

Jornada técnica

Las algas del tramo bajo del Ebro



FACTORES HIDROLÓGICOS



Antoni Palau

Zaragoza, noviembre de 2011

Índice orientativo...

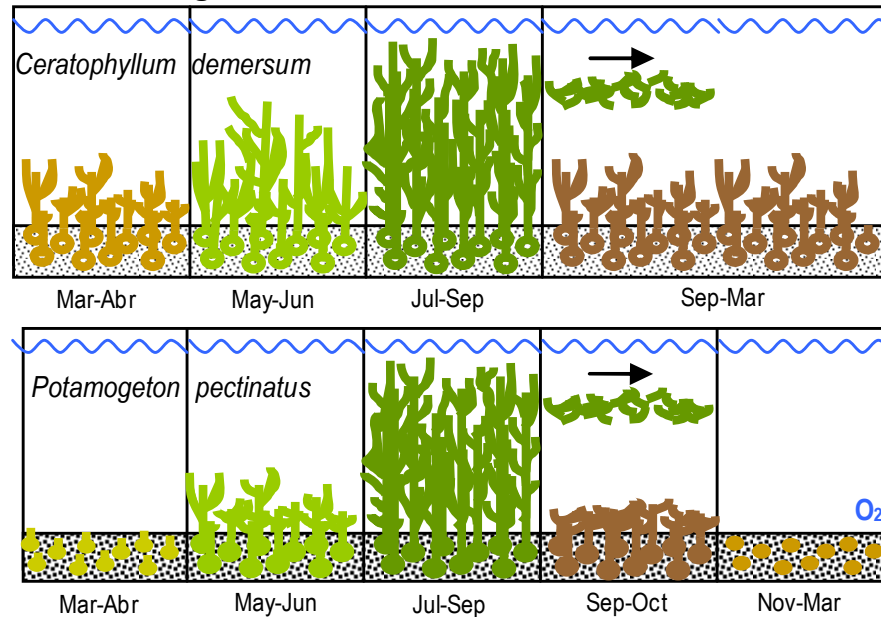
- **La zona de estudio (bajo río Ebro)**
- **El ciclo biológico de los macrófitos**
- **La proliferación masiva de macrófitos en el bajo Ebro:**
 - **El papel regulador de factores limitantes de los embalses**
 - **Otros factores**
 - **Aspectos y procesos de interés**
- **El tiempo de residencia del agua en los embalses**
- **Las crecidas**
- **Los nutrientes**
- **Posible respuesta a una pregunta frecuente: ¿Cuándo es el mejor momento para llevar a cabo las crecidas artificiales de control de macrófitos?**
 - **Selección de un indicador de referencia**
 - **Determinación del momento idóneo**
- **Conclusiones**

El Bajo Ebro...

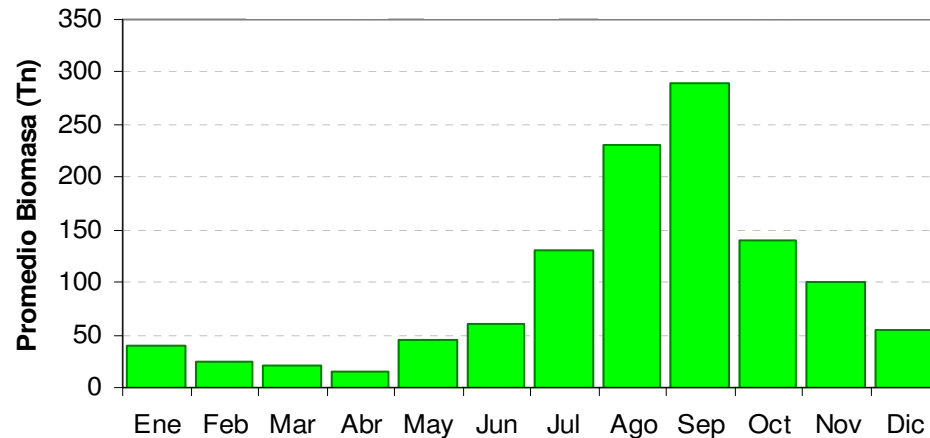


Ciclo biológico de los macrófitos...

Ciclo Biológico



Ciclo biológico de dos de las principales especies de macrófitos presentes en el tramo inferior del Ebro.

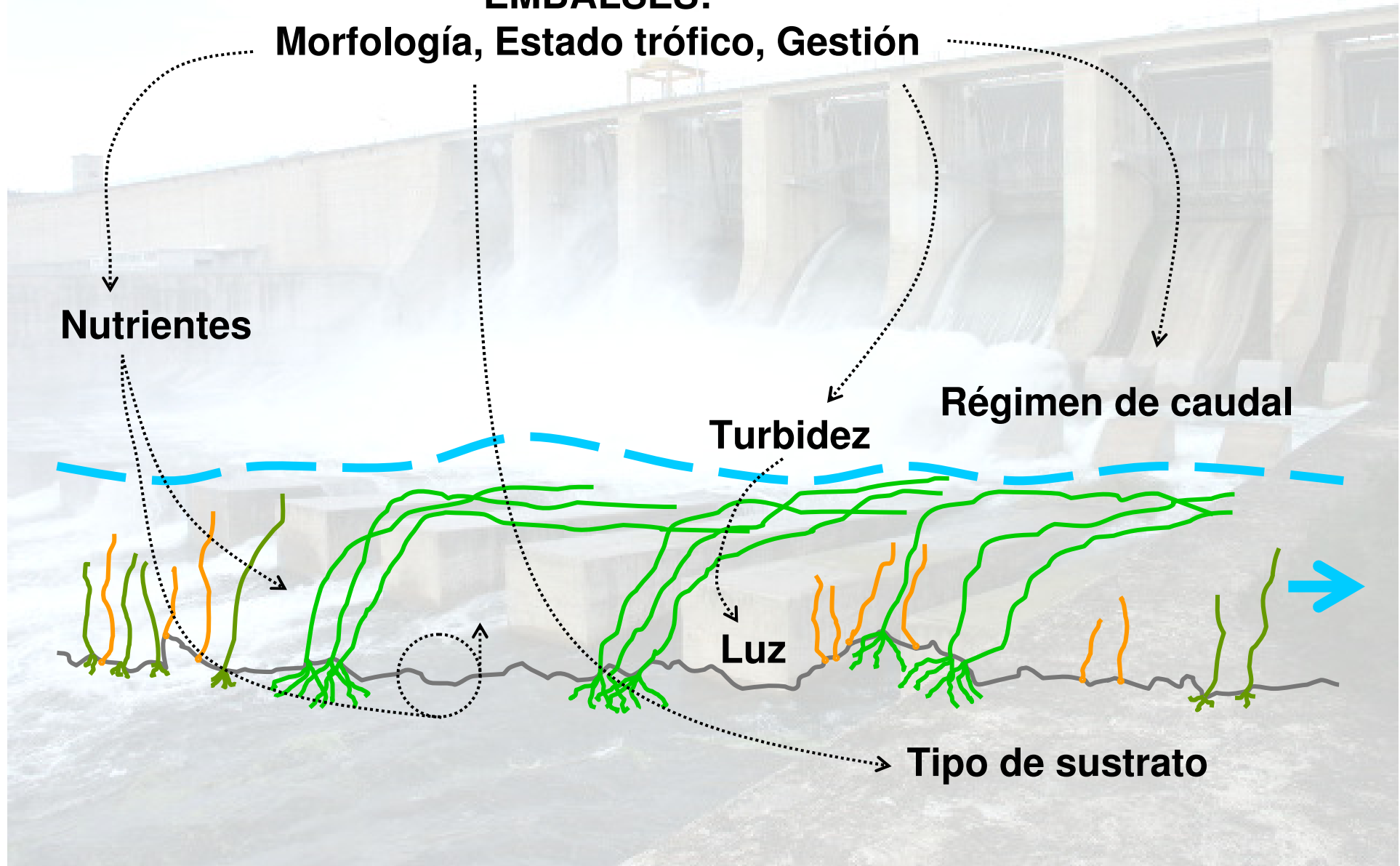


Biomasa total de macrófitos retirada en la captación de la CN Ascó, como valores mensuales promedio entre 2002 y 2007.

El desarrollo, desde formas de supervivencia invernales, se inicia a mediados de primavera y empiezan a brotar con fuerza a partir de abril.

Los factores básicos...

