

Calidad del agua

Los humedales artificiales constituyen un buen ejemplo del empleo de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión de aguas contaminadas.

Introducción

La infraestructura verde y las soluciones basadas en la naturaleza

Los humedales artificiales constituyen un buen ejemplo del empleo de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión de aguas contaminadas. Desde hace ya cerca de un siglo, vienen empleándose como sistemas de depuración de aguas residuales de pequeñas poblaciones. Durante este periodo, con la finalidad de poder satisfacer las necesidades de poblaciones de cada vez mayor tamaño, han ido evolucionando e integrando elementos propios de tecnologías más convencionales. Su uso para restauración de ecosistemas acuáticos degradados ha sido más tímido; no obstante, existen buenos ejemplos destacables tanto por su éxito como por su alcance, por ejemplo, el SAS (Sistema d'Aigüamolls Construïts) de la depuradora d'Empuriabrava (Girona) o la actuación de restauración en el lago Apopka, Florida, EEUU. Los resultados de algunos de estos estudios ponen de manifiesto los diversos servicios ecosistémicos que este tipo de actuación provee a la sociedad, como son la mejora de la calidad del agua y de la biodiversidad. Por esta razón, implantar un sistema de seguimiento del funcionamiento de las infraestructuras creadas en el Tancat de la Pipa para mejorar la calidad del agua del lago, se considera crucial para demostrar a la sociedad en general, y a las administraciones responsables en particular, los beneficios que ofrecen.

En la aplicación de estas soluciones en espacios protegidos subyace un desafío nada despreciable, como es el hecho de contar con algunas restricciones de diseño y constructivas como son la imposibilidad de construir motas reforzadas con material "duro" o instalar láminas impermeables, la necesidad de alternar superficies libres de vegetación con otras más vegetadas, la idoneidad de alcanzar una importante diversidad vegetal y de ambientes. Éstos son ejemplos de algunas de las dificultades que han caracterizado la actuación llevada a cabo en el Tancat de la Pipa.

El funcionamiento de los humedales artificiales construidos en el Tancat de la Pipa viene reflejado en la Figura 5. En ella podemos observar el papel tan importante que, en este caso en particular, juega la vegetación emergente o helófitas, encargada de limitar el crecimiento de las microalgas, o fitoplancton presente de forma abundante en el agua del lago y que impide el crecimiento de la vegetación sumergida en él. Ello se debe a que estas microalgas generan una alta turbidez, de forma que la luz no puede alcanzar el fondo y, por tanto, la actividad fotosintética de la vegetación sumergida queda tremendamente reducida, lo que se traduce en un crecimiento prácticamente nulo de la misma. En el caso de los humedales artificiales, la vegetación helófitas ejerce una sombra importante sobre la superficie del agua, dificultando el crecimiento del fitoplancton y favoreciendo su desaparición. Además, las condiciones que se dan

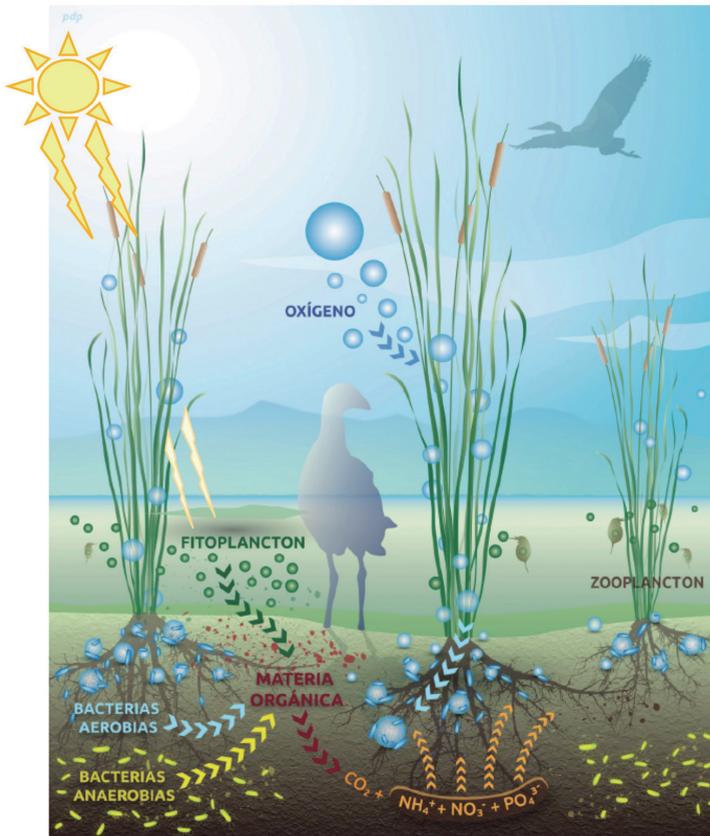


Figura 5
Esquema de funcionamiento de los humedales artificiales del Tancat de la Pipa.
(Diseño: Pere de Prada).

- Liberación de oxígeno a través de las raíces de la vegetación helófitas.
- Sedimentación del fitoplancton debido a condiciones de baja luminosidad.
- Degradación de la materia orgánica fitoplanctónica sedimentada por parte de bacterias aerobias y anaerobias.
- Asimilación de nutrientes por parte de la vegetación helófitas.
- La vegetación constituye un refugio para el zooplancton, parte del cual es depredador de las algas microscópicas, contribuyendo a mejorar la calidad del agua.

en el interior de los humedales artificiales favorecen el crecimiento de organismos filtradores que forman parte del zooplancton (véase capítulo Biodiversidad). Todo ello da lugar a un efluente de mayor transparencia y menor concentración de nutrientes, que favorece el crecimiento de la vegetación sumergida en el medio receptor que, en el caso del Tancat de la Pipa son dos lagunas someras, en las que el zooplancton tiene oportunidad de crecer todavía más y así, también, la vegetación subacuática.

