



**UNIVERSITAT DE VALÈNCIA  
UNIDADES DE INVESTIGACIÓN  
DE LIMNOLOGÍA  
Y ECOTOXICOLOGÍA**



**Ministerio de  
Medio Ambiente**

**CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL JÚCAR**

**ESTUDIO PARA LA CARACTERIZACIÓN INICIAL,  
SEGUIMIENTO TEMPORAL Y VALORACIÓN FINAL  
DE LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS DE  
DETERMINADOS TRAMOS FLUVIALES, DEL ÁMBITO  
GEOGRÁFICO DE LA CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR, SOMETIDOS A UN  
TRATAMIENTO PILOTO DE BIORREMEDIACIÓN**

**Tomo I**

**INFORME FINAL**

**DICIEMBRE 2003**



# SÍNTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# *SINTESIS Y CONCLUSIONES POR ZONAS ESTUDIADAS*



## RÍO VALDEMEMBRA EN TARAZONA DE LA MANCHA

1. En la zona tratada con el producto biológico se produjo una reducción diferencial del contenido en materia orgánica y nutrientes (especialmente N) de los sedimentos del lecho fluvial. Dicha reducción fue más acusada en los dos primeros meses tras la aplicación, coincidentes con los de mayor temperatura ambiental, llegándose a alcanzar concentraciones de materia orgánica de la mitad de las iniciales, para moderar su cinética de degradación en los meses posteriores.
2. A pesar de que las cargas orgánicas se redujeron enormemente, los niveles de contaminación restantes todavía no eran óptimos, lo que queda reflejado tanto por las variables analíticas físico-químicas como biológicas. El estudio detallado de las cinéticas de degradación de materia orgánica y la optimización de las condiciones de aplicación (estación del año, dosificación, repetición de tratamientos, etc.) debería permitir afinamiento de los protocolos de actuación para alcanzar la máxima reducción posible de la contaminación.
3. La reducción del volumen de sedimentos asociada a la aplicación del tratamiento ha sido muy significativa, consiguiéndose reducir los mismos hasta una cuarta parte de los iniciales.
4. La calidad del agua circulante por el tramo objeto de estudio ha sido baja durante buena parte del periodo estudiado. La interpretación de los resultados ofrecidos por la red ICAB indica que dicha situación ya se daba antes del inicio de este estudio.
5. Se pudo constatar repetidamente que se producía un rebose de las aguas residuales de Tarazona de la Mancha hacia el río Valdemembra a la altura de la arqueta de desvío de la EDAR. La existencia de dicho vertido podría explicar en parte la baja calidad del agua observada.



6. La baja calidad del agua circulante detrae eficacia al efecto depurador del tratamiento, ya que se aportan nuevos contaminantes que aumentan las cargas sobre la zona, con lo que el efecto reductor se ve parcialmente enmascarado.
  
7. Como valoración general, la eficiencia del tratamiento en la reducción de las cargas contaminantes (materia orgánica y nutrientes) y el volumen de sedimentos acumulados en el lecho del río Valdemembra, y consecuentemente de la calidad ecológica, se puede considerar como muy alta a la luz de los resultados obtenidos en este ensayo piloto. Cabe reseñar que en esta zona las cargas contaminantes se encontraban entre las más elevadas entre las siete zonas estudiadas, lo que pone de manifiesto la bondad de los tratamientos en la mejora de los sedimentos con altas cargas orgánicas de origen urbano.