**EMBALSES:
Morfología, Estado trófico, Gestión**



Nutrientes

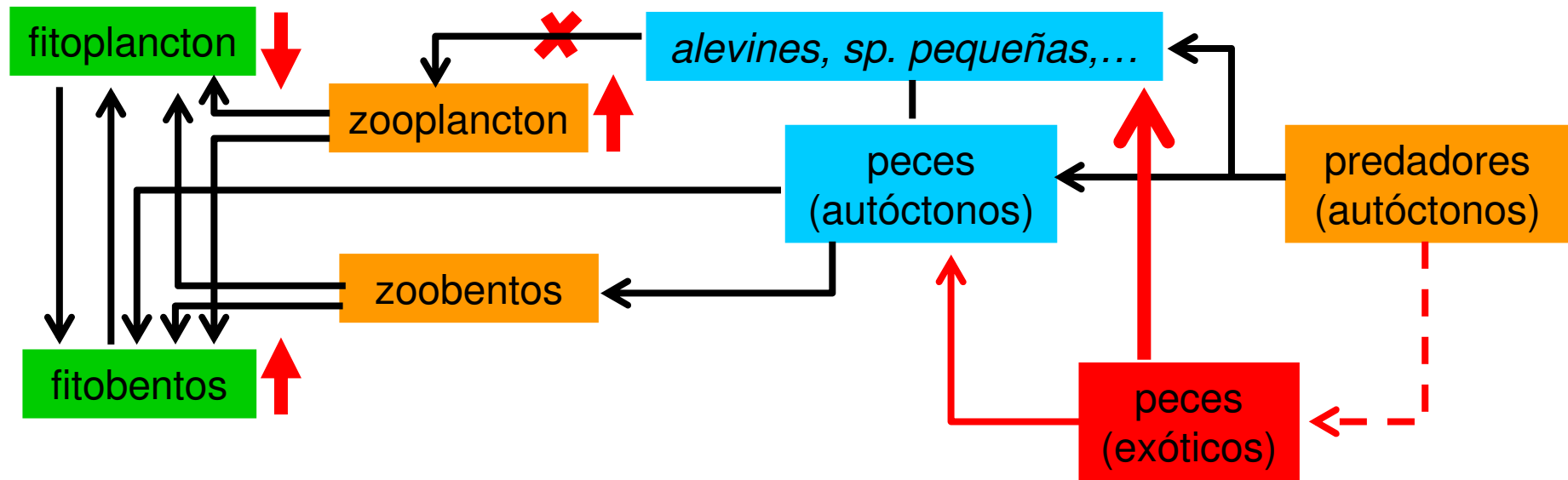
Turbidez

Régimen de caudal

Luz

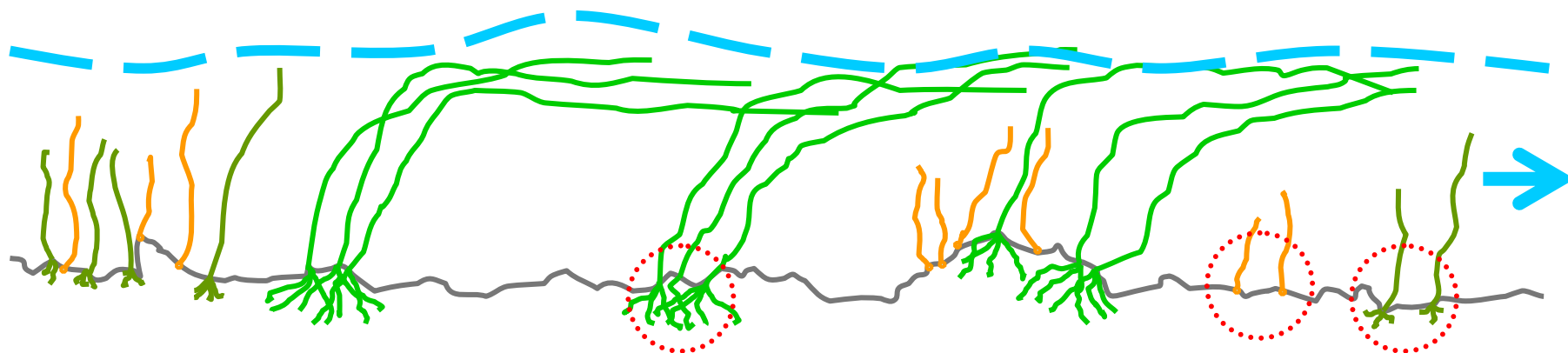
Tipo de sustrato

Factores complementarios y/o marginales...

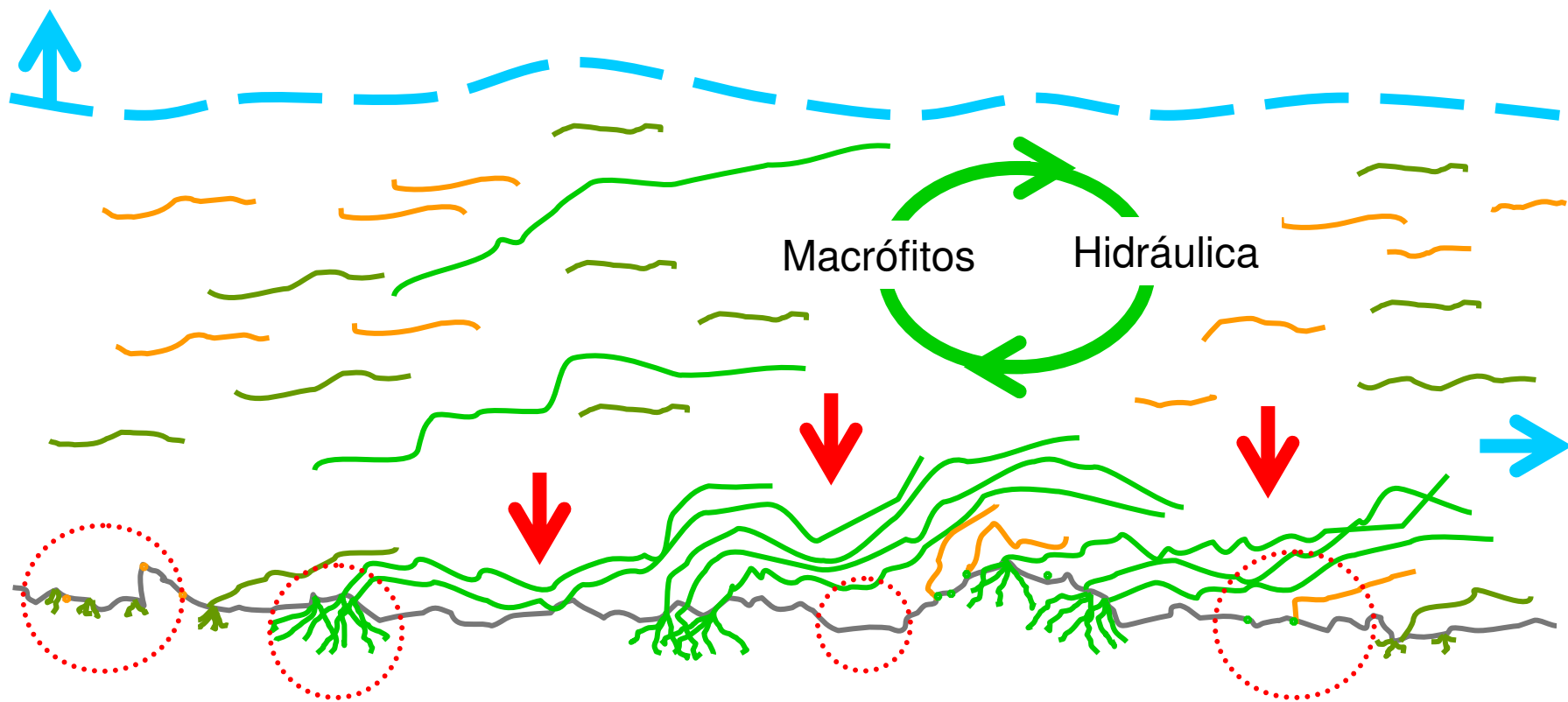


Cambios progresivos, imperceptibles, de efectos lentos pero irreversibles...

