oxford (UK): 27-44.
- Franklin P., Dunbar M., Whitehead P., 2008. *Flow control on lowland river macrophytes: a review*. Science of the Total Environment 400: 369-378.
- Gosselain V., Hudon C., Cattaneo A., Gagnon P., Planas D., Rochefort D., 2005. *Physical variables driving epiphytic algal biomass in a dense macrophyte bed of the St. Lawrence River (Quebec, Canada)*. Hydrobiologia 534: 11-22.
- Ibáñez C., Caiola N., Rovira A., Real M, 2012a. *Monitoring the effects of floods on submerged macrophytes in a large river*. Science of the Total Environment 440: 132-139.
- Ibáñez C., Alcaraz C., Caiola N., Rovira A., Trobajo R., Alonso M., et al., 2012b. *Regime shift from phytoplankton to macrophyte dominance in a large river: top-down versus bottom-up effects*. Science of the Total Environment 416: 314–22.
- Jacono C.C., Richerson M.M., 2004. *Nonindigenous Aquatic Plants. Myriophyllum spicatum* L. U.S. Department of the Interior. Geological Survey. Biological Resources Division. Center for Aquatic Resources Studies.
- Kantrud H.A., 1990. *Sago Pondweed (Potamogeton pectinatus L.): A literature review*. Fish and Wildlife service – Jamestown ND. Northern Prairie Wildlife Research Center.
- Madsen J.D., Chambers P.A., James W.F., Koch E.W., Westlake D.F., 2001. *The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes*. Hydrobiologia 444: 71–84.

- Newman R.M., 2004. *Biological control of Eurasian watermilfoil by aquatic insects: basic insights from applied problem*. Archiv für Hydrobiologie 159 (2): 145-184.
- Riis T. y Biggs B.J.F., 2003. *Hydrologic and hydraulic control of macrophyte establishment and performance in streams*. Limnology and Oceanography 48: 1488–1497.
- Riis, T., Suren, A.M., Clausen, B., Sand-Jensen, K., 2008. *Vegetation and flow regime in lowland streams*. Freshwater Biology 53 (8): 1531-1543.
- The Nature Conservancy, 2009. *Manual del usuario de Indicadores de Alteración Hidrológica*, Versión 7.1.

ANEXOS

Anexo 1: Planos

Anexo 2: Tablas y Figuras

Anexo 3: Reportaje fotográfico



Anexo 1: Planos



Anexo 2: Tablas y Figuras

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua analizados *in situ*.

MATRIZ	PARÁMETRO	MÉTODO	RANGO DE APLICACIÓN	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO
Aguas Continentales	Transparencia de Disco de Secchi <i>in situ</i>	Disco de Secchi	0,14 – 30,00 m	PNT-A-011
	Conductividad <i>in situ</i> a 25°C.	Electrometría	50 – 12.880 μ S/cm	* PNT-A-004
	Temperatura <i>in situ</i>	Termometría	5,0 – 30,0 °C	* PNT-A-006

* *Procedimientos de ensayo acreditados.*

Tabla 2. Localización geográfica (coordenadas UTM - ED50, Huso 30) del punto de observación de la cobertura de macrófitos en cada sección transversal definida en el tramo medio del Ebro (tramo 1). Se indica la posición del punto en la sección transversal (margen) y la cobertura observada entre secciones en los diferentes muestreos de 2012. D: margen derecho; I: margen izquierdo; C: centro del cauce.

Sección	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Margen	Cobertura entre secciones %		
	X (m)	Y (m)		Mayo 2012	Julio 2012	Septiembre 2012
1	661213	4627144	D	0	10	20
2	661361	4627049	I	10	20	30
3	661931	4626737	I	10	20	20
4	661994	4626635	D	10	10	20
5	662216	4626610	I	0	15	40
6	662252	4626521	D	0	50	20
7	662380	4626349	D	2	20	25
8	662843	4626048	I	0	-	-
9	662847	4625946	D	0	15	15
10	663018	4625720	I	0	10	10
11	662854	4625601	D	5	5	15
12	662762	4625452	C	0	20	25
13	662692	4625107	D	0	25	25
14	663346	4624825	D	1	5	10
15	664456	4624990	D	1	5	10
16	664344	4623619	D	3	5	20
17	664524	4623052	I	3	5	5
18	665367	4622715	D	0	25	5