Durante los 10 años de recorrido del Tancat de la Pipa se ha realizado un seguimiento continuo de la calidad del agua en distintos puntos del mismo. Este seguimiento ha permitido obtener un histórico de la evolución de la calidad del agua en el lago de L'Albufera, así como de las eficiencias y velocidades de eliminación de contaminantes del sistema para las distintas condiciones de operación y ambientales que han tenido lugar durante este tiempo. En este capítulo se realiza una retrospectiva de los resultados obtenidos a lo

largo de este periodo, analizando el efecto de los distintos factores de influencia y poniendo especial énfasis en demostrar el papel que las distintas actuaciones de gestión han tenido sobre la calidad del agua.

Descripción del seguimiento

La calidad del agua ha sido evaluada en diferentes puntos del Tancat de la Pipa, incluyendo entradas, puntos intermedios y salida global del sistema. Los puntos intermedios han ido modificándose a lo largo de los 10 años dependiendo de las prioridades fijadas en cada etapa de estudio. Durante los primeros años también se monitorizó la zona receptora del efluente del Tancat, que corresponde a uno de los canales perimetrales del lago de L'Albufera. La frecuencia de toma de muestras ha variado entre quincenal y mensual, con lo que se dispone de un total de 280 datos de la calidad del agua en algunos de los puntos de muestreo.

En la Figura 6 se indican los puntos de muestreo mediante círculos y el sentido del flujo del agua, mediante flechas.

Las variables de calidad del agua que se analizan en este capítulo son de tipo físico-químico y biológico. Las variables físico-químicas analizadas son la demanda química de oxígeno (DQO), que representa una medida de la concentración de materia orgánica en el agua, los sólidos en suspensión y su fracción volátil, la turbidez, los nutrientes nitrógeno y

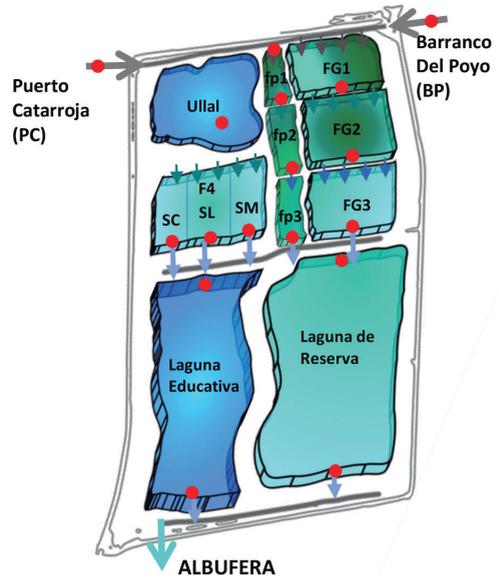


Figura 6
Plano del Tancat de la Pipa con indicación de los puntos de muestreo.

fósforo, que fueron analizados en contenido total y en sus diferentes fracciones inorgánicas, amonio, nitritos y nitratos como formas del nitrógeno, y ortofosfatos en el caso del fósforo, el nutriente sílice fue analizado únicamente en forma inorgánica. Como variables biológicas se siguieron la concentración de clorofila a (pigmento responsable de la función fotosintética que realizan las plantas, las macroalgas y las microalgas, como medida indirecta pero rápida de la cantidad de fitoplancton presentes en el agua, y la ficocianina (uno de los pigmentos accesorios para la fotosíntesis en cianobacterias, más coloquialmente conocidas como algas cianofíceas o verde azuladas), como medida rápida de la presencia de este grupo de organismos. Además, se han medido variables

básicas como la conductividad eléctrica, que permite evaluar el nivel de salinidad del agua, el pH y el oxígeno disuelto.

Todas estas variables son de gran interés para conocer la evolución de la calidad del agua, tanto a lo largo del tiempo como a través del sistema. A continuación, se relacionan las peculiaridades de cada una de las variables que hacen que se les consideren buenos indicadores de la calidad del agua:

- Conductividad eléctrica: es un indicador de la concentración de las sales disueltas. La evaporación que se produce en los humedales artificiales hace aumentar la concentración de sales, por lo que la gestión de estos espacios debe tener en cuenta que ese incremento no sea excesivo. La conductividad (a 25°C) de las aguas de la cuenca de buena calidad es del orden de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductividad en el lago depende de la época del año (climatología) y de los recursos hídricos que llegan: en años secos, el valor medio anual se sitúa entre 1900 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mientras que, en años húmedos, los valores oscilan entre 1500 y 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el año 1995, el más seco de los últimos 20 años, el valor medio anual llegó a ser de casi 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- pH: es un indicador de la acidez del agua, el rango apto para la vida suele situarse entre 6 y 9. Valores por encima o por debajo de dicho rango tienen efectos negativos sobre los organismos acuáticos, por

ejemplo, valores por encima de 9 pueden dar lugar a que el nitrógeno amoniacal se encuentre principalmente en forma de amoníaco, forma muy tóxica. Grandes oscilaciones de este parámetro indican altos niveles de eutrofización.

- Oxígeno disuelto: la concentración de oxígeno disuelto es un indicador clave de la calidad de las aguas de un ecosistema acuático. Cuanto más se aproxime a su valor máximo (concentración de saturación, por ejemplo, a 20°C es 9 mg/l) mejor es la calidad de esas aguas: valores muy por debajo de ese máximo indican presencia de sustancias (materia orgánica biodegradable, nitrógeno oxidable) y de procesos (respiración de algas y/o plantas) que consumen oxígeno, mientras que valores diarios muy por encima de ese valor, en ausencia de vegetación sumergida, indican elevada eutrofización (producción fotosintética de las microalgas).
- Fósforo y nitrógeno: tanto el fósforo como el nitrógeno son nutrientes básicos cuyo exceso contribuye a la eutrofización. En este caso, y normalmente en aguas continentales, el fósforo es el nutriente limitante y al que, por ello, hay que prestar más atención. Valores de fósforo total superiores a 0,100 mg P/L indican elevada probabilidad de que ese lago se encuentre en estado hipereutrófico. En el caso de L'Albufera, los valores se sitúan en el entorno de 0,250 mg P/L, lo cual

concuera con el hecho de que su estado sea hipereutrófico. Valores normales en la cuenca del río Júcar están por debajo de 0,070 mg P/L.