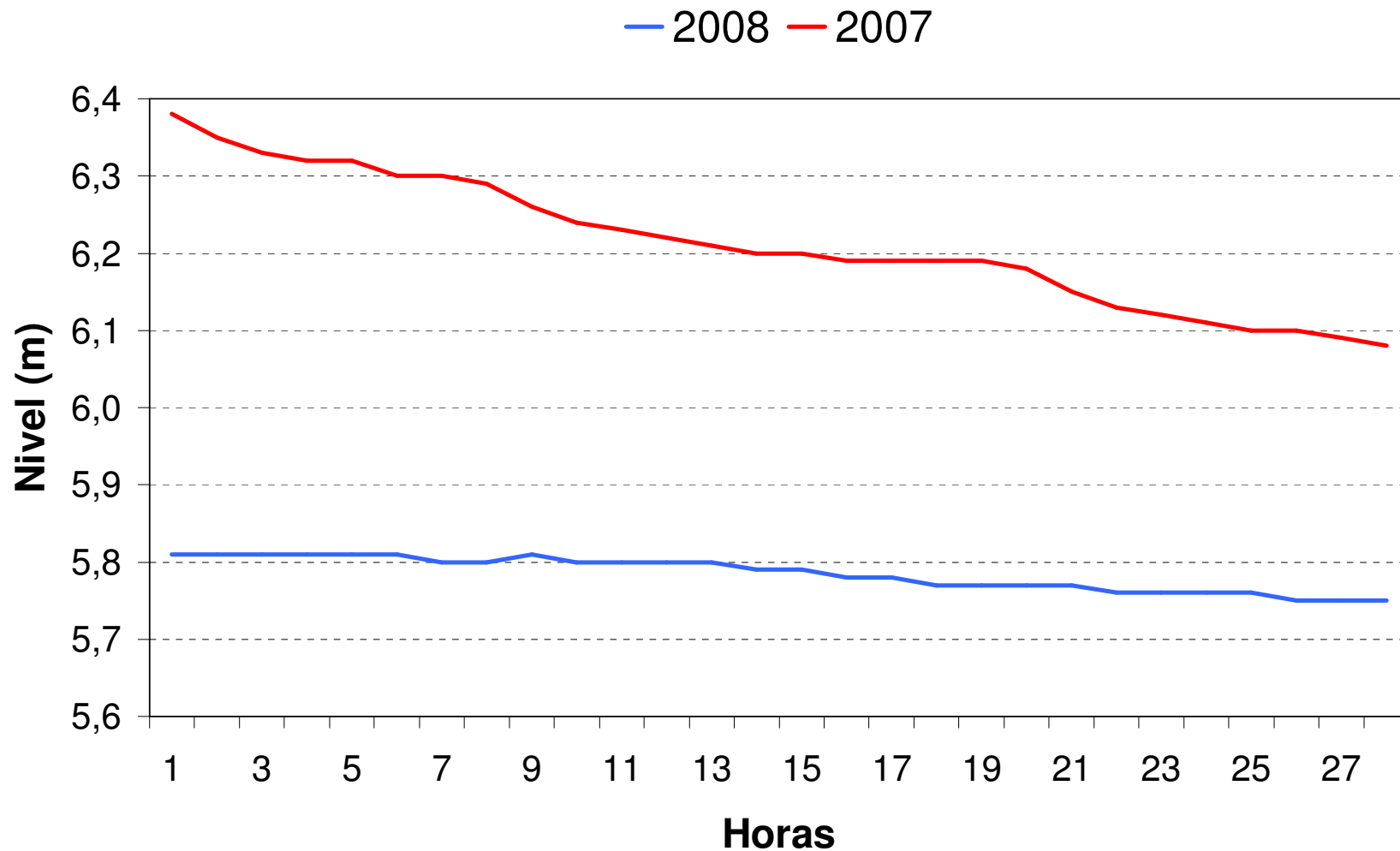
Aspectos y procesos de interés...



Ceratophyllum demersum, *Potamogeton pectinatus*, *Miriophyllum spicatum*



Algunas consecuencias colaterales...



Incremento del nivel del agua, para un caudal constante de 1.800 m³/s en la E.A. Ascó, en dos crecidas idénticas, en 2007 (azul, con poca presencia de macrófitos) y 2008 (rojo con mucha presencia de macrófitos)

En tramos de ríos regulados, como el bajo Ebro,...

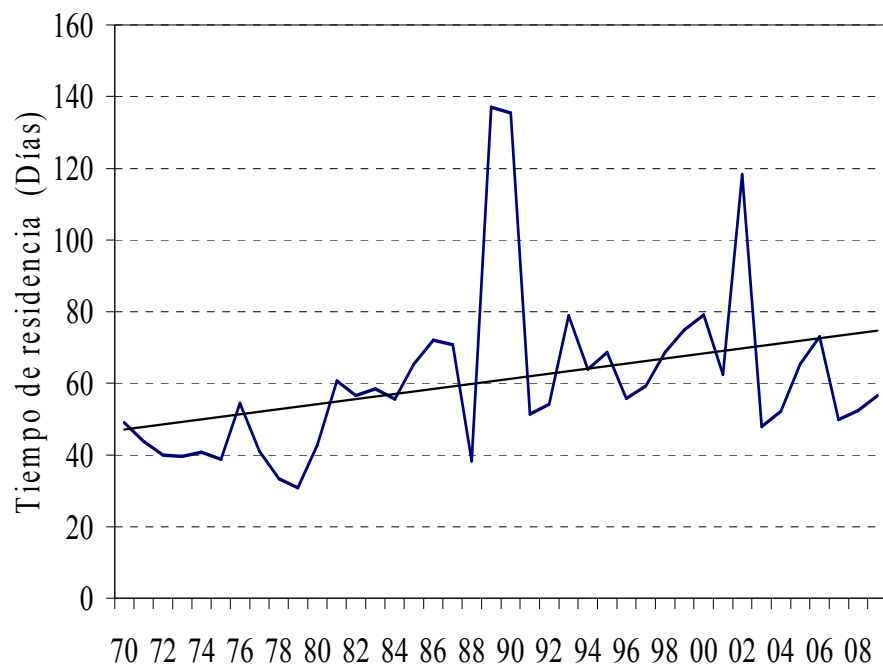
¿Qué papel juegan los embalses en las condiciones de desarrollo de macrófitos?

Hipótesis de trabajo básicas:

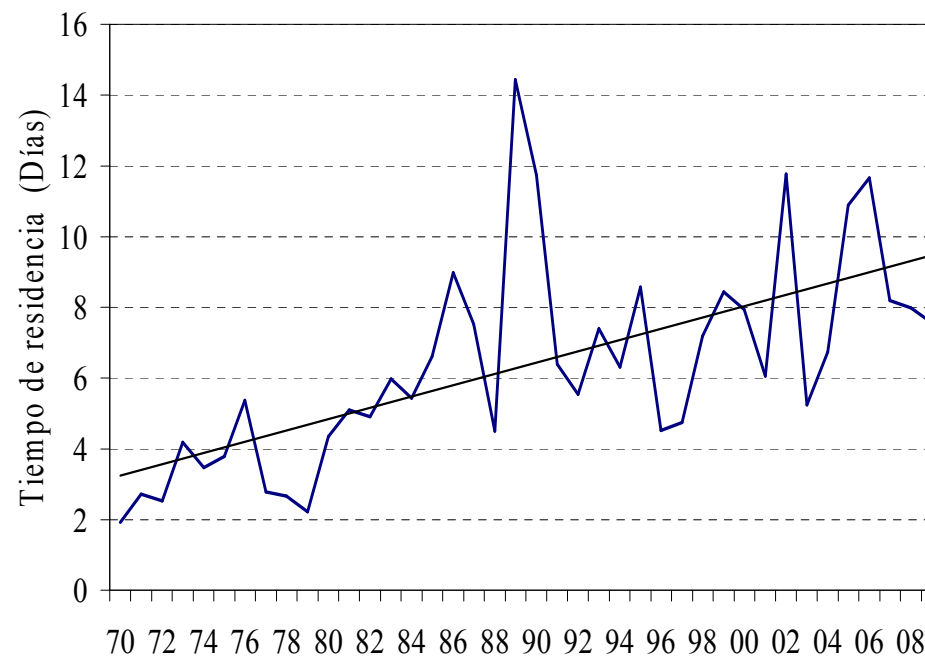
- Pueden clarificar el agua, por decantación, en función de su **tiempo de residencia:**
 - A más transparencia del agua, más disponibilidad de luz en el fondo y más espacio profundo del río colonizable por macrófitos.
- Pueden modificar la granulometría del lecho fluvial a favor del enraizamiento de macrófitos:
 - Eliminación de materiales finos y facilitación de enraizamiento entre sustratos más gruesos y estables.
- Pueden modificar, reducir (o eliminar) las **crecidas** con capacidad de movilización de sedimentos:
 - Reducción de la capacidad de arrastre de macrófitos presentes en exceso.
- Pueden estabilizar el perímetro mojado del cauce:
 - A mayor estabilidad de lámina de agua, mayor probabilidad de colonización por macrófitos, de las zonas laterales del cauce (orillas).
- Pueden modificar cualitativa y cuantitativamente, las disponibilidad de nutrientes, a favor de los macrófitos:
 - Accesibilidad al N y P, relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$

Tiempos de residencia medios de los embalses...

