

Nota Técnica

¿Cómo plantear el seguimiento de las actuaciones de restauración fluvial? Caso del río Manzanares en el entorno del Real Sitio del Pardo (Madrid)

How to monitor and evaluate river restoration works?

Case of river Manzanares in the “Real Sitio de El Pardo” (Madrid), Spain

Martínez Santa-María, C.^{1*}; Fernández Yuste J.A.¹; Magdaleno Más, F.²; Muñoz Pardo, J.I.³; González Sánchez, M.³; Arias Rodríguez, L.C.³; Carpio Fernández del Pozo, J.⁴

¹*E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio natural. Universidad Politécnica de Madrid*

²*CEDEX.*

³*GRUPO TRAGSA-SEPI*

⁴*SERBAIKAL INGENIEROS S.L.*

Autor para correspondencia: carolina.martinez@upm.es

Resumen

Se presenta la metodología seguida en la elaboración del programa de seguimiento de las actuaciones de carácter hidromorfológico enmarcadas en el Proyecto de restauración fluvial del río Manzanares en el entorno del Real Sitio de El Pardo (Madrid). La eficacia de dichas actuaciones se medirá mediante un conjunto de 18 indicadores, todos ellos propuestos siguiendo unos criterios que aseguren su eficacia y aplicabilidad. A modo de ejemplo se presenta la ficha correspondiente a uno de los indicadores donde se especifica su objetivo, umbrales de valoración, metodología de cálculo en campo y/o gabinete, localización y periodicidad. De manera global el programa propone la división del ámbito del proyecto en tramos y subtramos, acordes a las características ambientales más relevantes previas a la ejecución del proyecto. Como tareas se programan la realización de tres vuelos dron georeferenciados para la estimación de diversas variables, 16 batimetrías en secciones seleccionadas, 3 campañas de muestreo de bentos en 5 secciones representativas y 4 recintos para la caracterización de la vegetación. De este modo se dispone de un instrumento de gestión adaptativa que a lo largo de los 3 años programados permitirá demostrar la eficacia de las actuaciones, proponer mejoras y generar pautas para otros proyectos similares.

Palabras clave: restauración de riberas, impacto fluvial, gestión adaptativa, indicadores hidromorfológicos.

Abstract

We presented the methodology carried out for the elaboration of the monitoring program of the hydromorphological actions included in the Project of river restoration of the Manzanares river, in the surroundings of the Real Site of El Pardo (Madrid). The effectiveness of these actions are measured through a set of 18 indicators, all proposed following criteria that ensure their effectiveness and applicability. As an example, the file corresponding to one of the indicators is presented, specifying its objective, valuation thresholds, calculation methodology in the field and / or cabinet, location and periodicity. In a global way, the program proposes the division of the scope of the project into sections and sub-sections, according to the most relevant environmental characteristics prior to the execution of the project. As tasks are scheduled the realization of three geo-referenced drone flights for the estimation of various variables, 16 bathymetries in selected sections, 3 campaigns of sampling of benthos in 5 representative sections and 4 precincts for the characterization of the vegetation. In this way, there is an adaptive management tool that, over the 3 years programmed, will make it possible to demonstrate the effectiveness of the actions, proposes improvements and generates guidelines for other similar projects

Keywords: river restoration, fluvial impact, adaptive management, hydromorphological indicators.

1. Introducción

Gracias al impulso de la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) y de la Confederación Hidrográfica del Tajo y en el marco del Plan PIMA Adapta (Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España), en 2016 se redactó el Proyecto de restauración fluvial del río Manzanares en el entorno del Real Sitio de El Pardo (MAPAMA, 2016). El tramo comprende dicho río desde aguas abajo de la presa de El Pardo hasta su entrada en Madrid (cruce con la autopista M-40) con una longitud total de 8,4 km más los 7 km del tramo bajo del arroyo de la Trofa, principal tributario por la margen derecha. Los estudios iniciales de diagnóstico de la problemática fueron coordinados por la administración y ejecutados por la Universidad Politécnica de Madrid, el Centro de Estudios Hidrográficos y las empresas Tragsatec, Inclam, Cimera, Exeleria y Serbaikal. Dichos estudios concluyeron que las graves presiones existentes derivan de problemas de funcionamiento de la cuenca hidrográfica, que abarcan desde la regulación de caudales, los problemas de calidad de las aguas en el arroyo de la Trofa, problemas en la generación y transporte de sedimentos, pérdida de conectividad longitudinal y transversal, simplificación del hábitat fluvial y ripario y ocupación del espacio fluvial, generando un estado incompatible con los requisitos ambientales que exige la Directiva Marco del Agua (European Commission, 2000).