Sección	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Margen	Cobertura entre secciones %		
	X (m)	Y (m)		Mayo 2012	Julio 2012	Septiembre 2012
19	665695	4622570	I	0	10	10
20	665881	4622201	D	0	5	5
21	666328	4622398	D	1	20	25
22	666593	4622894	D	3	5	5
23	667261	4622720	D	5	20	20
24	667571	4622511	I	1	5	10
25	668010	4622267	D	3	20	20
26	668092	4622168	D	10	10	10
27	668295	4622079	I	0	10	10
28	668456	4621566	D	<2	10	10
29	668635	4621413	D	<2	20	10
30	668856	4621357	I	0	10	20
31	669628	4620523	D	0	5	10
32	669561	4619953	D	0	5	20
33	670127	4619726	I	5	30	30
34	670614	4619481	D	5	15	10
35	671115	4619387	I	0	15	15
36	671429	4619134	D	10	30	30
37	671878	4618638	I	1	15	15
38	671487	4618427	D	1	5	10
39	671609	4617429	I	0	5	10
40	672324	4617649	I	3	25	25
41	672625	4617893	D	3	5	5
42	673667	4617944	I	5	25	20
43	674490	4617490	C	0	10	10
44	674833	4616512	I	0	10	10
45	674320	4615964	I	0	10	10
46	673642	4615694	I	0	20	20
47	673407	4614858	I	2	10	20
48	674102	4614972	I	3	30	20
49	674303	4615012	I	0	10	10
50	674447	4615041	D	5	20	10
51	674681	4615184	I	5	10	10
52	674929	4615116	D	5	15	15
53	675157	4615066	D	5	40	60
54	675412	4614909	D	2	40	40
55	675587	4614650	D	5	20	20
56	675763	4614468	D	5	25	10
57	675949	4614330	D	5	25	25
58	676067	4614335	I	2	20	5
59	676437	4614250	I	2	5	0
60	676572	4614253	I	5	40	10
61	676710	4614227	I	5	35	15
62	676951	4614175	I	0	70	15
63	677029	4613996	D	0	60	15
64	677110	4614053	C	0	40	30

Sección	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Margen	Cobertura entre secciones %		
	X (m)	Y (m)		Mayo 2012	Julio 2012	Septiembre 2012
65	677189	4614024	C	5	20	15
66	677485	4613871	D	5	Azud	Azud
67	678500	4613483	I	5	10	25
68	679059	4613410	I	5	10	25
69	679424	4613299	C	5	20	20
70	679988	4613183	D	1	10	20
71	680351	4612259	D	0	5	20
72	680232	4612055	D	0	10	20
73	680294	4611958	I	5	30	30
74	680137	4611654	C	0	10	20
75	680030	4611376	C-D	2	15	10
76	679916	4610639	D	2	15	15
77	680257	4610127	I	2	25	30
78	680573	4609942	I	2	20	20
79	681133	4609497	D	2	10	10
80	683187	4608459	I	0	10	5
81	683547	4608296	I	0	10	25
82	683940	4608357	D	0	20	20
83	684109	4608307	D	0	20	20
84	684325	4608241	D	10	30	15
85	684698	4608000	D	5	25	15
86	685001	4607641	I	5	20	20
87	685381	4607399	I	2	15	45
88	686237	4607441	D	2	5	20
89	686600	4606256	I	2	30	20
90	686816	4606026	I	5	20	20
91	687888	4606545	I	0	10	20
92	688543	4605911	D	2	50	15
93	688725	4605165	I	0	10	10
94	689350	4604717	I	10	40	40
95	689736	4604685	D	0	10	20
96	690383	4604899	C	0	20	20
97	690599	4604787	D	5	20	20
98	691648	4604644	I	0	<5	<5
99	692056	4604953	D	0	<5	<5
100	692604	4604540	D	15	80	50
101	693122	4604291	D	5	10	10
102	693619	4603463	I	2	25	15
103	693564	4603076	I	0	25	20
104	693829	4602899	I	2	40	40
105	694627	4602790	I	0	50	50
106	694846	4602776	D	0	10	5
107	695367	4603122	C	15	60	60
108	696197	4603451	D	5	25	15
109	696459	4603757	I	5	15	5
110	697262	4602997	D	5	30	10

Sección	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Margen	Cobertura entre secciones %		
	X (m)	Y (m)		Mayo 2012	Julio 2012	Septiembre 2012
111	697873	4602535	I	15	50	30
112	698228	4602717	D	10	30	5
113	698411	4603140	I	2	25	< 5
114	699266	4603199	D	0	60	15
115	699523	4602059	D	5	70	50
116	700200	4602270	I	5	30	5
117	701792	4601076	I			

Tabla 3. Localización geográfica (coordenadas UTM -ED50, Huso 30) del punto de observación de la cobertura de macrófitos en cada sección transversal definida en el tramo comparativo del Ebro (tramo 2). Se indica la posición del punto en la sección transversal (margen), la cobertura de macrófitos observada en el punto (cobertura puntual) y la cobertura observada entre secciones. D: margen derecho; I: margen izquierdo; C: centro del cauce.