Embalse de Mequinenza



Embalse de Riba-roja



La similitud de la última década se debe al hecho de que el embalse de Riba-roja se ha abastecido más en los últimos años, de las aportaciones del Ebro y menos de las del Segre, debido a que en la cuenca de este último (Segre + Cinca) se ha podido concretar un aumento sustancial de la demanda consuntiva de agua.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1970	0,61	0,87	1,03	1,93	2,27	2,02	3,29	5,79	4,15	3,86	4,33	3,77
1971	3,49	3,27	3,66	2,31	0,99	1,62	3,64	7,48	5,22	4,19	3,32	2,72
1972	2,21	1,28	1,83	2,30	2,51	2,32	4,43	5,81	2,90	2,66	2,88	3,32
1973	2,82	2,37	3,02	4,64	6,36	3,03	5,87	6,95	7,15	5,99	4,14	4,46
1974	4,76	3,60	1,56	1,87	4,21	4,86	5,20	8,35	4,73	3,55	2,85	3,50
1975	5,44	2,99	4,36	2,16	3,34	2,25	4,43	8,09	5,87	5,93	4,23	3,44
1976	5,14	3,78	4,43	4,42	6,52	7,13	7,25	9,92	9,42	8,83	3,34	3,63
1977	2,22	2,10	3,05	4,59	2,12	1,56	3,44	3,84	3,85	3,13	3,52	3,30
1978	3,18	1,08	1,36	1,92	1,81	2,64	4,76	7,93	9,51	5,98	4,74	4,70
1979	2,16	0,96	2,14	1,71	2,25	1,60	4,38	7,52	4,68	2,54	2,33	2,89
1980	2,36	4,49	4,17	4,10	3,44	3,75	6,16	11,89	5,79	5,79	5,32	3,18
1981	1,94	3,59	5,31	3,56	3,66	7,17	8,04	14,11	7,68	9,74	7,00	6,22
1982	3,69	3,61	3,00	6,26	10,41	8,28	12,58	14,99	9,47	8,25	2,76	2,29
1983	3,43	4,42	3,77	3,53	6,11	10,17	9,10	12,73	6,81	8,32	8,21	7,98
1984	6,38	4,14	5,29	4,96	3,59	3,78	10,19	15,99	13,45	11,00	3,38	3,95
1985	3,76	3,41	4,46	5,85	4,07	6,05	9,47	13,71	14,00	16,57	12,41	17,29
1986	11,73	4,78	6,98	5,22	5,60	8,99	16,09	24,45	19,03	12,88	9,08	12,49
1987	10,04	4,73	7,45	5,82	11,53	16,69	13,18	18,07	11,81	7,92	6,66	4,65
1988	4,52	2,69	4,20	2,35	3,17	3,21	4,59	8,33	7,73	8,67	8,99	10,25
1989	11,96	18,25	30,08	17,34	9,42	17,50	13,81	16,45	21,73	11,79	13,42	11,08
1990	11,23	10,76	19,14	9,59	11,63	10,06	13,12	13,73	13,57	12,42	14,45	7,99
1991	6,14	7,75	4,64	3,24	2,73	10,61	10,99	10,07	11,37	16,04	10,01	6,55
1992	12,06	16,64	15,96	4,06	9,31	5,82	7,91	13,19	10,69	2,99	2,47	2,51
1993	6,52	11,06	8,17	7,47	5,16	8,42	10,55	10,27	10,86	7,06	5,17	5,81
1994	2,55	3,86	6,75	5,18	7,01	10,19	14,15	12,41	13,68	9,66	4,70	7,95
1995	3,02	5,65	3,56	10,84	11,89	15,24	17,12	16,95	17,38	15,54	17,59	12,27
1996	2,50	2,32	3,71	5,99	4,78	6,71	14,15	12,20	8,18	8,66	6,27	1,95
1997	1,58	3,03	6,74	8,64	7,20	5,77	8,69	9,24	8,77	10,25	6,73	2,45
1998	3,45	4,59	6,12	6,74	5,22	7,54	11,53	12,88	16,18	12,42	13,07	7,40
1999	7,29	5,75	5,68	10,29	7,75	11,69	12,93	13,38	13,61	10,69	7,37	5,84
2000	6,72	11,86	13,93	6,74	4,32	7,62	15,01	16,33	16,80	9,03	5,95	4,49
2001	2,69	3,07	2,29	6,02	4,53	10,49	12,77	15,93	16,27	17,91	16,52	16,87
2002	20,05	18,24	13,00	12,46	10,75	14,92	15,36	15,95	16,07	15,78	15,30	3,92
2003	4,41	2,03	2,86	6,07	3,66	13,40	15,18	16,43	14,51	13,07	5,02	3,81
2004	3,60	5,44	3,96	3,89	3,85	10,11	14,51	14,27	12,54	14,43	12,28	12,36
2005	8,16	6,67	6,00	6,88	11,23	14,83	17,01	19,05	19,52	20,15	18,33	10,47
2006	6,41	10,64	5,06	11,55	14,33	19,52	17,42	18,09	16,60	17,57	14,52	13,50
2007	15,69	8,10	4,47	2,37	5,49	11,15	15,39	16,02	14,97	15,82	15,82	19,75
2008	20,17	22,61	24,09	8,03	3,72	3,21	12,86	14,27	11,55	13,05	8,25	4,40
2009	5,82	2,47	4,79	5,90	6,61	13,89	15,47	15,66	14,99	15,36	14,34	11,44

Tiempos de residencia del agua mensuales en el embalse de Riba-roja (1970-2009).
En cada recuadro se indica el valor correspondiente (días).

Crecidas...

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1970-74	13	27	11	5	15	6						
1975-79	3	23	12	4	12	17				2		
1980-84	9				5						3	9
1985-89		5		15		5	2					
1990-94	1			1	7					1	5	7
1995-99	25	4										21
2000-04	2	18	19		4					1		7
2005-09	1	11	7	9	6	6						

Número de días por mes y quinquenio, en que se ha superado el caudal de avenida de referencia para el embalse de Riba-roja ($1.014 \text{ m}^3/\text{s} = 3Q_{\text{medio diario}}$).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1970-74	1845	2813	1391	503	2350	611						
1975-79	293	3170	1479	450	1175	2139				206		
1980-84	1012				491						475	1001
1985-89		496		1483		467	237					
1990-94	88			91	726					91	546	778
1995-99	3313	396										2546
2000-04	229	2278	2409		448					100		710
2005-09	102	1087	685	1216	830	796						

Volumen total de agua circulante por mes y quinquenio, en los días en los que se ha superado el caudal de avenida de referencia.

Vol. Acum. crecidas Ma-Jn

6.274 hm³

958 hm³

726 hm³

2.074 hm³

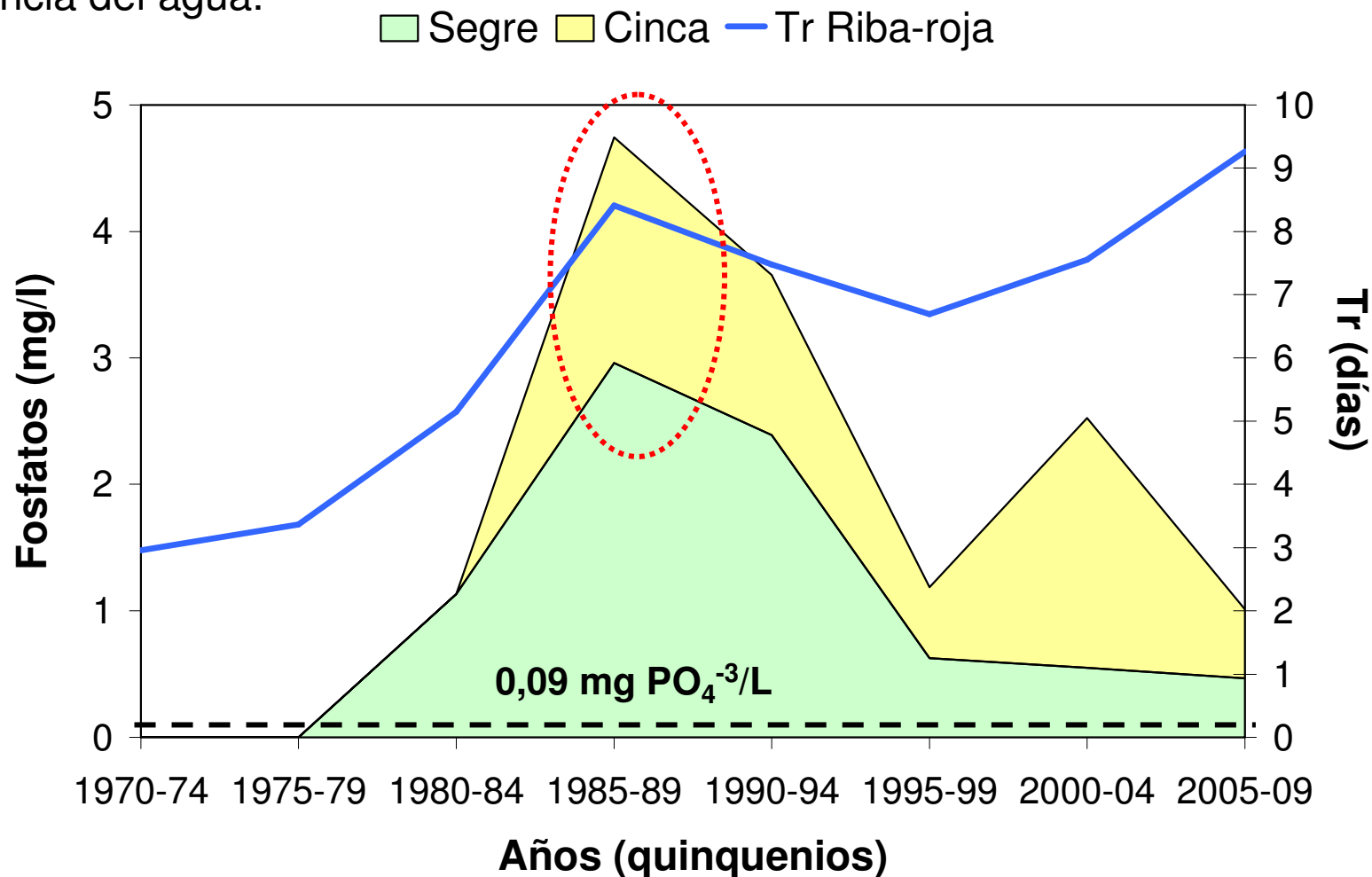
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1970	1755	873	185									
1971				299	2350	611						
1972	90	194										
1973												
1974			1207	204								
1975				450	104	111						
1976												
1977					782	1103				206		
1978		261	1479		288							
1979	293	2909				925						
1980												
1981	1012											
1982										475	1001	
1983												
1984					491							
1985												
1986												
1987												
1988		496		1483		467	237					
1989												
1990												
1991				91	726							
1992									91	439	685	
1993												93
1994	88									108		
1995	293											
1996	984	202										871
1997	2035	194										1675
1998												
1999												
2000									100			
2001	229	492	1126									
2002												432
2003		1787	1283		448							279
2004												
2005												
2006			300									
2007			385	1216								
2008					830	796						
2009	102	1087										