- La importancia ambiental del nitrógeno total depende de la forma en la que se encuentre. Concentraciones muy elevadas de nitrógeno oxidable (orgánico más amoniacal) incrementarían el consumo de oxígeno disuelto pudiendo, sumado a otros consumos, dar lugar a problemas de anoxia (ausencia de oxígeno en las aguas). Las aguas de la cuenca del Júcar con calidad excelente tienen valores inferiores a 1,5 mg N/L, siendo los nitratos su principal componente. En el caso de L'Albufera, los valores se sitúan en el entorno de 5 mg N/L.
- DQO (Demanda Química de Oxígeno): Es un indicador de la materia orgánica presente en el agua que mide la materia orgánica oxidable químicamente. En este estudio se ha optado por el empleo de esta

variable frente a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 o DBO20) debido a que, en aguas con alto contenido en algas, la respiración algal puede distorsionar esta forma de medir la materia orgánica. Los valores habituales en los cursos de agua de excelente calidad de la cuenca de L'Albufera se sitúan por debajo de 10 mg/l. En sistemas acuáticos altamente eutrofizados como L'Albufera se pueden alcanzar valores entre 50 y 100 mg/l, fundamentalmente asociados a la materia orgánica fitoplanctónica, muy abundante en este tipo de aguas.

- Sólidos en suspensión: Es una variable fundamental para evaluar la transparencia del agua, aspecto básico en el desarrollo de vegetación sumergida. Dependiendo de sus características puede ser, en sí misma, indicadora de contaminación asociada a materia orgánica o también, indicar la posible presencia de otros contaminantes como microorganismos patógenos, metales pesados y



Figura 7

Izq.: Minimolinet empleado para medir la velocidad de la corriente.
Dcha.: Vertederos para medir el caudal en las entradas del Tancat.

fósforo inorgánico. Los valores típicos en las aguas de buena calidad de la cuenca se sitúan por debajo de 10 mg/l mientras que en el caso de L'Albufera están muy asociados a la presencia de microalgas con valores que, en algunos momentos, llegan a superar los 100 mg/l.

- **Clorofila:** La medición de clorofila es un instrumento importante en la vigilancia de los procesos de eutrofización. De acuerdo con los criterios de la OCDE (1982), concentraciones de clorofila superiores a 25 µg/l indican que el agua presenta un estado hipereutrófico. L'Albufera ha presentado una media anual, en los últimos 10 años de 95 µg/l.
- **Ficocianina:** Es un pigmento predominante en las cianobacterias de agua dulce. El seguimiento de este grupo es de especial relevancia por cuanto que, en principio, son indicadoras de mala calidad del agua, y además, algunas especies pueden resultar tóxicas, afectando a los distintos organismos del ecosistema.

Además de las variables de calidad citadas, también se realizó un control de los caudales circulantes por los distintos puntos del Tancat, con la finalidad de comprobar que el flujo se distribuía de acuerdo a los objetivos establecidos en cada momento, para, en caso contrario, proceder a corregirlo. Las mediciones de caudal se hicieron con ayuda de un minimolinete (Figura 7) para determinar la velocidad media del agua en toda

la sección transversal de la corriente, valor que, multiplicado por la sección transversal correspondiente, permite obtener el caudal circulante en unidades de volumen por unidad de tiempo.

Principales resultados obtenidos

En los siguientes epígrafes se describen los principales resultados relacionados con el papel del Tancat de la Pipa en lo referente a la mejora de la calidad del agua procedente del lago de L'Albufera. Tras un minucioso y delicado análisis de los resultados obtenidos a lo largo de los 10 años, se considera interesante publicarlos atendiendo a las diversas temáticas identificadas como piedras angulares de su funcionamiento.

Eficiencia en la mejora de la calidad del agua

Los resultados del seguimiento de calidad del agua han sido muy positivos en términos de nutrientes. Para el nitrógeno total se ha conseguido reducir la concentración en un 51,4%, desde un valor medio de entrada de 4,25 hasta 2,07 mg N/l a la salida del Tancat; mientras que para el fósforo total se ha reducido en un 42,9%, desde 0,34 hasta 0,20 mg P/l. Esta concentración de fósforo en la salida del Tancat presenta un valor cercano al valor recomendado en el Estudio para el desarrollo sostenible de L'Albufera, finalizado en 2004 (CHJ, 2004). En dicho estudio, en el que se llevó a cabo una ingente labor de

recopilación de información y se desarrolló un modelo matemático de calidad del agua, se llegó a la conclusión de que una concentración de fósforo en torno a 0,1 mg/l en las entradas al lago permitiría mejorar el estado de la calidad de sus aguas y cumplir con los objetivos marcados en la Directiva Marco del Agua.

El seguimiento del funcionamiento del Tancat y el análisis de sus resultados durante estos 10 años ha permitido establecer los factores que más influyen en ellos. Esta información es sumamente útil para asegurar el éxito si esta infraestructura verde se replica en otros lugares. El volumen de agua, por unidad de superficie, que entra cada día, el tiempo de permanencia del agua en el Tancat, las concentraciones de nutrientes en las entradas y la temperatura son factores clave a considerar. Como ejemplo cabe señalar que mientras en las primaveras la concentración de nitrógeno total disminuye un 63%, como media, en verano solo lo hace un 6%.

Basándonos en las concentraciones promedio de clorofila obtenidas, y a pesar de que las aguas que entran al Tancat siguen teniendo la misma mala calidad desde hace una década (promedio de 73 ± 98 D.T. $\mu\text{g/l}$ para el Barranco del Poyo y 50 ± 51 $\mu\text{g/l}$ para la acequia del Puerto de Catarroja), la calidad del agua en la salida del Tancat muestra una ligera mejoría (63 ± 59 $\mu\text{g/l}$) con respecto a la del Barranco del Poyo. La cantidad de microalgas que aparece en la salida final del Tancat es muy variable