Como actuaciones principales en el río Manzanares el proyecto contempla:

- Actuaciones de recuperación y mejora del hábitat fluvial, incluyendo rescate de fauna autóctona e incremento de la complejidad y diversidad hidráulica.
- Actuaciones para la mejora de la cubierta vegetal, incluyendo trabajos selvícolas y eliminación de vegetación exótica, restauración de la vegetación de ribera, y la retirada de carrizo (*Phragmites australis*) y enea (*Typha latifolia*) del cauce.
- Actuaciones para la recuperación y mejora de la continuidad hidrológica, que comprende la retirada de sedimentos en la confluencia de Trofa y Manzanares, el rebaje de la losa de una antigua estación de aforos, y la instalación de una rampa para peces en un azud existente.
- Recuperación del espacio fluvial ribereño con la retirada de rellenos y reperfilado de taludes.
- Uso público e interpretación de la naturaleza con la adecuación de caminos y senderos, instalación de pasarelas y material interpretativo. Dichas actuaciones comenzaron a ejecutarse a principios de 2017.

Durante los tres años posteriores a la ejecución de los trabajos se llevará a cabo un programa de seguimiento compuesto a su vez de varios apartados: seguimiento de la evaluación del estado ecológico de la masa de agua, del estado hidromorfológico, de la ictiofauna, de la avifauna, del uso público, de la carga cinegética, etc. El seguimiento hidromorfológico propuesto (UPM-CEDEX, 2017) tiene por objetivos:

- Evaluar la eficacia de las actuaciones.
- Conocer la evolución del tramo.
- Mejorar las actuaciones en ejecución y proyectadas.
- Transferir el conocimiento a otros tramos del corredor del río Manzanares.

Ha sido elaborado por un equipo multidisciplinar constituido por técnicos que han intervenido en el diseño y ejecución de las actuaciones, especialistas en cuestiones hidrológicas, geomorfológicas y ecológicas y ha contado con la participación de diversas entidades relacionadas con el proyecto.

El objetivo de esta comunicación es presentar la metodología seguida y el programa propuesto para el seguimiento hidromorfológico de las actuaciones recogidas en el proyecto citado. Esta comunicación presentará exclusivamente lo relativo al río Manzanares, prescindiendo del seguimiento en el arroyo de Trofa, que presenta una problemática muy particular.

2. Metodología

2.1. Fases de desarrollo

El proceso seguido para la definición y propuesta de indicadores hidromorfológicos puede esquematizarse en tres fases:

- Fase 1:** Para cada actuación planteada en el proyecto con repercusión hidromorfológica se procede a:
- a) Identificar los efectos.
 - b) Seleccionar las variables e indicadores que permitan valorarlos.
 - c) Establecer las campañas necesarias para dicha valoración.

Dentro de la etapa b) se fijaron una serie de condicionantes que debían verificar todos los indicadores propuestos:

- Deben evaluar variables indicativas de procesos.
- Deben estar basados en las características hidromorfológicas y ecológicas de cada tramo o subtramo.

- Deben estar vinculados a actuaciones concretas del proyecto.
- El método de estimación debe ser preciso y relativamente sencillo.
- El resultado del indicador debe ser fácilmente interpretable.
- Su estimación debe ser técnicamente viable y con un coste económico aceptable.
- Tienen que poder ser evaluados en las situaciones pre y post proyecto.
- Deben poder vincularse a la planificación y gestión hidrológicas.

Fase 2: Analizar las propuestas de la fase 1 para:

- a) Seleccionar indicadores, evitando redundancias, o /y la recopilación de información poco relevante o con coste desmesurado. Esa selección se someterá a la consideración de la empresa/dirección de obra para hacerla definitiva.
- b) Coordinar espacial, temporal y materialmente las campañas, optimizando tareas.
- c) Preparar las características de los equipos de trabajo, fichas de campo, tablas de atributos de la cartografía temática, base de datos y/o hojas de cálculo para recopilación y explotación de la información.
- d) Elaborar patrones de los informes.

El resultado de las tres últimas etapas de esta fase tendrá en cuenta las recomendaciones formuladas por la empresa/dirección de obra.

Fase 3: Desarrollo del seguimiento ambiental y de la gestión adaptativa de las actuaciones:

- a) Desarrollar el seguimiento.
- b) Identificar respuestas del sistema no adecuadas y/o distintas a las previstas y proponer modificaciones y/o mejoras que sean tenidas en cuenta para el desarrollo del proyecto restante.
- c) Elaborar informes periódicos con la evolución de los indicadores, y un informe final con la caracterización, cuantificación y valoración de los efectos hidromorfológicos.

2.2. Indicadores propuestos

En la *Tabla 1* se presentan la relación de indicadores propuestos y su vinculación con las actuaciones del proyecto con trascendencia hidromorfológica. Para cada indicador se elabora una ficha en la que se especifica:

1. Código del indicador y denominación
2. Actuación del proyecto vinculada: se incluirá la actuación del proyecto con trascendencia hidromorfológica a la que se vincula dicho indicador
3. Objetivo: se definirán de una manera precisa las variables que estima el indicador y la finalidad del mismo

Tabla 1. Listado de indicadores para el seguimiento hidromorfológico de las actuaciones del Proyecto de restauración ambiental del río Manzanares en el entorno del Real Sitio de El Pardo.