Volumen total circulante desde el embalse de Riba-roja, los días que se ha superado el caudal de avenida de referencia.

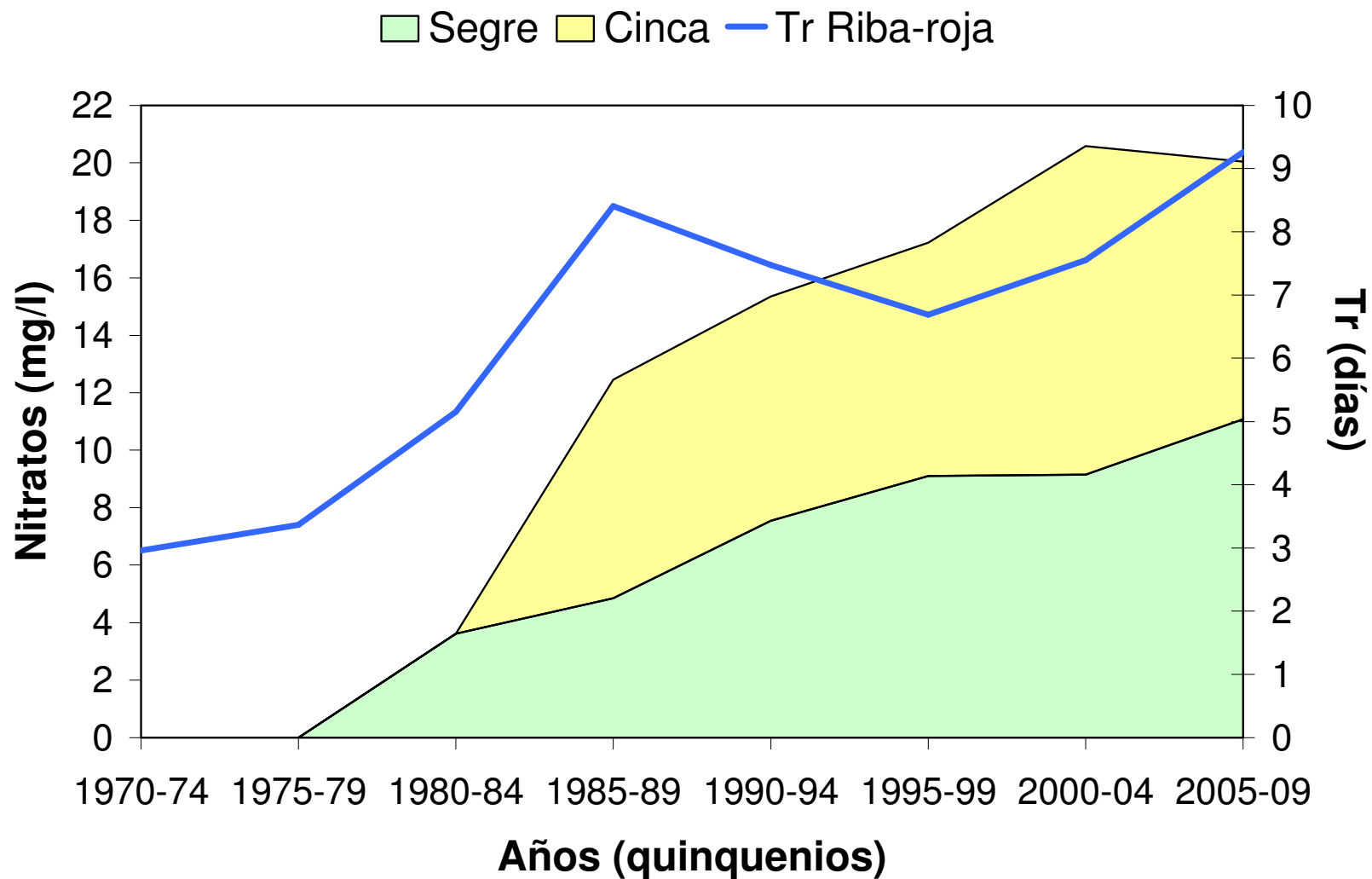
Tiempo de residencia y disponibilidad de nutrientes...

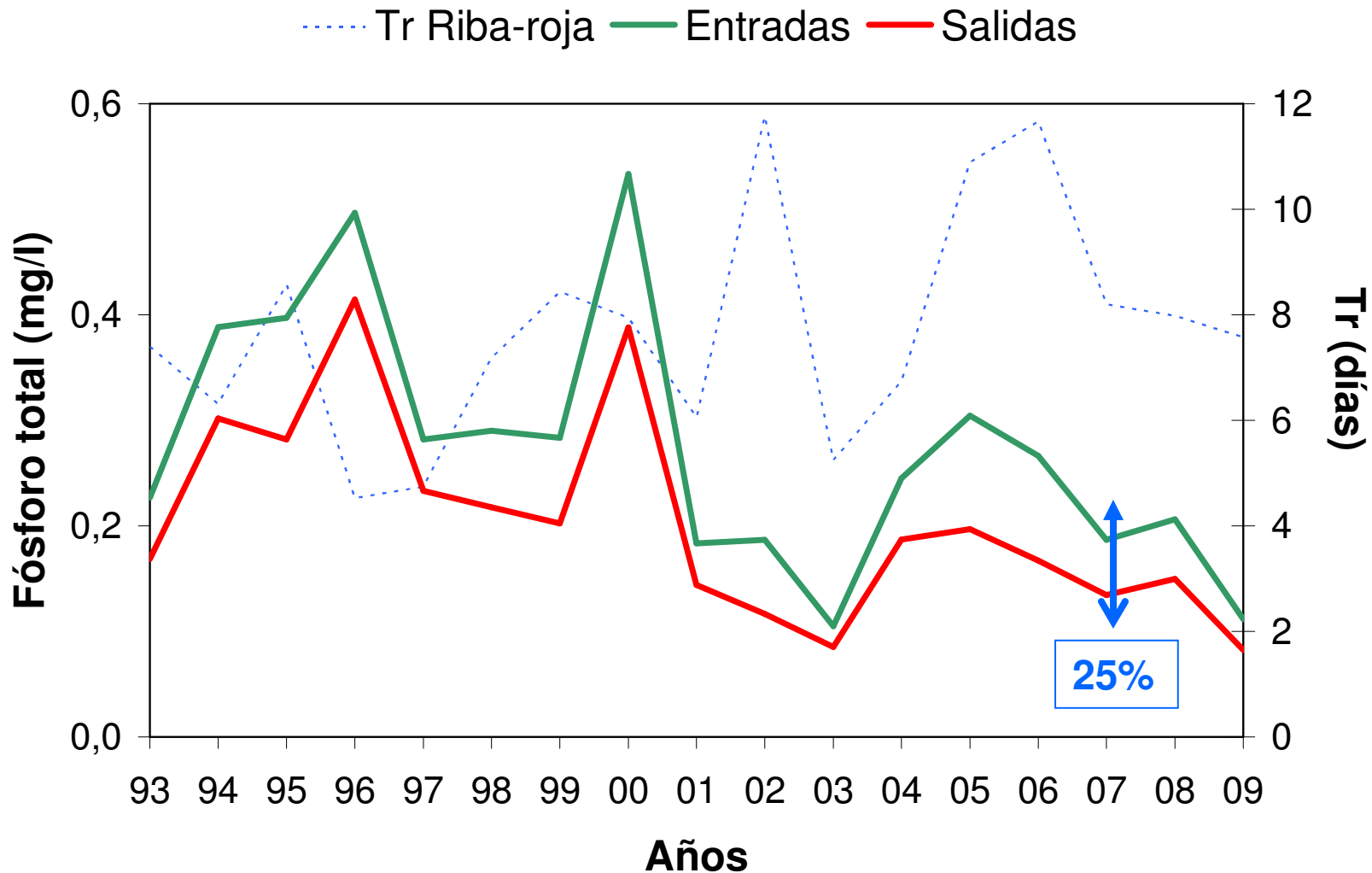
Concentraciones medias de PO_4^{-3} agrupadas por quinquenios, aportadas por las aguas de los ríos Cinca y Segre al embalse de Riba-roja, junto con el tiempo de residencia del agua.