## RÍO MAGRO EN SAN ANTONIO

1. En la zona del cauce en la que se realizó la aplicación de los tratamientos biológicos potenciados se produjo una acusada reducción del contenido en materia orgánica, con biodegradabilidad inicial aceptable, de los sedimentos, hasta contener apenas una tercera parte de las cargas iniciales. Dichos contenidos llegaron hasta niveles muy próximos al objetivo de calidad que viene dado por el punto de referencia, manteniéndose únicamente la materia orgánica más refractaria, que por su baja degradabilidad se puede considerar como material relativamente inerte. La aproximación al objetivo de calidad se pone de manifiesto también con el acercamiento de los valores del índice biológico de calidad de la zona tratada a los de la de referencia.
2. La reducción de las cargas orgánicas asociada al tratamiento se produjo principalmente en el periodo inmediatamente posterior al tratamiento, coincidiendo con la época estival, lo que denota el efecto positivo de las altas temperaturas como activador de los procesos microbianos de biorremediación.
3. No se observó una reducción en el contenido de nutrientes (N y P) equivalente a la del contenido orgánico, lo que debe interpretarse a la luz de los ciclos biogeoquímicos de los diferentes elementos (C, N y P).
4. La reducción del volumen de sedimentos acumulados en la zona tratada fue muy grande, llegándose a volúmenes inferiores a una tercera parte de los iniciales, lo que también contribuye al aumento de la calidad ambiental.
5. La calidad del agua circulante por este tramo puede calificarse como moderada, y se ve influenciada por las aportes del barranco que entra por el margen norte del río Magro en la zona tratada. La calidad de dichos aportes depende fundamentalmente del buen funcionamiento de las depuradoras de S. Antonio y de la factoría embotelladora, habiendo mejorado ostensiblemente desde la entrada en funcionamiento de ambas depuradoras.



6. En términos generales, la entrada en funcionamiento de las EDAR en la cuenca media-alta del río Magro ha supuesto una progresiva mejora de la calidad del agua circulante por este río, otrora uno de los más contaminados de la Península, lo que hace recomendable empezar a actuar sobre los efectos acumulados de los vertidos históricos para acelerar los procesos naturales de recuperación del buen estado ecológico requerido por la Directiva Europea 2000/60 que Establece un Marco Comunitario de Actuación en el Ámbito de la Política de Aguas.
  
7. La evaluación conjunta de los resultados de los tratamientos con el producto biológico potenciado en la mejora de la calidad ecológica del tramo del río Magro en San Antonio nos permite hablar de una alta eficacia en la mejora de la calidad del lecho fluvial. Sin embargo, la sensibilidad de los tramos recuperados a nuevos procesos de degradación sigue siendo grande, por lo que los tratamientos de biorremediación deben ir acompañados de una garantía razonable de que no se produzcan nuevos vertidos de aguas residuales que retrotraerían la calidad ecológica del cauce a niveles subóptimos.



## RÍO MAGRO EN UTIEL

1. La calidad del agua circulante por el río Magro en este tramo se encuentra totalmente mediatizada por la calidad del efluente de la EDAR de Utiel, ya que dicha planta aporta buena parte del caudal circulante por la zona, de manera que el buen funcionamiento de la misma resulta imprescindible para garantizar una buena calidad del agua circulante por el tramo alto del Magro.
2. Se constató repetidamente la baja calidad del efluente de la EDAR de Utiel, sobre todo en lo que se refiere al vertido de fangos.
3. El tratamiento de biorremediación contribuyó a evitar una mayor degradación de los sedimentos de este tramo como consecuencia de los vertidos inadecuados de la EDAR de Utiel, así como de otros vertidos incontrolados de aguas residuales producidos en la zona, manteniendo los niveles de contaminación orgánica carbonada y nitrogenada frente al incremento de los mismos en las zonas no tratadas, o incluso permitiendo una recuperación cuando no se producían los vertidos. Dicha recuperación se apuntó también en la ligera mejora de los indicadores biológicos.
4. La acción diferencial del tratamiento se pone de manifiesto sobre todo en la reducción del volumen de sedimentos en las zonas tratadas respecto a las no tratadas, consiguiéndose una reducción apreciable que redundaba también en la reducción de las cargas absolutas de contaminantes.
5. El dragado al que se sometió al cauce impidió completar el estudio en esta zona. Este tipo de actuaciones resultan extraordinariamente dañinas para la calidad ecológica del sistema, ya que tal como se realizó, con una retroexcavadora y de manera indiscriminada, acabó con toda la vegetación ribereña, refugio de biodiversidad y determinante en los procesos fluviales de retención de nutrientes y mejora de la calidad del agua, convirtiendo prácticamente este tramo de río en un yermo canal.