Sección	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Margen	Cobertura puntual %	Cobertura entre secciones %
	X (m)	Y (m)			
1	701815	4600981	C	90	80
2	701900	4600800	I-C	100	15
3	702044	4600280	C	80	25
4	702500	4599149	D	90	25
5	702804	4598631	I-C-D	80	20
6	704655	4598712	I-C-D	70	15
7	704705	4598110	I	60	15
8	703834	4597720	C	60	20
9	703652	4597454	C	40	10
10	704283	4596585	C	40	20
11	704742	4596783	C-D	30	30
12	705150	4596986	I	40	20
13	705764	4596745	C	50	25
14	705924	4596237	I-C	50	30
15	705758	4595641	I-C-D	30	15
16	706284	4594278	I-C-D	45	10
17	707453	4594313	I-C-D	40	25
18	708828	4593937	D	40	10
19	709599	4592454	D	35	15

Sección	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Margen	Cobertura puntual %	Cobertura entre secciones %
	X (m)	Y (m)			
20	709529	4591704	D	60	10
21	708973	4591144	I-C-D	25	5
22	708921	4590256	I	75	25
23	709527	4590237	I-D	50	25
24	709758	4590433	I	90	10
25	711472	4590333	D	60	
26	711151	4586358	I	60	5
27	711485	4585654	C	20	5
28	712392	4584875	I	70	10
29	713075	4584585	D	80	5
30	713577	4584211	I-C	15	5
31	714024	4582523	D	60	5
32	714362	4581525	I	100	15
33	714628	4581222	C	20	10
34	714831	4581149	I	80	10
35	714920	4580757	D	60	5
36	715568	4579332	C	30	5
37	716031	4579058	D	80	10
38	717018	4579282	I	60	5
39	719805	4578611	C	20	15
40	720023	4579040	D	50	5
41	720033	4579322	C	15	10
42	719894	4579836	C	80	5
43	720977	4580395	I-C	60	5
44	721260	4578223	I	60	5
45	721972	4578274	D	5	

Tabla 4. Localización geográfica (coordenadas UTM -ED50, Huso 30) del punto de observación de la cobertura de macrófitos en cada sección transversal definida en el tramo comparativo del Cinca (tramo 3). Se indica la posición del punto en la sección transversal (margen), la cobertura de macrófitos observada en el punto (cobertura puntual) y la cobertura observada entre secciones. D: margen derecho; I: margen izquierdo; C: centro del cauce.

Sección	Coordenadas UTM (ED50, Huso 30)		Margen	Cobertura puntual %	Cobertura entre secciones %
	X (m)	Y (m)			
1	771890	4610529	I	60	10
2	772298	4610254	C	50	10
3	772644	4610152	I	60	10
4	772791	4609806	C	70	5
5	773966	4608446	I	50	15
6	774388	4607991	D	30	10
7	774890	4607286	D	70	5
8	775231	4607340	I	35	10
9	775521	4607007	I	40	5
10	777009	4605852	C	20	10
11	777281	4605592	D	40	15
12	777441	4605449	C	50	15
13	778321	4604373	I	50	5
14	778962	4603251	D	25	5
15	779173	4602770	D	30	10
16	779351	4601705	I	40	5
17	779752	4599512	C	25	5
18	779425	4598133	D	40	5
19	779152	4596496	C	30	5
20	779331	4595987	D	40	5
21	779577	4595352	C	50	10
22	780452	4594330	I	50	20
23	780369	4594232	I	40	10
24	780095	4593889	I	50	15
25	779611	4592890	I	40	10
26	779673	4592363	I	40	5
27	779935	4592107	D	30	