y está fuertemente influida por la dinámica interna de las lagunas Educativa y de Reserva. Con respecto a la eliminación/producción de fitoplancton, en estas lagunas tienen lugar dos claros periodos que se repiten cada año. Desde finales del invierno a comienzos del verano, las lagunas actúan reduciendo considerablemente la cantidad de fitoplancton del agua, debido al efecto de las densas poblaciones de zooplancton que eclosionan de los huevos de resistencia del sedimento, las cuales ejercen una función muy eficaz de aclarado del agua. Por el contrario, con la llegada del verano, las altas temperaturas, el elevado número de horas de sol, la alta disponibilidad de nutrientes y la ausencia de vegetación (véase apartado vegetación sumergida) promueven que el fitoplancton de las lagunas crezca considerablemente, con lo que los efluentes del Tancat muestran valores de clorofila elevados. Además, se aprecia una ligera tendencia a la reducción del período de tiempo en el que las lagunas disminuyen la carga fitoplanctónica (Figura 8), cuya causa podría ser climática, relacionada con el acortamiento del período primaveral y los elevados valores de temperatura del comienzo del verano, registrados sobre todo los últimos años, que favorecerían el crecimiento microalgal. El porcentaje de eliminación de clorofila en la salida del Tancat frente a las entradas ocurrió entre el 30 y el 80% de los muestreos realizados, dependiendo del año. Por otro lado, el pigmento ficocianina mostró una dinámica de reducción muy similar a la de la clorofila.

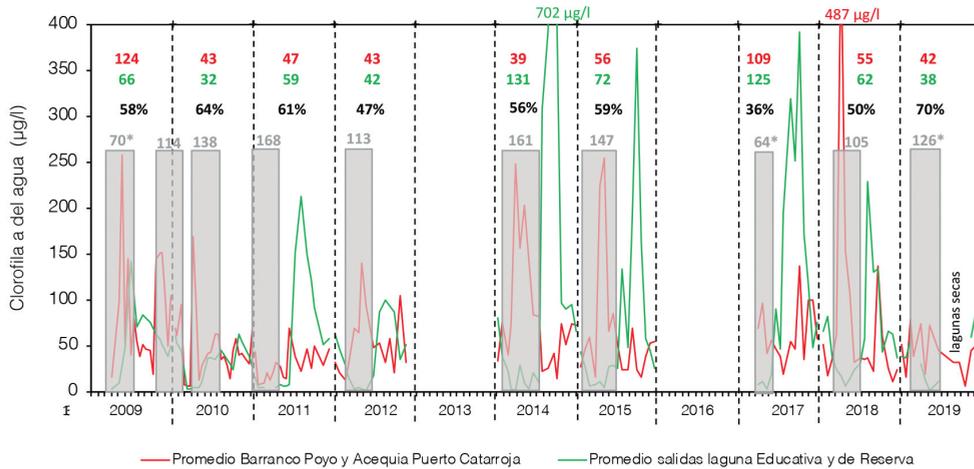
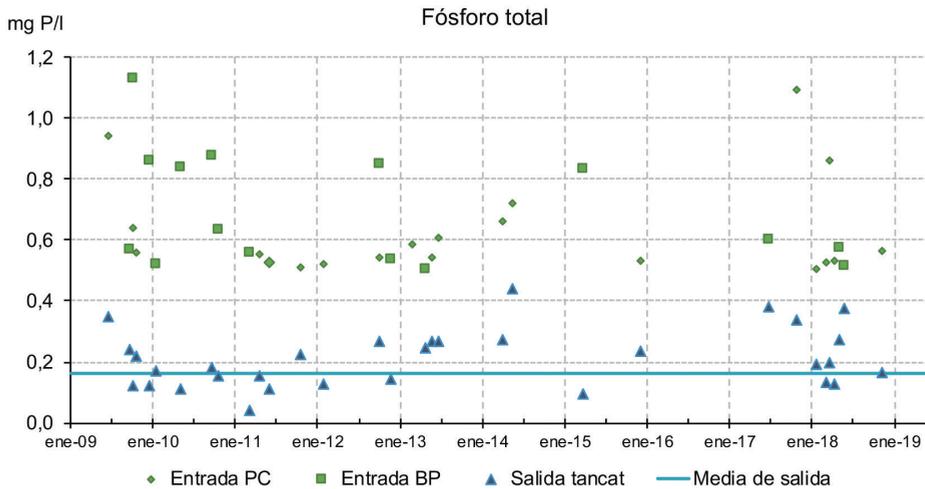


Figura 8
Dinámica de la concentración de clorofila α en el agua en la entrada al Tancat (promedio de las dos entradas) y de la salida (promedio de las salidas de las dos lagunas). Los números en rojo y en verde indican las medias anuales en la década de la concentración de clorofila en la entrada y en la salida del Tancat, respectivamente. Los porcentajes indican la frecuencia de muestreos en que la concentración de clorofila es menor en las salidas que en las entradas. Los números en gris encima de los recuadros grises indican el período, en días, en el que la concentración de clorofila en las salidas es menor. El asterisco en los números indica que esos valores no son comparables con el resto, pues corresponden a períodos incompletos.

Mitigación de episodios de alta contaminación

En el transcurso de los años se han identificado los momentos en los que el agua que entra al Tancat a través de la acequia del puerto de Catarroja o del barranco del Poyo ha registrado valores atípicos de concentración para algunas de las variables estudiadas. Gracias al seguimiento realizado, estos episodios de alta contaminación se han podido relacionar con las circunstancias que potencialmente los provocan. La identificación de dichas causas es crucial para poder proponer medidas de mitigación.

Afortunadamente, el Tancat de la Pipa ha actuado como un elemento de laminación de estos episodios de alta contaminación. Los mecanismos implicados en la laminación son los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en su interior, ya descritos en la Introducción, y adicionalmente, existe una dilución



del contaminante asociado a la mezcla con agua de menor concentración que hay dentro del sistema.

En la Figura 9 se muestran los valores de la concentración de entrada de fósforo total que superan 0,5 mg P/l y sus correspondientes de salida. Se puede observar que la salida del Tancat durante estos episodios se mantiene en torno a su valor medio, de 0,2 mg P/l, lo que muestra ese efecto "laminador" de la contaminación y aumenta a un 70% la reducción de la concentración.