Las concentraciones estivales de **clorofila** en el embalse de Ribarroja, han pasado del orden de 5 mg/m^3 (1996) a más de 30 mg/m^3 (2002).

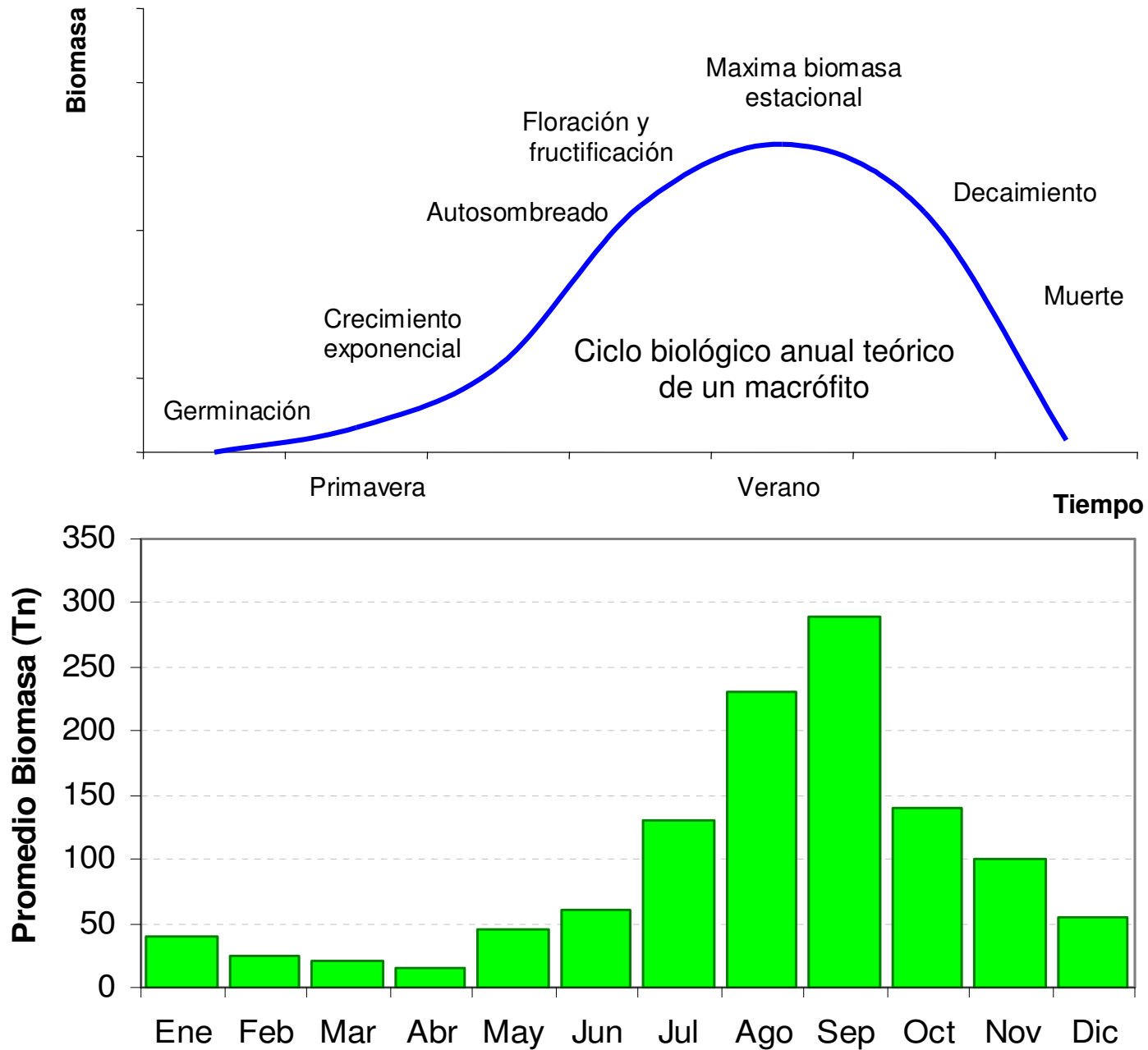
Concentraciones medias de NO_3^- agrupadas por quinquenios, aportadas por las aguas de los ríos Cinca y Segre al embalse de Riba-roja, junto con el tiempo de residencia del agua.





La concentración media anual de fósforo que entra en el embalse de Riba-roja, desde los ríos Cinca y Segre ha ido decreciendo. Esta tendencia, puede atribuirse a la depuración de las aguas residuales urbanas, pero también al gran aumento de biomasa de macrófitos, donde **una parte de fósforo queda acumulado y retirado** temporalmente del medio acuático.

Posibles indicadores para la planificación de crecidas de control...



Selección de posibles indicadores y momento más adecuado...

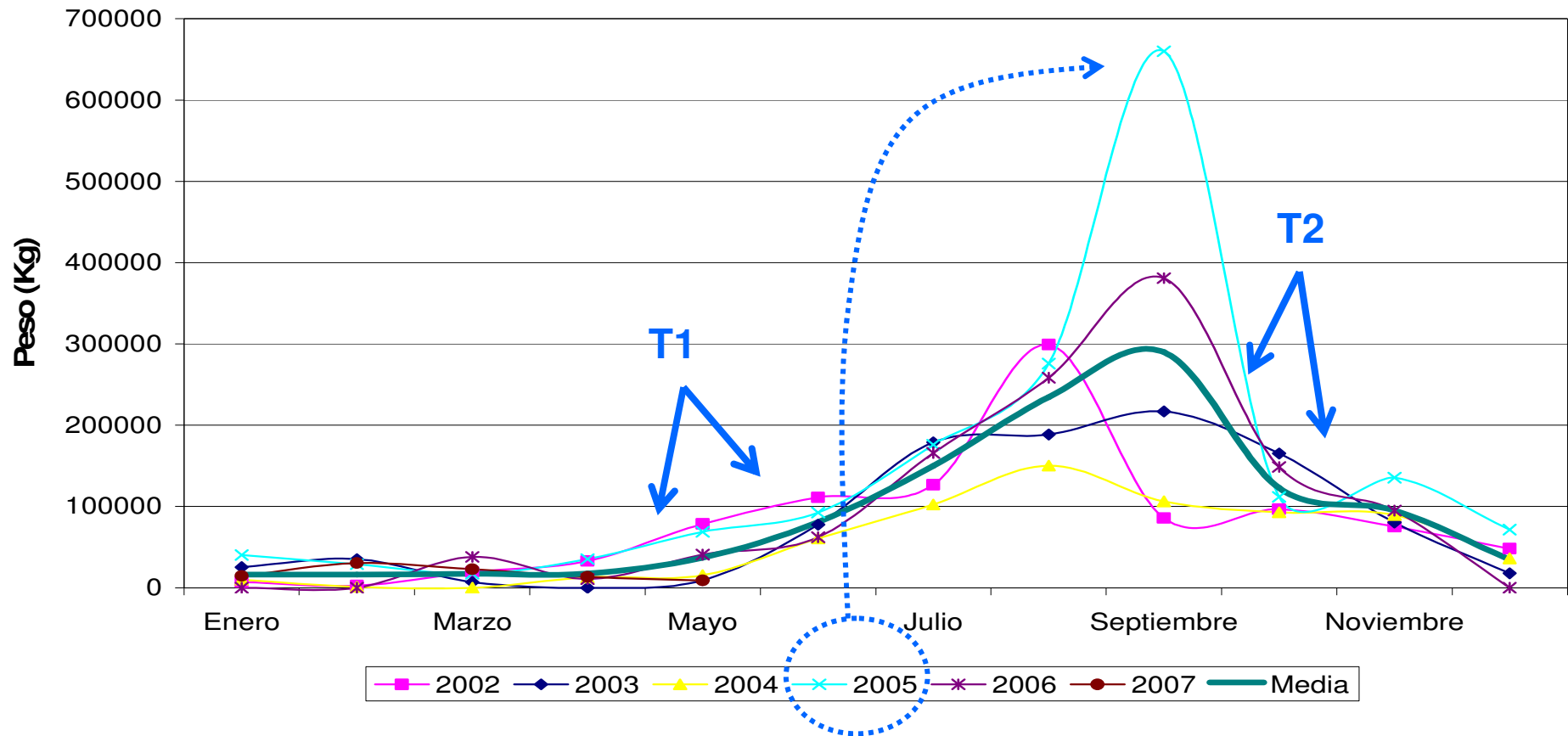
Conocido el ciclo biológico, se ha analizado su relación con **diferentes variables ambientales** (CE, % Sat. O₂, [N, P], N/P, DQO,...) para ver si alguna de ellas podía servir como indicadora para acciones de control y gestión de los macrófitos (**programación de crecidas controladas**).