## RÍO VINALOPÓ EN EL AZUD DE BENEJAMA

1. Este tramo no fue inicialmente seleccionado para incluirse definitivamente en el ensayo piloto por la mala calidad del agua circulante, lo que interferiría en la interpretación de los resultados del tratamiento. Sin embargo finalmente se decidió incluir este tramo, tanto por la imposibilidad de actuar sobre algún otro tramo previamente seleccionado al que éste sustituyó, como con la intención de ensayar la eficacia de los tratamientos de biorremediación sobre substratos especiales, como es el caso de los sedimentos con altas cargas celulósicas abundantes en este tramo.
2. A pesar de que la calidad del agua circulante por este tramo ha mejorado en los últimos años, especialmente en aquellos parámetros más relacionados con los vertidos de las industrias papeleras, dicha mejora es todavía marcadamente insuficiente para permitir una ostensible mejora de la calidad ecológica del río, por lo que la aplicación de tratamientos de biorremediación, aun en el caso de que estos se mostraran efectivos, se vería hipotecada por la degradación generada por la baja calidad de las aguas.
3. La materia orgánica atrapada en los sedimentos del río Vinalopó en el azud de Benejama presentaba una biodegradabilidad muy baja, debido principalmente a su desequilibrada composición elemental (rica en carbono y pobre en otros nutrientes imprescindibles para el crecimiento microbiano) y a la imposibilidad de su ataque por microorganismos no celulolíticos.
4. El tratamiento biológico potenciado no se mostró eficaz en la reducción de las cargas orgánicas y de nutrientes acumuladas en los sedimentos de la zona tratada. La antedicha descompensación de la composición elemental que deriva en una carencia relativa de determinados nutrientes impide un adecuado crecimiento de los microorganismos inoculados con los tratamientos, con lo que estos no pueden degradar eficazmente la materia orgánica allí acumulada. Como



consecuencia, la calidad ecológica de la zona, reflejada por los indicadores (en especial los biológicos) no se vio sensiblemente mejorada.

5. Las deficiencias ya citadas merecen ser estudiadas, ya que en el caso de utilización de este tipo de tratamiento de biorremediación en sustratos “especiales” desviados de las condiciones habituales de operación (no olvidemos que son productos diseñados para degradar la materia orgánica de aguas residuales domésticas), la adición de nutrientes a niveles adecuados y la modificación acertada del producto podría potencialmente permitir un mayor éxito del proceso de biorremediación.
  
6. La observada reducción del espesor de los sedimentos no puede ser atribuida con certeza a la acción del tratamiento, ya que pudo ser causada, especialmente la más acusada observada en 2003, por la acción de arrastre de crecidas bruscas producidas en el caudal del río que fueron constatadas a lo largo del estudio. No obstante, tampoco se puede concluir que el tratamiento no tenga relación con la citada reducción.



## RÍO CÁÑOLES EN EL AZUD DE VALLADA

1. Las características del agua en el tramo del río Cáñoles correspondiente al azud de Vallada se ven mediatizadas por el régimen eminentemente léntico de circulación, que permite la proliferación del fitoplancton incorporándose buena parte de los nutrientes en biomasa. La calidad del agua en el tramo no es la mejor posible, aunque no está excesivamente degradada.
2. La materia orgánica acumulada en los sedimentos del azud de Vallada presenta una biodegradabilidad aerobia relativamente baja, estando constituida en parte por restos vegetales refractarios a la degradación. Por otro lado, las cargas orgánicas en los citados sedimentos se encuentran entre las más bajas de las zonas ensayadas.
3. Tras la aplicación del tratamiento no se aprecia una reducción considerable en los porcentajes de materia orgánica acumulada en los sedimentos, aunque si en el volumen total de estos, que reducen su potencia de una manera desigual en toda la extensión del azud. Esto, en definitiva, supondría también una reducción en términos absolutos de la carga orgánica sobre los sedimentos.
4. Aunque la reducción del volumen de los sedimentos sea un parámetro difícilmente valorable por sí sólo, ya que podría venir determinado por procesos hidrodinámicos, en esta zona, a diferencia de la de Benejama, dicha reducción parece estar más relacionada con el tratamiento que con el resto de procesos. Este razonamiento se puede hacer a la vista de los resultados obtenidos en la zona del blanco y de las características topológicas del azud que lo convertirían más bien en una zona de sedimentación que de erosión, por lo que los procesos hidrodinámicos tenderían a depositar materiales y no, como se ha constatado, a reducir el espesor de los sedimentos acumulados. Parece pues objetivo el relacionar el descenso en el volumen de lodos acumulados con la posible acción del tratamiento.