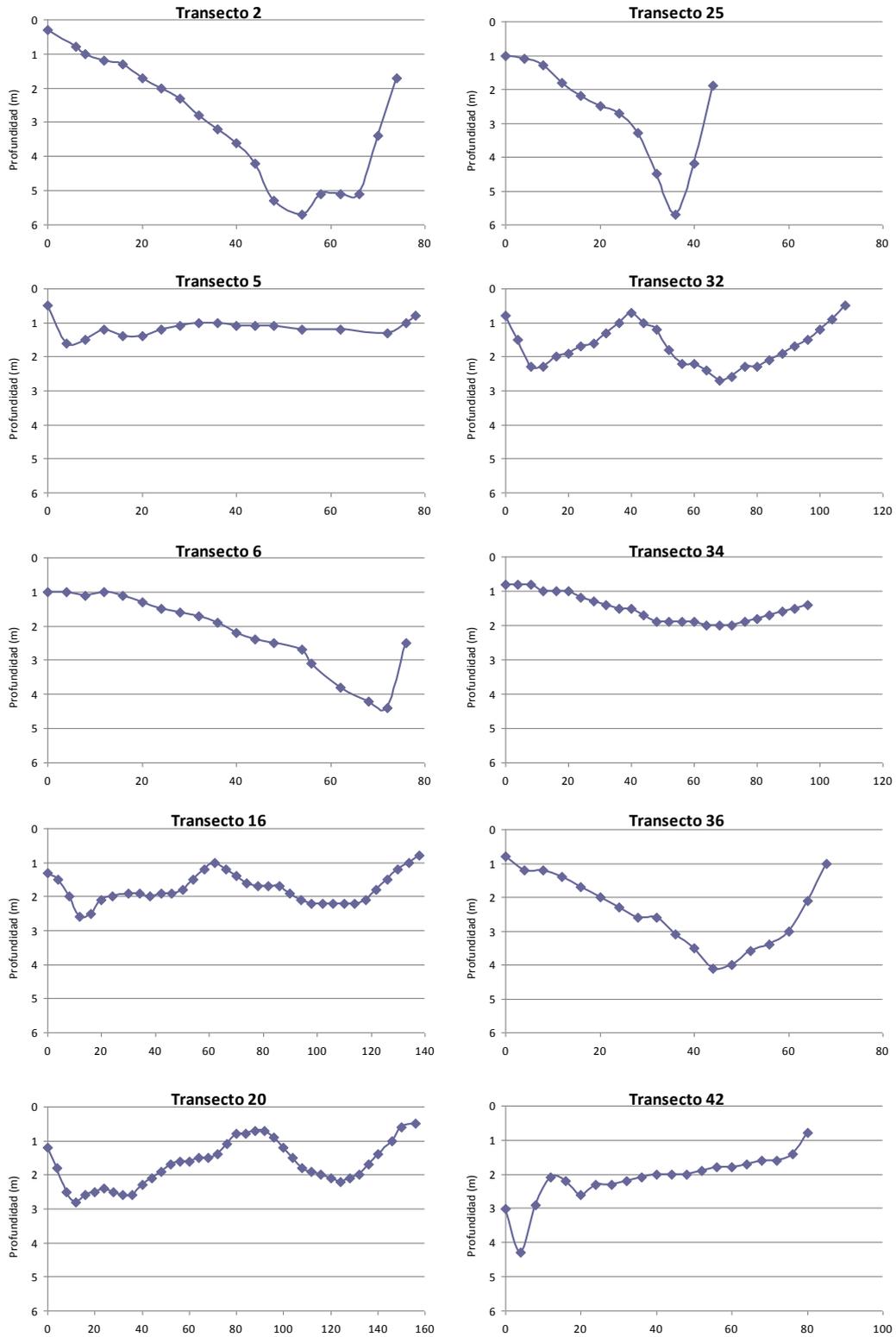


Figura 1. Perfil batimétrico de secciones (transectos) transversales definidas en el tramo medio del Ebro y que presentaron coberturas máximas durante el verano de 2012 (primeras 10 secciones de un total de 20).