Alguno de los episodios de alta contaminación está relacionado con lluvias relativamente intensas que provocan desbordamientos de los sistemas unitarios de saneamiento, que acaban llegando al lago. Esto sucede cuando, en momentos de lluvia intensa, los colectores de saneamiento (en particular el colector Oeste) no son capaces de recoger

Figura 9
Evolución temporal de las concentraciones de fósforo total de entrada (diamantes y cuadros verdes) y salida del Tancat de la Pipa (triángulos azules).

y conducir toda el agua pluvial que les llega, de manera que se producen alivios en distintos puntos. Los alivios son una mezcla del agua pluvial y del agua residual que todavía no ha recibido tratamiento y que, por tanto, contienen elevadas concentraciones de las sustancias habitualmente presentes en las aguas residuales urbanas, como pueden ser los nutrientes.

Esta relación se puede demostrar relacionando los datos de concentración con los de precipitación si se dispone de una estación meteorológica a una distancia relativamente cercana. En el caso del Tancat de la Pipa se

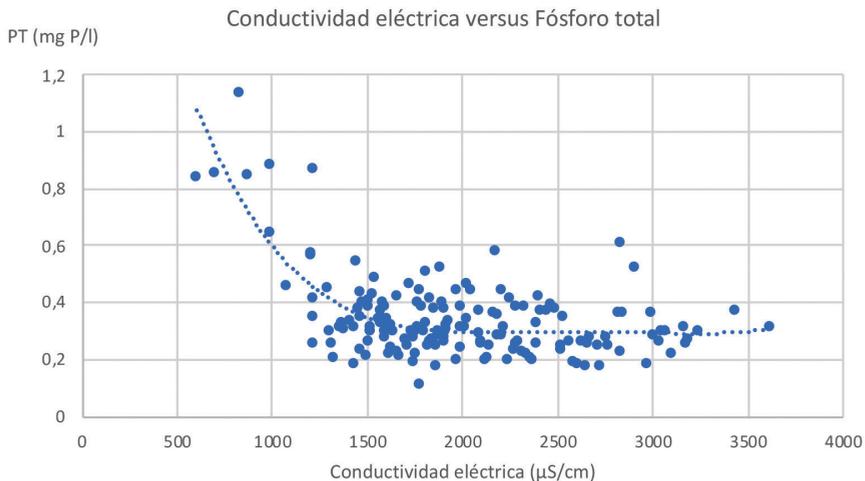
ha dispuesto de una estación meteorológica únicamente durante algunos periodos, por lo que no se dispone de una serie completa de los 10 años. No obstante, se puede establecer una relación entre la concentración de fósforo y la conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica indica, como se comentaba en la Introducción, el nivel de salinidad del agua. El agua de lluvia apenas contiene sales, por lo que tras precipitaciones importantes se suele producir una disminución de la salinidad del agua. Ello permite establecer una asociación entre valores bajos de conductividad eléctrica en las entradas al Tancat con la existencia de eventos de lluvia intensa, que respalda la relación entre picos de contaminación con lluvias intensas, como

se comentaba en el párrafo anterior. En la Figura 10 se muestra la existencia de esta relación para el fósforo total en la entrada por el barranco del Poyo. Habitualmente la conductividad eléctrica en el barranco del Poyo se sitúa entre los 1500 y 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y es después de lluvias intensas cuando toma valores inferiores a dicho rango, coincidiendo con valores de fósforo total significativamente superiores a la media.

Relaciones similares pueden obtenerse para alguna de las formas del nitrógeno, en particular para el nitrógeno amoniacal, sustancia muy abundante en las aguas residuales urbanas.

En algunas ocasiones el agua de entrada al Tancat alcanzó concentraciones de clorofila elevadas, del orden de 490 $\mu\text{g}/\text{l}$. El sistema fue capaz de depurar esas concentraciones, de modo que el agua abandonó el Tancat con tan sólo 26 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Figura 11)

Figura 10
Relación entre el fósforo total y la conductividad eléctrica en el barranco del Poyo.



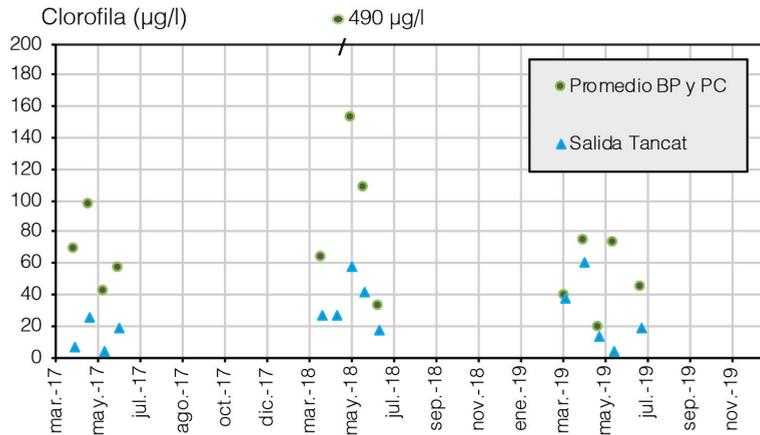


Figura 11
Concentraciones de clorofila en las aguas de entrada al Tancat (promedio del Barranco del Poyo (BP) y acequia del Puerto de Catarroja (PC)) (círculos verdes) y en la salida (triángulos azules) en las tres primaveras de los tres últimos años de seguimiento.

Impacto de las actuaciones de gestión

Uno de los grandes retos del Tancat de la Pipa es su gestión, labor realizada por dos ONG, que llevan a cabo tareas como la gestión de la vegetación, la gestión de la biomasa piscícola o el seguimiento de procesos ecológicos entre otros.

En lo referente a la vegetación se pueden considerar varias acciones que influyen directa o indirectamente a la calidad del agua. A continuación, se describen aquellas actividades más relacionadas con la calidad del agua, indicando el modo en el que influyen:

- Actividades para lograr una buena cobertura de vegetación emergente. Como ya se comentaba en la Introducción, el papel de la vegetación, tanto emergente como sumergida, es crucial para mantener una buena eficiencia del sistema en relación a la mejora de la calidad del agua. En este conjunto de actividades, podemos distinguir entre plantaciones y secados de las parcelas para favorecer la colonización de especies, como el carrizo, que no toleran condiciones de inundación permanente durante largos periodos de tiempo.
- Actividades para extraer nutrientes y biomasa vegetal del sistema. En este caso se trata de realizar siegas periódicas y posterior extracción de la biomasa siegada, para retirar del sistema tanto los nutrientes como la materia orgánica presentes en las plantas.
- Actividades para conseguir una buena cobertura de vegetación subacuática.