Algunas variables muestran buena correlación con la dinámica anual de los macrófitos; sin embargo, no siempre existe una relación causal, o su determinación no es rápida.

Un buen indicador debe describir de forma suficientemente precisa y causal, la evolución de la biomasa de macrófitos, ser fácil y rápido de medir y disponer de una dinámica temporal predecible.

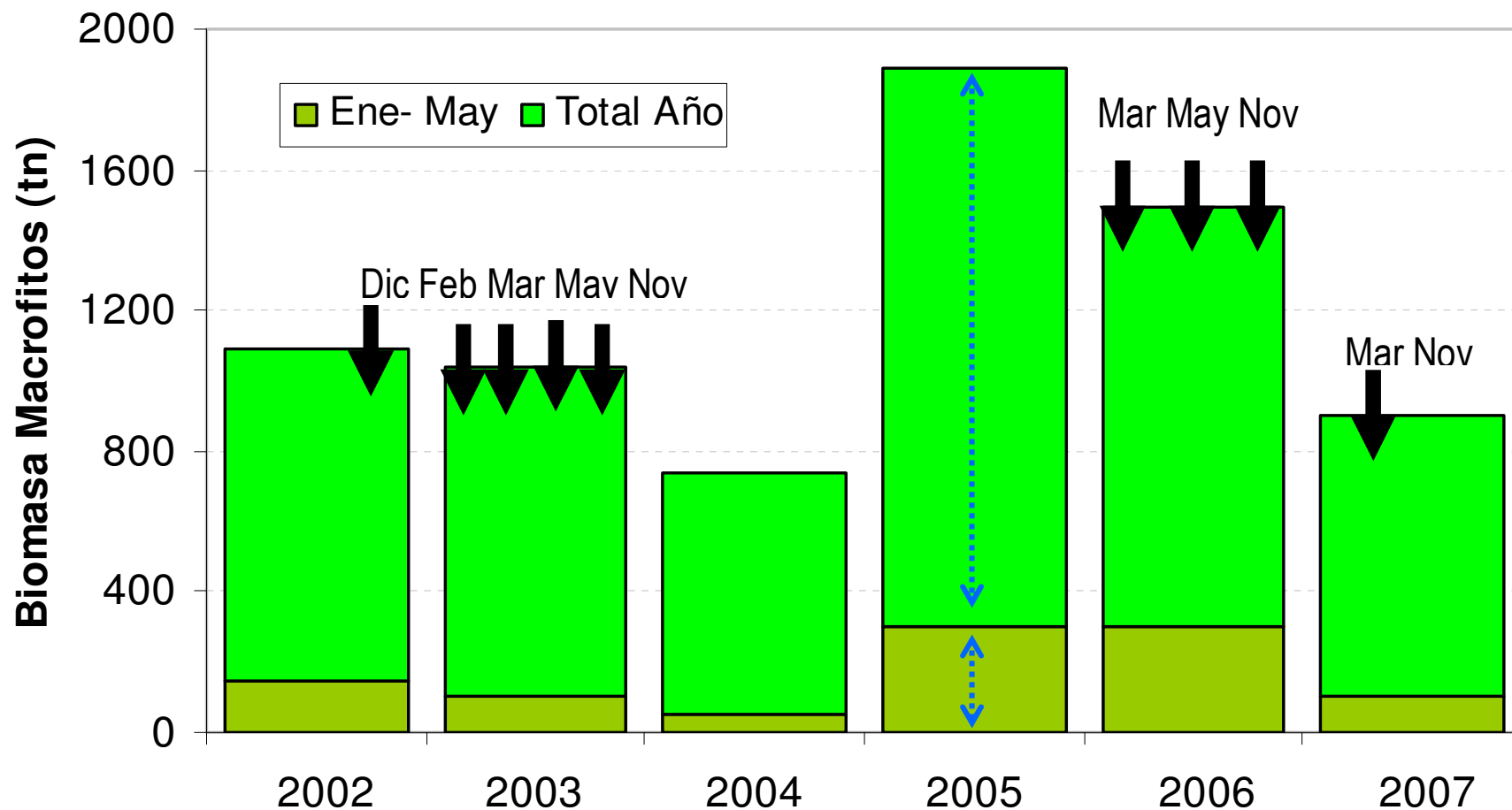
El **momento idóneo** para llevar a cabo una crecida debe ser aquel, **al inicio del ciclo anual**, en el que los macrófitos ya han brotado, presentan una biomasa suficientemente grande como para ofrecer resistencia al paso de agua, y por tanto poder ser arrastrados, y al mismo tiempo no han alcanzado aún su condición más vigorosa ni la de máxima biomasa.

Otro momento en el que puede tener interés propiciar una crecida controlada, es hacia el **final del ciclo anual**, cuando el macrófito aún mantiene biomasa pero empieza a perder vigor y por tanto es más fácilmente removible.



Para identificar un posible buen parámetro indicador, se requiere un año en el que no se hayan producido ni crecidas naturales ni controladas de entidad, de modo que la biomasa de macrófitos haya evolucionado sin la “perturbación” de las crecidas. Ese año fue el **2005**.

La biomasa de macrófitos retirada en la CN Ascó ese año se situó entre las máximas de la década.



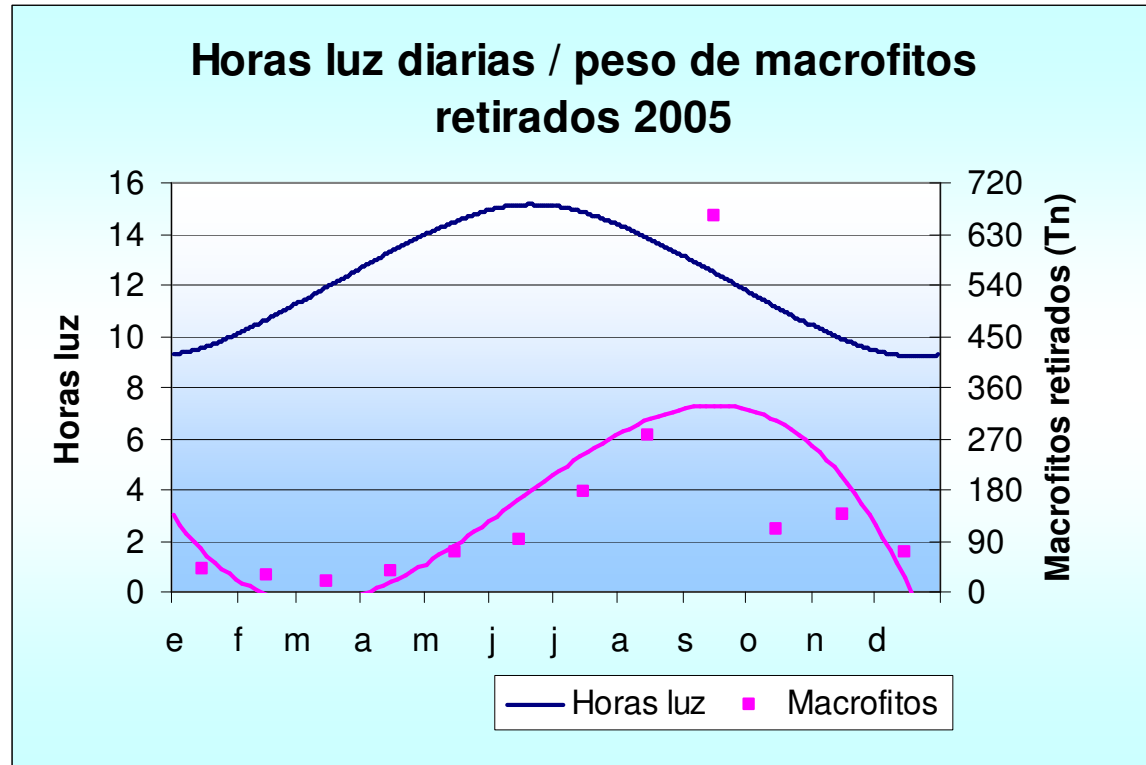
El **2005**, sin crecidas relevantes durante el año, ni tampoco en el año anterior, se ha utilizado como el mejor escenario posible para analizar posibles indicadores de gestión y planificación de crecidas controladas.