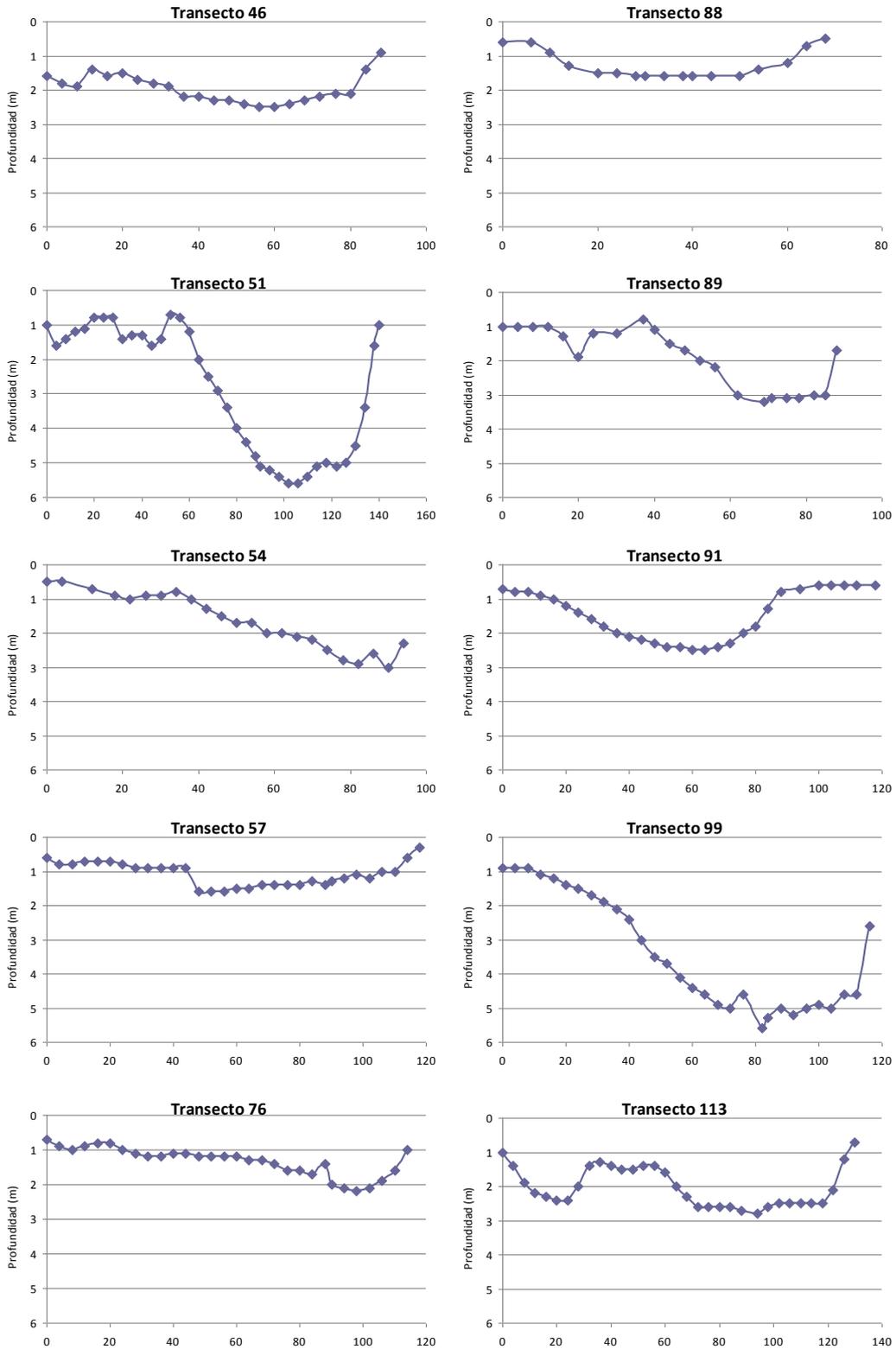


Figura 2. Perfil batimétrico de secciones (transectos) transversales definidas en el tramo medio del Ebro y que presentaron coberturas máximas durante el verano de 2012 (últimas 10 secciones de un total de 20).