Estas tareas se encuentran estrechamente relacionadas con las realizadas para la vegetación emergente o helófitas, incluyendo plantaciones en cercados de protección frente a la depredación, así como secados para retirar individuos de gran tamaño de especies piscícolas que, además, provocan una importante resuspensión de sedimentos, empeorando la calidad del agua.

En los siguientes apartados se muestra cómo las distintas tareas de gestión de los espacios, comentadas, tienen un efecto beneficioso sobre la calidad del agua.

Rol de la vegetación

Como se ha dicho, disponer de una buena cobertura vegetal es clave para limitar el crecimiento del fitoplancton y favorecer su eliminación del agua. Ello permite obtener un agua de mayor transparencia y menor concentración de materia orgánica y nutrientes. Una variable con la que se puede mostrar muy claramente este hecho es la concentración de sólidos en suspensión, que está estrechamente relacionada con la turbidez del agua, ambas relacionadas inversamente con la transparencia del agua. Es decir, cuanto mayor es la concentración de sólidos en suspensión en el agua menor es su transparencia.

En la Figura 12 se muestran dos ejemplos claros de que la cobertura vegetal afecta positivamente para que las concentraciones de sólidos en suspensión sean menores. En el

primer gráfico, se muestra la evolución de esta variable en la celda F4 que, originalmente, presentaba una baja cobertura vegetal y cómo el proceso de transformación en tres sectores, la replantación y el posterior secado, contribuyeron a mejorar su cobertura vegetal y, con ello, a producir un efluente de mucha mayor transparencia. En el segundo caso se muestra cómo la celda FG2 fue empeorando progresivamente su eficiencia, debido a la pérdida de cobertura por la fuerte depredación que ejerció el calamón común durante esa época y cómo pudo recuperar un buen funcionamiento tras llevar a cabo una replantación y un dilatado periodo de secado. En el capítulo dedicado a la gestión de la vegetación se puede encontrar una descripción de las plantaciones y las duraciones de los secados.

Efecto del secado en la calidad del agua

En el apartado anterior se ha mostrado el impacto positivo de la combinación de plantaciones y secados en las celdas de los humedales artificiales para aumentar la cobertura vegetal. En este apartado se presenta el efecto de la actuación de vaciado y secado de las lagunas, concretamente de la laguna Educativa, sobre la calidad del agua.

El secado, además de favorecer la expansión de la vegetación, permite una mayor oxigenación del sedimento y, en consecuencia, una mineralización de la materia orgánica presente en éste. Además, al ser las condiciones más oxidantes, el hierro que contiene

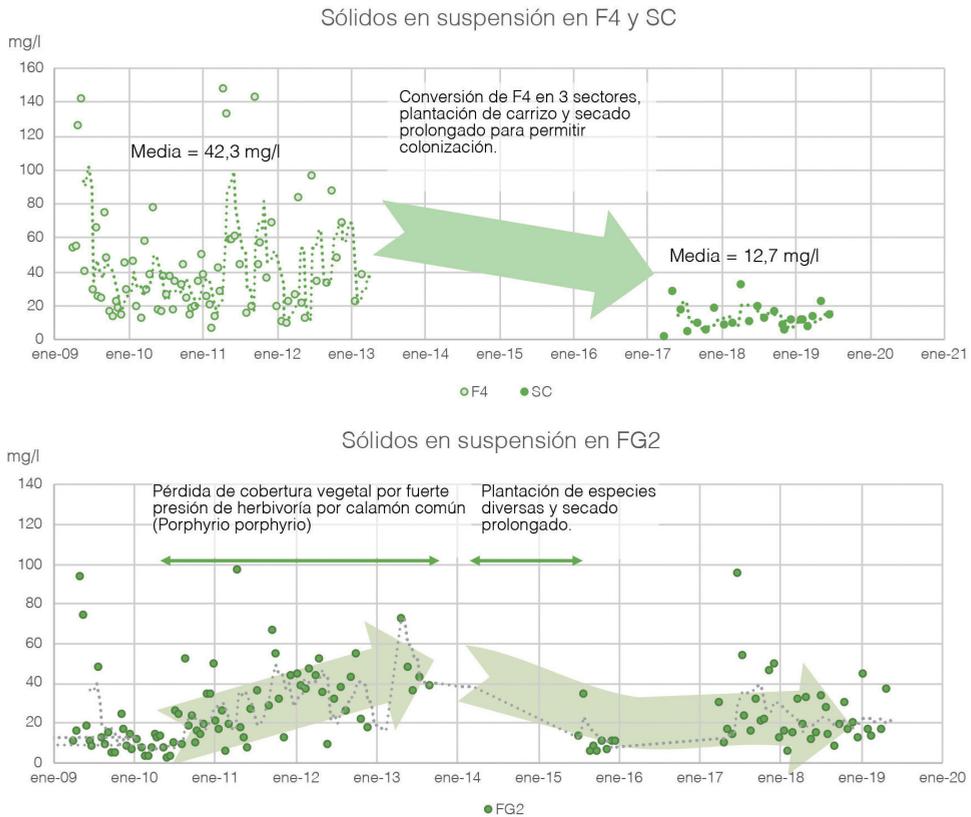


Figura 12
Evolución temporal de la concentración de sólidos en suspensión en dos de las celdas de humedales artificiales del Tancat de la Pipa (F4 y SC en el gráfico superior; FG2 en el gráfico inferior).

el sedimento pasa a estado oxidado, siendo capaz de retener los fosfatos presentes en el mismo. Es cierto que al volver a inundar el sistema existe el riesgo de que las condiciones vuelvan a ser anóxicas, sin embargo,

si el grado de mineralización de la materia orgánica es alto este riesgo es menor y el efecto sobre la potencial liberación de fosfatos desde el sedimento pasa a ser poco importante.