## RÍO ALBAIDA JUNTO A DEPURADORA DE ALBAIDA

1. La existencia de diversos episodios de crecidas de caudal supuso la alteración de las características hidromorfológicas del cauce del río Albaida en la zona estudiada, con arrastres y deposiciones de sedimentos que prácticamente invalidan la posibilidad de evaluación de la acción de tratamiento en esta zona. Dadas las citadas interferencias, no se observan pues diferencias significativas en la evolución de los sedimentos entre las zonas tratadas y las del blanco que puedan ser atribuidas al tratamiento.
2. La calidad del agua circulante por el tramo estudiado del río Albaida es mala, con cargas relativamente elevadas de nutrientes y materia orgánica. Debería intensificarse el control sobre la calidad de las aguas vertidas por las depuradoras en la zona y sobre la existencia de posibles vertidos incontrolados, ya que tras la puesta en funcionamiento de numerosas infraestructuras de saneamiento en los últimos años la calidad de las aguas del río Albaida debería haber mejorado mucho más de lo que los datos aportados por nuestros resultados y por las redes de calidad de las aguas de la CHJ indican.
3. Cuando la calidad del agua aumenta se producen también incrementos en la calidad biológica del sistema, lo que indica una potencialidad de restauración que podría alcanzarse con una mejora sustancial de la calidad del agua circulante, coadyuvada por posibles actuaciones de restauración del lecho.



## RÍO VACA EN LAS PROXIMIDADES DE SU DESEMBOCADURA

1. La calidad del agua en la zona tratada no es buena, como consecuencia de vertidos recibidos aguas arriba (como se refleja también en la zona de referencia). El patrón léntico de circulación en la zona tratada determina la posibilidad de un intenso crecimiento algal, posibilitado por el efecto eutrofizante de la materia orgánica y nutrientes vertidos aguas arriba. La proximidad al mar de la zona tratada también influye en el incremento considerable de la salinidad del agua en la misma respecto a la zona de referencia, especialmente en lo que se refiere a sales cloruradas.
2. En esta zona el tratamiento con el producto biológico se realizó sin previo aviso, por lo que el equipo de la UVEG no pudo realizar la campaña de caracterización previa a todos los tratamientos, debiendo sustituirse la caracterización previa por una toma de muestras en una zona contigua no tratada, lo cual distorsiona los resultados del estudio. Por otro lado, la poca delimitación de la zona tratada hace que ante una hipotética reducción de los volúmenes de fangos acumulados en el cauce se pueda producir un vencimiento de los lodos de zonas contiguas a la tratada sobre ésta, haciendo aun más complicada la interpretación de los resultados.
3. La materia orgánica acumulada en los sedimentos de la zona presentaba una biodegradabilidad aerobia muy baja. La comparación de la evolución de los parámetros indicadores de contaminación orgánica y nutrientes no muestra un patrón diferencial entre la zona tratada y la del blanco, por lo que no se aprecia un efecto reductor de la misma como consecuencia del tratamiento. La baja degradabilidad de la materia orgánica acumulada en el lecho fluvial, junto con el deslizamiento de sedimentos contiguos, podría explicar parcialmente la falta de resultados positivos.