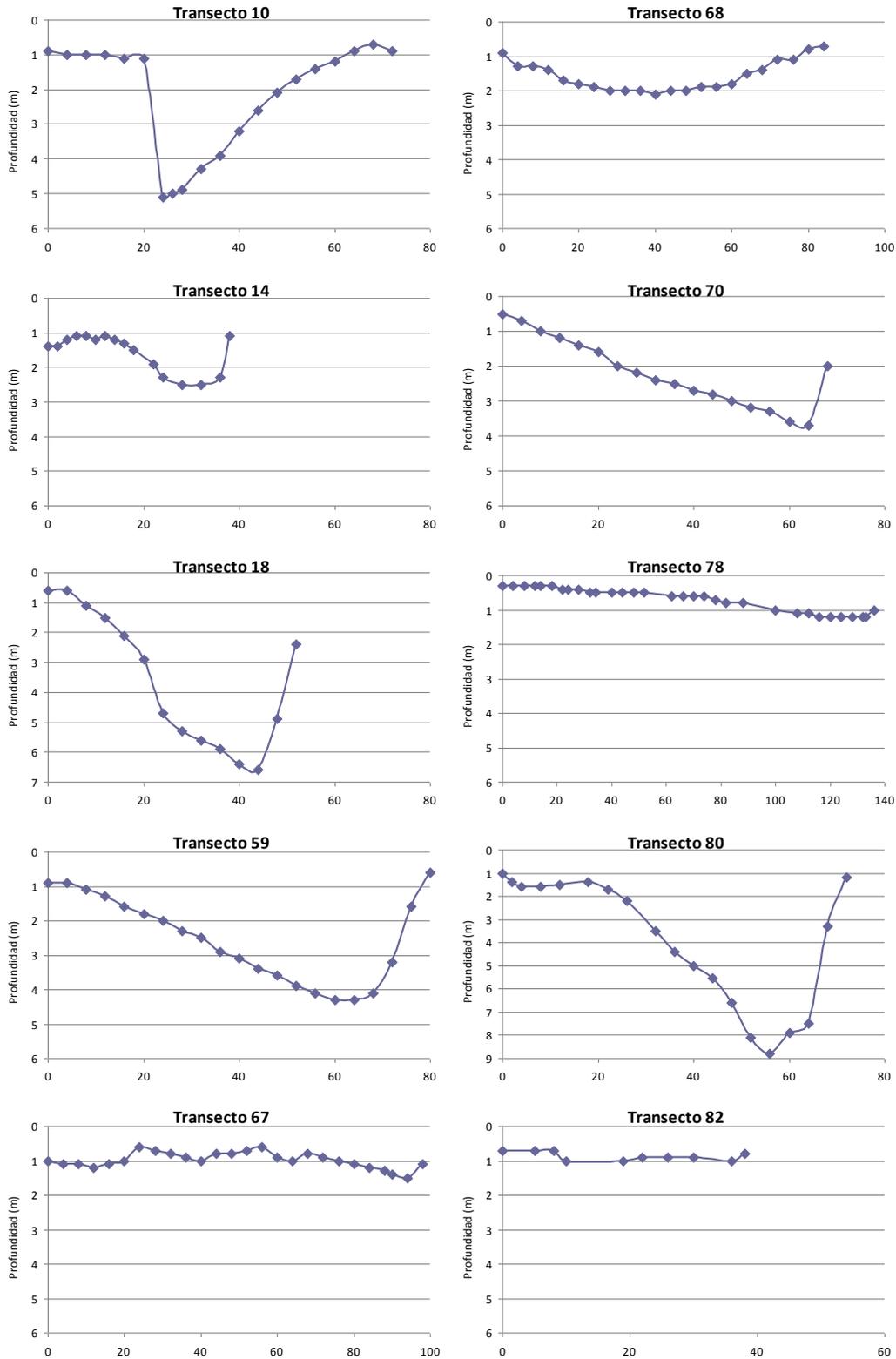


Figura 3. Perfil batimétrico de secciones (transectos) transversales definidas en el tramo medio del Ebro y que presentaron coberturas mínimas durante el verano de 2012.

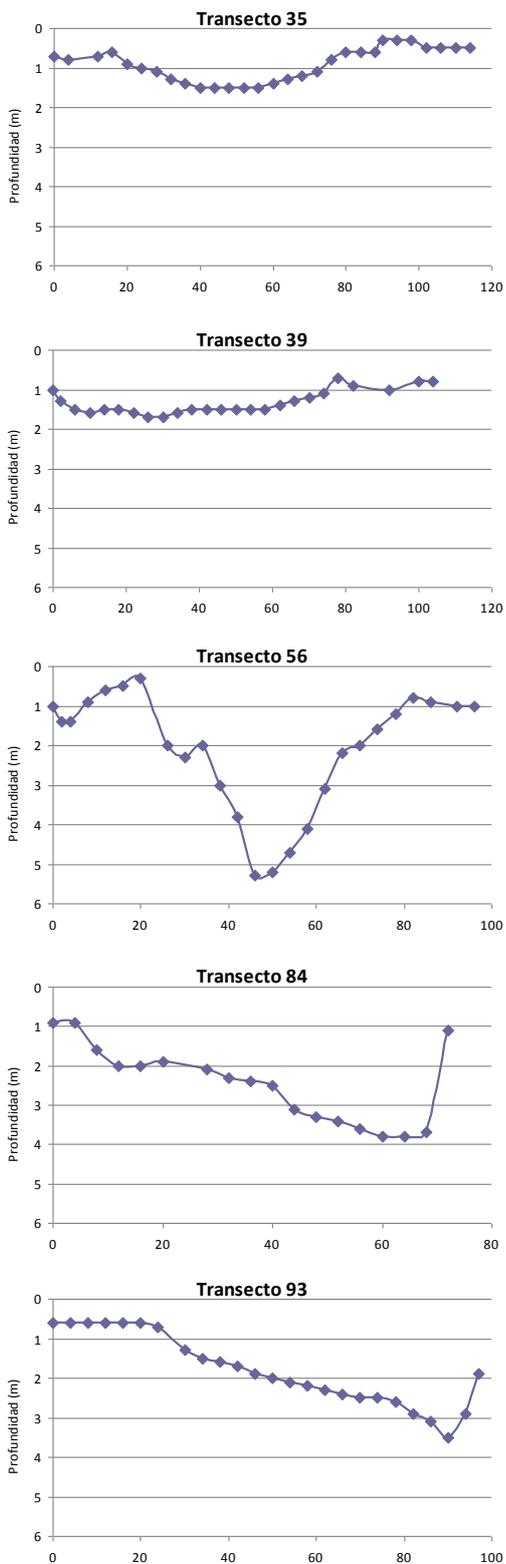


Figura 4. Perfil batimétrico de secciones (transectos) transversales definidas en el tramo medio del Ebro y que presentaron coberturas constantes durante el verano de 2012.



Anexo 3: Reportaje fotográfico



Foto 1: Tramo 1; Zona de acceso, margen derecho. 14 de mayo de 2012. Junto a paso de barca en Torres de Berrellén.



Foto 2: Tramo 1; Punto 3, 14 de mayo de 2012. Detalle de una línea continua de *Potamogeton pectinatus*, junto al margen izquierdo.



Foto 3: Tramo 1; Punto 6. 14 de mayo de 2012. Detalle de una mata de *Potamogeton cf. perfoliatus*, especie acompañante muy poco abundante.