Por otro lado, durante el periodo en el que la laguna permanece seca se puede proceder a retirar biomasa piscícola de gran tamaño que provoca una importante resuspensión de sedimentos, contribuyendo esta medida, por tanto, a mejorar la calidad del agua en la laguna.

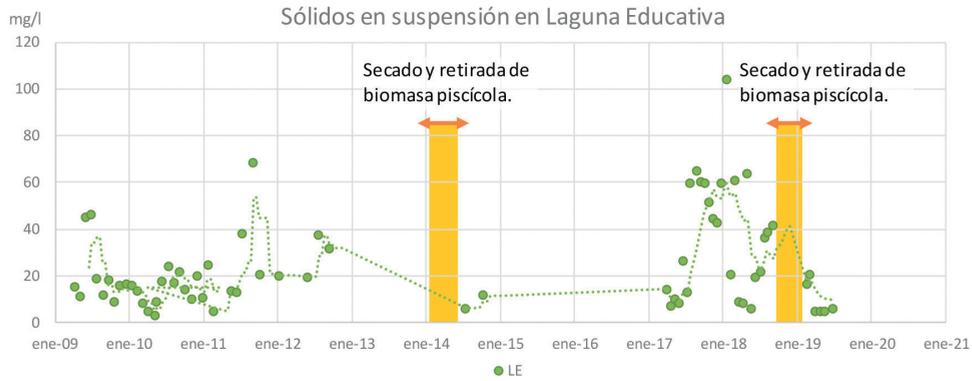
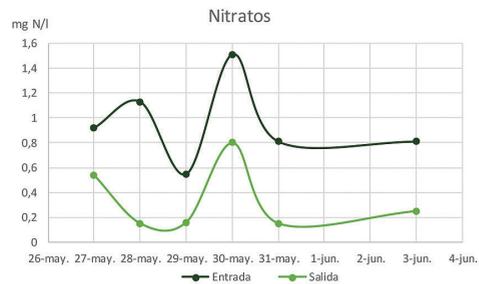
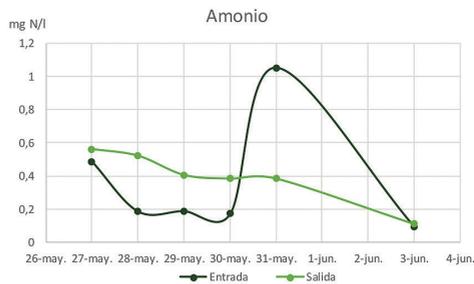
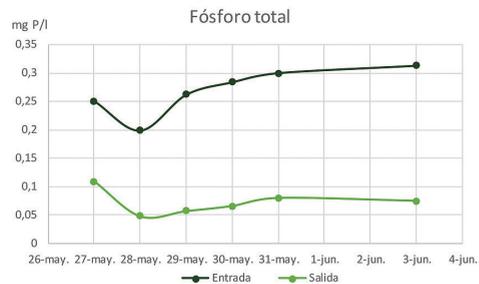
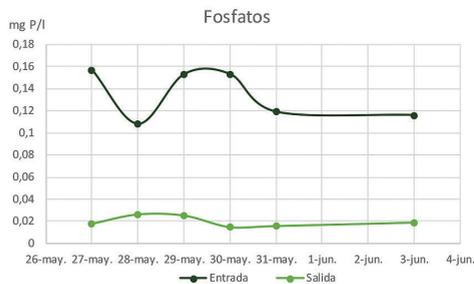


Figura 13
Evolución temporal de la concentración de sólidos en suspensión en la laguna Educativa.

En la Figura 13 se puede observar que esta actuación tiene un efecto positivo en la mejora de la calidad del agua, alcanzándose concentraciones de sólidos en suspensión apreciablemente inferiores a las previas a la actuación.

Figura 14
Resultados del seguimiento intenso de la laguna Educativa tras la reinundación.

Tras el secado realizado entre septiembre de 2018 y febrero de 2019, se realizó un seguimiento más exhaustivo de los puntos de entrada y salida de la laguna. En la Figura 14 se



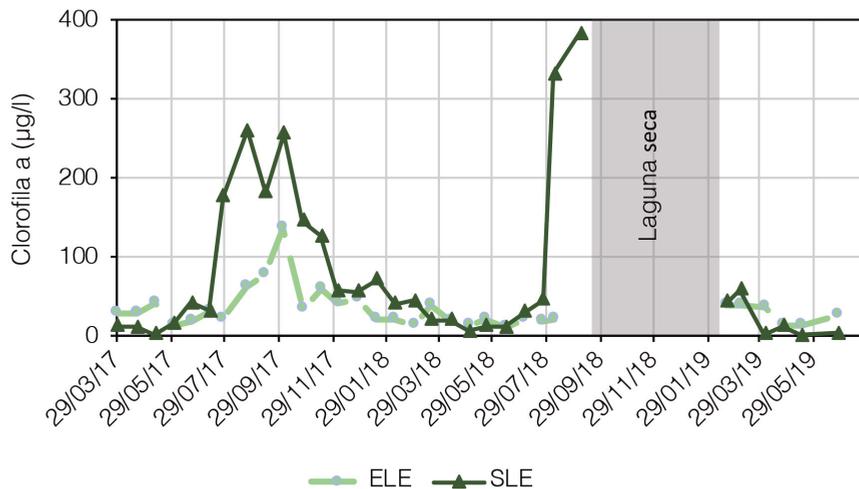
muestran los resultados obtenidos, donde se puede observar que la laguna fue capaz de asimilar los fosfatos procedentes de celdas anteriores sin que se produjera un crecimiento significativo de fitoplancton, ya que la concentración de fósforo total también se redujo de forma significativa. En el caso del nitrógeno, los nitratos sí que se redujeron sensiblemente pero no así el amonio. El incremento de amonio podría estar relacionado con el aporte proveniente de la avifauna que utiliza la laguna como lugar de descanso y alimentación.

Para la clorofila, en la laguna Educativa (Figura 15), se observa que, previamente al secado de la laguna, existían valores elevados, sobre todo en la salida, y que, tras el secado realizado entre septiembre de 2018 y febrero de 2019, dichos valores vuelven a ser bajos, coincidiendo con los presentados en el mismo periodo de los anteriores años.