4. Por dificultades metodológicas, que ya fueron argumentadas al rechazar este tramo en la selección inicial de tramos a ensayar, no pudo cuantificarse la evolución del espesor de los sedimentos en las zonas tratadas y las del blanco, que en cualquier caso se habrían visto también modificados por el deslizamiento de los mismos caso de producirse una hipotética reducción debida al tratamiento.



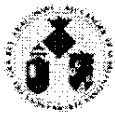
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN  
DE LIMNOLOGÍA Y  
ECOTOXICOLOGÍA

VNIVERSITAT ID VALÈNCIA

SÍNTESIS, CONCLUSIONES  
Y RECOMENDACIONES



# ***CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES***



1. Los tratamientos biológicos potenciados se han mostrado como una herramienta eficaz en la reducción de las cargas orgánicas y el volumen de sedimentos acumulados históricamente como consecuencia de los vertidos de aguas residuales en determinados tramos fluviales. La acción de estos tratamientos podría pues ayudar a los procesos naturales en la recuperación de un buen estado ecológico del ecosistema fluvial, ya que los elevados niveles de contaminación acumulados en determinados tramos de nuestros ríos sobrepasan la capacidad natural de recuperación en plazos de tiempo razonables.
2. La eficacia de los tratamientos fue mayor en los periodos inmediatamente posteriores a la aplicación, coincidentes con los de mayor temperatura ambiental. Dado que los procesos microbianos de degradación se ven activados por la temperatura, se recomienda que las hipotéticas futuras aplicaciones de este producto biológico con el fin de reducir las cargas contaminantes se realicen hacia finales de la primavera o principios del verano.
3. La eficiencia reductora de las cargas orgánicas no se mantiene a los mismos niveles que los iniciales con el transcurso del tiempo. Se recomienda estudiar con detalle las cinéticas de degradación y la mejora de éstas con dosificaciones adecuadas e inyecciones sucesivas de producto biológico en los sedimentos.
4. Los mejores resultados en reducción porcentual de las cargas contaminantes se obtuvieron en aquellos tramos en los que la carga orgánica era muy alta y altamente biodegradable, típicamente zonas afectadas históricamente por vertidos de aguas residuales domésticas. En contraste, las zonas donde la carga orgánica tenía una buena parte de componente autóctono (principalmente restos vegetales recalcitrantes) y la cantidad de materia orgánica era baja la eficacia relativa de los tratamientos fue mucho menor.
5. No se puede afirmar que el tratamiento biológico potenciado haya resultado eficiente en la reducción de las cargas orgánicas de sedimentos ricos en restos





celulósicos. En principio, la pobreza de estos sedimentos en otros nutrientes necesarios podría ser una de las causas de la falta de respuesta en este caso, por lo que cualquier hipotético tratamiento a realizar sobre sedimentos ricos en substratos con características especiales podría únicamente recomendarse una vez optimizadas las condiciones de ensayo para mejorar la respuesta.

6. Los buenos resultados obtenidos en determinadas zonas (p. ej. río Magro en San Antonio) en algunos casos se acercan al resultado al objetivo exigible de calidad marcado por el punto de referencia. Sin embargo, en otras zonas en las que los resultados también han sido buenos el objetivo de calidad todavía ha quedado lejos, debiendo estudiarse el efecto de una hipotética intensificación de los tratamientos sobre la mejora definitiva del tramo. En cualquier caso, la recuperación del buen estado ecológico es un proceso a medio plazo, en el que la acción del tratamiento de biorremediación resulta coadyuvante de los procesos naturales de recuperación y recolonización por especies propias de tal estado.
7. A diferencia de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes (N y P) en los tramos en los que se obtuvo una respuesta positiva a los tratamientos no fue tan exitosa, especialmente en el caso del fósforo. Las razones hay que buscarlas en el tipo de ciclo biogeoquímico de los tres elementos estudiados, ya que mientras el carbono es eliminado a la atmósfera en forma de metano o  $\text{CO}_2$  (según sea la degradación anaerobia o aerobia) por la acción de los microorganismos inoculados, y el nitrógeno podría ser desnitrificado a nitrógeno molecular (gas), el fósforo tiene un ciclo eminentemente sedimentario sin reservorio atmosférico, por lo que su eliminación de los sedimentos es más difícil, siendo el objetivo prioritario su inmovilización en forma de compuestos inertes de baja solubilidad más que su eliminación.
8. Los procesos de degradación anaerobia de la materia orgánica conseguidos con la acción del tratamiento fomentan la vía anaerobia de la metanización frente a la sulfatorreducción, con lo que se evita la liberación de olores molestos a sulfhídrico y la acción tóxica de esta sustancia sobre los seres vivos que viven en