La efectividad de las crecidas artificiales en el control del desarrollo de los macrófitos, resulta evidente, si bien su eficacia es variable según el tramo de río considerado (decrece río abajo) y según el hidrograma de crecida.

Selección del indicador...

Las horas de luz diarias

Son de fácil determinación. Influyen en el ciclo de los macrófitos, pero su relación es más o menos estable de un año a otro y por tanto no explican avances o retardos del ciclo biológico.



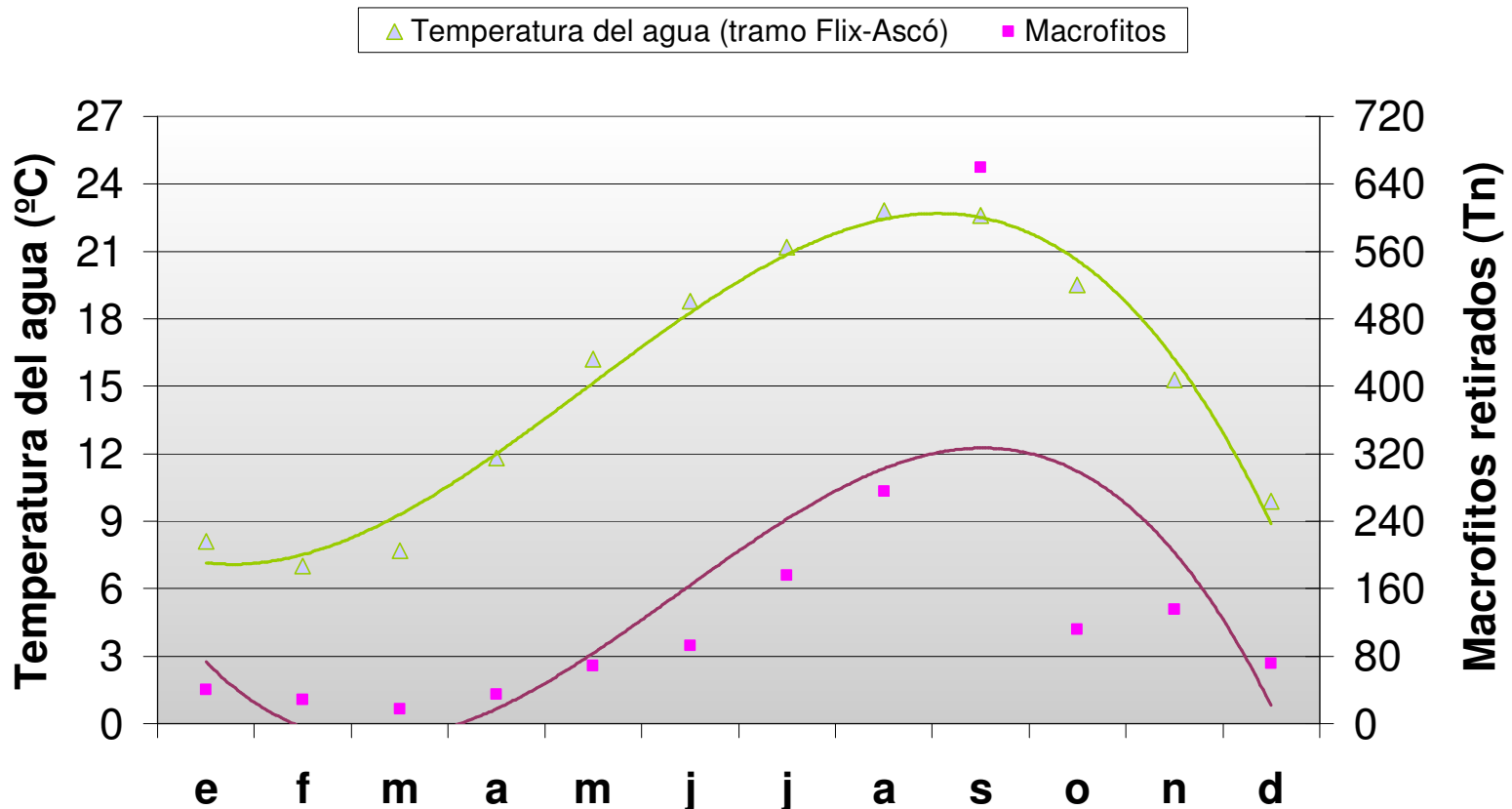
Nutrientes

Son de determinación no inmediata. Influyen en el ciclo de los macrófitos pero están muy afectados por variaciones locales y, sobre todo, no son limitantes en el caso del bajo Ebro.

Temperatura del agua

Es muy fácil de medir, se determina de forma habitual en las redes de control y los resultados son inmediatos. Es un parámetro estimable de un año para otro, de manera que puede permitir proyectar planes de acción, al menos a corto plazo.

Se correlaciona de forma precisa y causal con la biomasa de macrófitos (el desarrollo de los macrófitos se avanza o retarda, según las temperaturas de cada año).



Selección del momento...

Para fijar los dos momentos del año idóneos para llevar a cabo las crecidas de control de macrófitos (T1 y T2), se ha identificado, sobre la curva de valores de biomasa del 2005, el punto de cambio de pendiente de primavera (T1) y el de otoño (T2):

- **Crecida de primavera**

T1 se sitúa entre abril y mayo, alrededor de **14,7 °C**, en el momento del año de mayor salto térmico, de los 11,8 °C de abril a los 16,2 °C de mayo.

El intervalo de referencia para llevar a cabo la crecida controlada se situaría entre **14,7 °C y 16 °C**.

- **Crecida de otoño**

En cuanto a T2, la época más adecuada se sitúa entre septiembre y octubre, que es precisamente cuando el agua del río empieza a enfriarse (de 22,6 °C a 19,5 °C) y el valor adoptado es de **20,5 °C**.

El intervalo de referencia estaría entre **20,5 °C y 19,5 °C**.

Conclusiones...

Con toda probabilidad **no existe una única causa determinante de la alta profusión de macrófitos** acontecida en el tramo inferior del río Ebro o en otros ríos. En todo caso, hay causas locales y causas sobrevenidas desde río arriba.

El propio desarrollo de macrófitos favorece un mayor desarrollo de macrófitos mediante un efecto clarificador del agua, disminución de la velocidad del agua y autoprotección frente a las crecidas (“feed-back” positivo).

Los factores hidrológicos analizados han sido los cambios hidrológicos ligados a la **presencia y gestión** de los embalses:

- **Tiempo de residencia del agua**: Ha ido en aumento de forma continuada desde su puesta en explotación. Un mayor tiempo de residencia del agua propicia mayor decantación de las aguas embalsadas que, una vez en el cauce del río, **facilita la penetración de la luz a mayor profundidad**.

La particular organización hidrodinámica del embalse de Riba-roja, junto con los tiempos de residencia del agua, que a pesar de haber aumentado siguen siendo muy bajos, determinan que un 75% del fósforo total que recibe el embalse, circule río abajo determinando **concentraciones que nunca son limitantes** para el desarrollo de los productores primarios.

Conclusiones...

- **Laminación de avenidas**: Los cambios en la laminación de avenidas, han sido posiblemente, uno de los factores más determinantes. **Se han reducido los caudales máximos circulantes y se ha modificado su estacionalidad.**

En la serie analizada (1970-2009) hay varios años consecutivos sin crecidas; es decir, sin perturbaciones capaces de controlar la proliferación de macrófitos.

El patrón temporal de las crecidas ha cambiado. Si en régimen natural y en los primeros años de explotación, la época de crecida más probable era finales de primavera (mayo-junio), en las últimas décadas, **las mayores crecidas se han desplazado hacia el invierno.**

- **Planificación de las crecidas controladas**: De acuerdo con los resultados obtenidos, el criterio para decidir el momento de aplicación de las crecidas se puede **planificar en función de la temperatura del agua** (en torno a 14,7 - 16,0 °C en primavera y 20,5-19,5 °C en otoño).
- **Medida recomendable**: **Reducir la biomasa de macrófitos.** Al no poder contar con crecidas de más de 3.000 m³/s, cabe plantearse la conveniencia de **una extracción mecánica intensiva y extensiva**, para mejorar las condiciones hidráulico-biológicas, evitar desbordamientos, eliminar nutrientes y mejorar la eficiencia de las crecidas controladas.



Gracias por su atención