Impacto del Tancat de la Pipa en el lago de L'Albufera y recomendaciones

En los apartados precedentes, así como en los capítulos relacionados con la calidad biológica de las aguas y la biodiversidad de la avifauna, se ha ido mostrando la eficacia de la actuación de restauración realizada en el Tancat de la Pipa en cuanto a la mejora de la calidad del agua, de los hábitats y de la biodiversidad. La pregunta que cabe plantearse ahora es: cuál es el impacto del Tancat sobre el lago de L'Albufera o, dicho de otra forma, cuánto supone la eliminación de nutrientes que se produce en él respecto a los nutrientes presentes o que llegan al lago.

Figura 15
Concentración de clorofila en los dos últimos años en la entrada (E) y salida (S) de la laguna Educativa (LE).



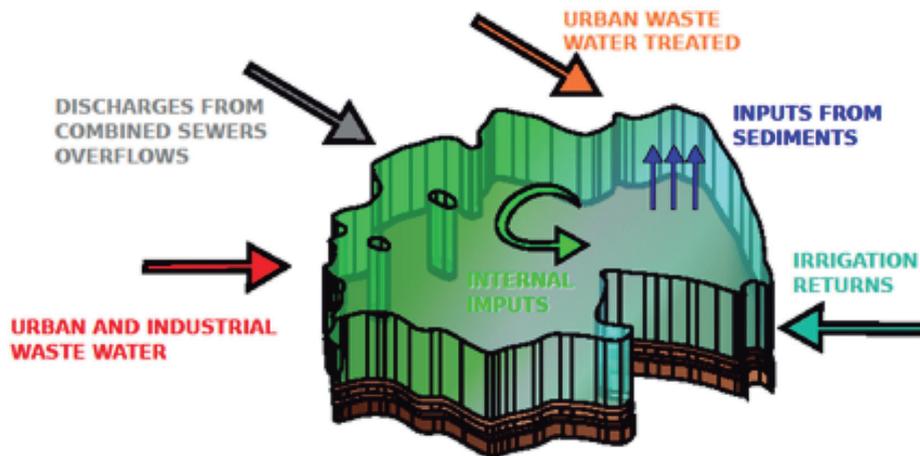
Esta pregunta se puede responder aplicando un balance de la materia anual que se produce en ambos sistemas, es decir, calculando lo que entra y sale anualmente de cada uno de ellos. En el caso del fósforo, considerado el nutriente limitante para el crecimiento del fitoplancton en el lago, se obtienen las cifras que se muestran en la Figura 16.

Como se puede observar, la masa de fósforo que se retira cada año del Tancat de la Pipa es una cantidad nada despreciable, asciende a los 152 kg/año, una cifra equivalente a la que retiraría la depuradora de una población de unos 300 habitantes o, equivalente, a lo que consumiría 1 hectárea de un cultivo. Esto es, si recuperásemos el fósforo capturado en el Tancat de la Pipa se podría fertilizar 1 ha de cultivo.¹

El paso siguiente es comparar esta cifra con el fósforo presente en el lago y con el que le entra anualmente a través de acequias y barrancos. El fósforo presente en el agua del lago, en forma de fitoplancton principalmente, asciende a 4.410 kg, por lo que anualmente se está retirando el 3%. Sin embargo, si la comparación se hace frente a las entradas externas que alcanzan la cifra de 78.600 kg/año, el fósforo retirado por el Tancat es apenas el 0.2%.

La primera conclusión que se extrae de este ejercicio es que los aportes externos son, todavía hoy en día, excesivos y que es necesario cortarlos cuanto antes. La segunda

Figura 16
Esquema de balance de materia de fósforo en L'Albufera de València.



(1) 300 habitantes salen de asumir una dotación de 0,15 m³/d y una reducción de 9 g/m³ de fósforo en ese caudal. 1 hectárea de cultivo sale de lo siguiente: una cosecha de crecimiento rápido absorbe 2,5 kg de P₂O₅/ha al día (http://www.infoagro.com/abonos/fosforo_suelo.htm) = 1,09 kg P/ha/d- Suponiendo que sólo lo consume en los 5 meses de primavera-verano, 1,09 kg/ha/d * 150 d = 163,5 kg/ha, 152 kg/año / 163,5 kg/ha = 0,93 ha.



conclusión, es que la capacidad depurativa del Tancat no es suficiente para paliar el estado de eutrofización del lago de L'Albufera. No obstante, también hay que tener en cuenta que la superficie del Tancat representa un 2% de la superficie del lago. Esto junto con los múltiples beneficios ambientales demostrados en los distintos capítulos de este libro, pone de manifiesto la gran importancia que la actuación de restauración llevada a cabo supone para el Parque Natural.

En el proyecto LIFE Albufera se desarrolló un modelo matemático de calidad de aguas que, una vez calibrado y validado, fue utilizado como herramienta de simulación de posibles escenarios de actuación. Dicho modelo incluía la conexión con los humedales artificiales ubicados alrededor del lago (Tancats de la Pipa y de Milia), lo que permitió estimar qué superficie sería necesaria para reducir de forma significativa la concentración de clorofila en

el lago. El resultado fue que serían necesarias unas 1.200 ha para reducir un 40% la clorofila y acercarse a los objetivos marcados en el último Plan Hidrológico del Júcar ($30 \mu\text{g}/\text{l}$ para el año 2027). No obstante, toda simulación debe interpretarse bajo criterios de experto y, tras un debate entre los distintos grupos de técnicos e investigadores participantes en el proyecto, se alcanzó el consenso de que una cifra sustancialmente menor repercutiría muy positivamente tanto sobre el lago como sobre el Parque Natural en su totalidad. Con una superficie adicional de unas 200 hectáreas mejoraría significativamente la calidad del agua en el lago y la biodiversidad del Parque Natural (Informe Layman, LIFE Albufera). Esta medida acompañada de un mayor control de los aportes externos y de una mejora de la cobertura palustre en el perímetro del lago mediante recreación de orillas y *alterons*, contribuiría enormemente a alcanzar el buen estado del lago.