Foto 4: Tramo 1; Punto 6. 14 de mayo de 2012. Detalle de una mata de *Potamogeton crispus*, especie acompañante bastante común en este tramo.



Foto 5: Tramo 1; Punto 20, aguas arriba, margen derecho. 14 de mayo de 2012. Pequeña pradera de *P. pectinatus*.



Foto 6: Tramo 1; Punto 24, aguas abajo, margen izquierdo. 14 de mayo de 2012. Matas dispersas de *P. pectinatus*.



Foto 7: Tramo 1; Punto 26, margen derecho. 14 de mayo de 2012. Matas dispersas de *Potamogeton nodosus*. Sólo se observa en este punto.



Foto 8: Tramo 1; Punto 26. 14 de mayo de 2012. Detalle de una planta de *Potamogeton nodosus*.



Foto 9: Tramo 1; Punto 52, aguas arriba, margen derecho. 15 de mayo de 2012. Algunas matas de *P. pectinatus* junto a la orilla.

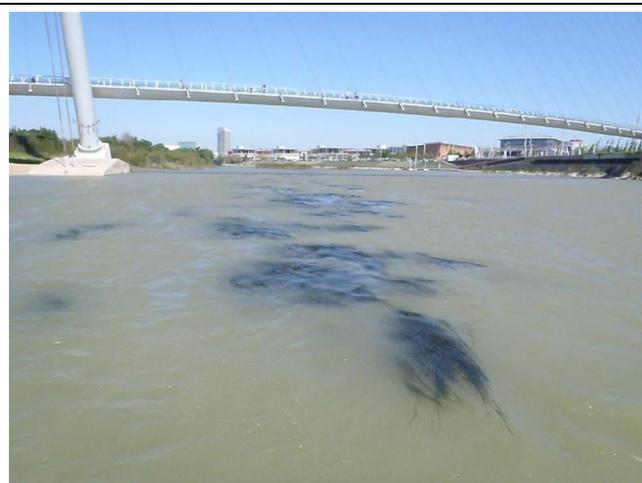


Foto 10: Tramo 1; Punto 54, aguas abajo, zona central. 15 de mayo de 2012. Pequeña pradera de macrófitos en el centro del cauce bajo pasarela.



Foto 11: Tramo 1; Punto 61, aguas arriba, margen izquierdo. 15 de mayo de 2012. Pradera de *P. crispus*, enfrente del Pilar.



Foto 12: Tramo 1; Punto 64, aguas arriba, zona central. 15 de mayo de 2012. Matas dispersas de *P. pectinatus*, *P. crispus* y *M. spicatum*.



Foto 13: Tramo 1; Punto 83, bajo isla. 15 de mayo de 2012. Matas dispersas de *P. pectinatus*.



Foto 14: Tramo 1; Punto 85, aguas abajo, margen derecho. 15 de mayo de 2012. Pradera de *P. pectinatus* en margen derecho.



Foto 15: Tramo 1; Punto 91, aguas abajo, margen izquierdo. 15 de mayo de 2012. Amplia pradera de *P. pectinatus*, donde se han observado restos de simúlidos.



Foto 16: Tramo 1; Punto 99, aguas abajo, margen derecho. 15 de mayo de 2012. Extensa pradera de *P. pectinatus* y *M. spicatum*.



Foto 17: Tramo 1; Punto 114, aguas arriba, margen derecho. 15 de mayo de 2012. Acumulación de *P. pectinatus* junto a la zona interior de la curva.



Foto 18: Tramo 1; Punto 116, aguas abajo, margen izquierdo. 15 de mayo de 2012. Pradera de *P. pectinatus*.



Foto 19: Tramo 1; Punto 1. 26 de julio de 2012. Margen derecho. *Potamogeton pectinatus* cubierto por algas filamentosas.



Foto 20: Tramo 1; Punto 2. 26 de julio de 2012. Detalle de una mata de *Potamogeton cf. perfoliatus*.



Foto 21: Tramo 1; Punto 3. 26 de julio de 2012. Margen izquierdo. Matas de *Potamogeton pectinatus* y *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 22: Tramo 1; Punto 5. 26 de julio de 2012. Margen izquierdo. Matas de *Potamogeton pectinatus* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 23: Tramo 1; Punto 6. 26 de julio de 2012. Margen derecho. Detalle de *Azolla filiculoides*.



Foto 24: Tramo 1; Punto 16. 26 de julio de 2012. Margen derecho. Matas de *Potamogeton pectinatus* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 25: Tramo 1; Punto 25. 26 de julio de 2012. Margen derecho. Matas de *Ceratophyllum demersum* y *Potamogeton nodosus*.



Foto 26: Tramo 1; Punto 25. 26 de julio de 2012. Margen derecho. Detalle de *Potamogeton nodosus*.