el agua. El metano, liberado en forma de gas, se transfiere directamente a la atmósfera, con sus potenciales efectos de reabsorción de radiación infrarroja emitida hacia el espacio.

9. La heterogeneidad en la composición de los sedimentos acumulados en los lechos fluviales es muy grande. Por ello, en este tipo de actuaciones de biorremediación se hace necesario una inoculación en puntos muy próximos del lecho, así como la obtención de numerosas muestras en un proceso de seguimiento de la eficacia de las actuaciones que permita obtener una significatividad estadística suficiente para poder evaluar los resultados obtenidos con los tratamientos.
10. La calidad del agua circulante por la mayoría de los tramos ensayados era mala, bien puntual o continuamente. Teóricamente esta situación no debería darse, ya que la entrada en funcionamiento durante los últimos años de numerosas infraestructuras de saneamiento en las cuencas de los ríos estudiados debería garantizar una mejoría en la calidad del agua circulante, la cual, a pesar de haberse incrementado en algunos casos, todavía denota un mal funcionamiento de parte de dichas infraestructuras y/o la existencia de vertidos incontrolados.
11. La baja calidad del agua circulante supone una hipoteca para las posibilidades de recuperación de un buen estado ecológico de los tramos fluviales en los que se aplica el tratamiento de biorremediación. La acción reductora de la contaminación potencialmente inducida por los tratamientos se ve mermada por los nuevos aportes, con lo que no se consigue la recuperación deseada. Se recomienda, en consecuencia, la utilización de este tipo de tratamientos cuando exista una garantía razonable de una calidad moderadamente buena del agua circulante, así como de la estricta vigilancia de la misma. Cabría por tanto calificar como daño cualquier tipo de vertido que, producido sobre tramos fluviales en los que se hubiera efectuado un tratamiento de restauración del lecho, retrotraiga a dicho tramo a unas condiciones de degradación mayor a la



resultante como consecuencia de los tratamientos previos, siendo recomendable la exigencia al infractor de la reparación del daño ocasionado.

12. La incidencia del efecto de remoción de sedimentos provocado por crecidas bruscas del caudal circulante ha sido importante en algún tramo estudiado, impidiendo evaluar los resultados. Esta problemática debe contemplarse también para un diseño correcto de futuras actuaciones.
13. Vista la complejidad de los resultados obtenidos en el estudio, resultaría deseable que en el diseño y seguimiento de las hipotéticas actuaciones futuras con la utilización de este tipo de técnicas sean consultados expertos en la materia.
14. A la vista de la evaluación conjunta de los resultados nos ratificamos en la proyección de futuro ya apuntada en el informe preliminar, según la cual “lo aquí señalado permitiría el planteamiento de nuevas actuaciones para la recuperación de tramos fluviales seleccionados de acuerdo a las características principales que a nuestro juicio se requieren, esto es:
  - Calidad del agua mejorada respecto a los periodos en los que se produjo la contaminación del lecho fluvial, y garantías suficientes del mantenimiento de dicha calidad en el tiempo.
  - Elevada carga orgánica en los sedimentos a tratar.
  - Alta biodegradabilidad de la materia orgánica acumulada.
  - Una cierta estabilidad hidrodinámica del lecho sedimentario.
  - Normalización de las condiciones de aplicación en función de las características del tramo a tratar, sobre todo en los tramos que hemos considerado como “especiales”, para los que se requeriría un experimento piloto específico a fin de ajustar la composición del producto a las condiciones especiales de estos lechos sedimentarios”.