Foto 27: Tramo 1; Punto 28. 26 de julio de 2012. Margen derecho. Detalle de algas filamentosas.



Foto 28: Tramo 1; Punto 40. 26 de julio de 2012. Margen izquierdo. Matas de *Potamogeton pectinatus* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 29: Tramo 1; Punto 48. 26 de julio de 2012. Margen izquierdo. Matas de *Potamogeton pectinatus* y de *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 30: Tramo 1; Azud de Zaragoza, aguas arriba, zona central. 27 de julio de 2012.



Foto 31: Tramo 1; Azud de Zaragoza, aguas abajo, zona central. 27 de julio de 2012.



Foto 32: Tramo 1; Punto 71. 27 de julio de 2012. Margen derecho. Detalle de matas de *Potamogeton cf. Perfoliatus*.



Foto 33: Tramo 1; Punto 77. 27 de julio de 2012. Margen izquierdo. Detalle de matas de *Ceratophyllum demersum*.



Foto 34: Tramo 1; Punto 80. 27 de julio de 2012. Margen izquierdo. Aglomeración de *Lemna minor*.



Foto 35: Tramo 1; Punto 96. 27 de julio de 2012. Detalle de matas de *Myriophyllum spicatum*.



Foto 36: Tramo 1; Punto 107. 27 de julio de 2012. Detalle de matas de *Potamogeton pectinatus* cubiertos con material orgánico.



Foto 37: Tramo 1; Punto 115. 27 de julio de 2012. Detalle de matas de *Potamogeton pectinatus* cubriendo todo el cauce.



Foto 38: Tramo 1; Punto 1. 13 de septiembre de 2012. Margen derecho. Matas de *Potamogeton pectinatus* y *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 39: Tramo 1; Punto 4. 13 de septiembre de 2012. Margen derecho. *Potamogeton pectinatus* cubierto por algas filamentosas.



Foto 40: Tramo 1; Punto 5. 13 de septiembre de 2012. Margen izquierdo. Matas de *Potamogeton pectinatus* y *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 41: Tramo 1; Punto 5. 13 de septiembre de 2012. Margen izquierdo. Detalle de Mata de *Potamogeton perfoliatus* y algas filamentosas.



Foto 42: Tramo 1; Punto 6. 13 de septiembre de 2012. Margen derecho. *Ceratophyllum demersum* cubierto por algas filamentosas. Matas dispersas de las *P. perfoliatus*, *P. pectinatus* y *P. crispus*.



Foto 43: Tramo 1; Punto 11. 13 de septiembre de 2012. Margen derecho. *Ceratophyllum demersum* cubierto por algas filamentosas.



Foto 44: Tramo 1; Punto 16. 13 de septiembre de 2012. Margen derecho. *Ceratophyllum demersum* cubierto por algas filamentosas.



Foto 45: Tramo 1; Punto 17. 13 de septiembre de 2012. Margen izquierdo. *Ceratophyllum demersum* y *Potamogeton pectinatus* cubierto por algas filamentosas.



Foto 46: Tramo 1; Punto 24. 13 de septiembre de 2012. Margen izquierdo. *Ceratophyllum demersum* y *Potamogeton perfoliatus* cubiertos por algas filamentosas.



Foto 47: Tramo 1; Punto 25. 13 de septiembre de 2012. Margen derecho. Matas de *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 48: Tramo 1; Punto 46. 13 de septiembre de 2012. Detalle de *Potamogeton pectinatus* cubierto por algas filamentosas.



Foto 49: Tramo 1; Punto 62. 14 de septiembre de 2012.
Mata de *Potamogeton nodosus*.



Foto 50: Tramo 1; Punto 64. 14 de septiembre de 2012.
Centro del cauce. Matas de *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton crispus* y *Ceratophyllum demersum*.



Foto 51: Tramo 1; Punto 66. 14 de septiembre de 2012.
Margen derecho. Matas de *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 52: Tramo 1; Punto 71. 14 de septiembre de 2012.
Margen derecho. Matas de *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas, *Azolla filiculoides* y *Lemna minor*.



Foto 53: Tramo 1; Punto 77. 14 de septiembre de 2012.
Margen izquierdo. Matas de *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 54: Tramo 1; Punto 89. 14 de septiembre de 2012.
Matas de *Potamogeton pectinatus* y *Ceratophyllum demersum*.



Foto 55: Tramo 1; Punto 89. 14 de septiembre de 2012. Detalle de matas de *Potamogeton pectinatus*.



Foto 56: Tramo 1; Punto 94. 14 de septiembre de 2012. Matas de *Potamogeton pectinatus* y *Ceratophyllum demersum* cubiertas por algas filamentosas.



Foto 57: Tramo 1; Punto 98. 14 de septiembre de 2012. Matas de *Myriophyllum spicatum* y *Ceratophyllum demersum*.