ACTUACIÓN DEL PROYECTO	INDICADOR PROPUESTO
Actuaciones de recuperación y mejora del hábitat fluvial: Incremento de la complejidad y diversidad hidráulica mediante la incorporación de grandes bloques y restos leñosos al cauce	I1: Secuencia de mesohábitats I2: Biotopo hidráulico: calados I3: Biotopo hidráulico: velocidades I4: Biotopo hidráulico: sustratos I5: Índice IBMWP
Actuaciones para la mejora de la cubierta vegetal: retirada de carrizo y enea del cauce	I6: Superficie ocupada por helófitos
Actuaciones para la recuperación y mejora de la continuidad hidrológica: Retirada de la isla de sedimentos de la confluencia Arroyo de Trofa-Manzanares	I7: Superficie ocupada por la lámina de agua remansada I8: Longitud ocupada por la lámina de agua remansada I9: Anchura de la lámina de agua remansada I10: Volumen de sedimento movilizado
Actuaciones para la recuperación y mejora de la continuidad hidrológica: Instalación de rampa para peces	I11: Índice de efecto barrera del obstáculo I12: Superficie ocupada por la lámina de agua remansada I13: Longitud ocupada por la lámina de agua remansada I14: Anchura de la lámina de agua remansada
Actuaciones para la recuperación del espacio ribereño: Retirada de rellenos de las márgenes	I15: % Longitud de cauce recuperado
Actuaciones para la mejora de la cubierta vegetal: Trabajos selvícolas y eliminación de vegetación exótica	I16: Naturalidad: porcentaje (%) de superficie de la ribera funcional ocupado por especies ribereñas autóctonas
Actuaciones para la mejora de la cubierta vegetal: Restauración de la vegetación de ribera	I17: Porcentaje (%) de marras I18: Porcentaje (%) de ejemplares en mal estado fitosanitario

4. Expresión del indicador: se indicará su expresión analítica si procede y/o la explicación conceptual del mismo
5. Umbrales de valoración: en los casos en los que el indicador disponga de valores umbrales de alteración o no alteración se citarán los mismos. De no ser así se indicará que la valoración se realizará comparando los estados pre y post proyecto.
6. Procedimiento de cálculo: este epígrafe comprenderá la especificación de todas las tareas a desarrollar tanto en gabinete y/o campo para la estimación correcta del indicador. En caso necesario se indicará el material a utilizar.
7. Localización: se especificarán los tramos y sub tramos en los que se debe aplicar el indicador y/o las coordenadas de las secciones en las que se rea-

lizarán las mediciones. Se han considerado 5 tramos – T1 a T5 y dos sub-tramos (T2.1 y T4.1) en función de las singularidades detectadas en el ámbito del proyecto.

8. Periodos y fechas de muestreo: se indicarán los periodos de muestreo del indicador y si fuera necesario la época concreta.
9. Resultados: se presentarán de manera numérica en tablas estandarizadas para cada indicador.
10. Informe gráfico: se adjuntarán las fotografías u otros documentos gráficos que acrediten las mediciones realizadas o los datos tomados (*Figura 1*).



Figura 1. Informe gráfico de los Indicadores 2 (izquierda): superficie ocupada por helófitos y 7 (derecha): superficie ocupada por lámina de agua remansada obtenidos a partir del vuelo dron realizado en junio de 2017.

3. Resultados y discusión

Como resultados y a modo de ejemplo se presenta la ficha correspondiente al indicador 1: secuencia de mesohábitats (*Tabla 2*), cuyo objetivo es evaluar la diversidad de mesohábitats existentes. La *Tabla 3* resume las actividades de campo y gabinete que la ejecución de dicho seguimiento supone. El plazo de realización del seguimiento es de 3 años, estableciéndose una periodicidad anual que se distribuirá del modo: estado 0 (previo a la realización de las actuaciones, verano 2017), estado intermedio (próximo a la finalización de las actuaciones, verano/otoño 2018) y estado final (trascurrido un tiempo después de finalizar las actuaciones,

Tabla 2. Ficha del indicador I1: secuencia de mesohábitats

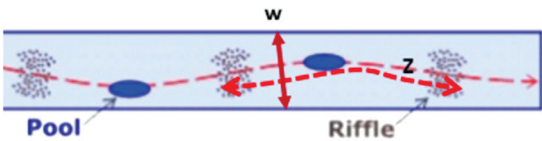
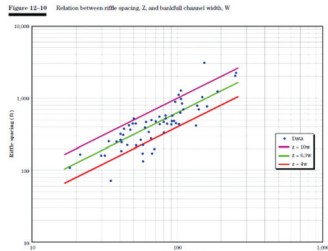
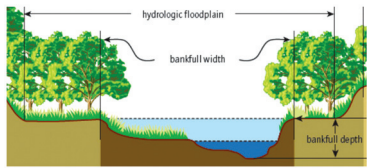
(1) Indicador código y denominación: I1: SECUENCIA MESOHÁBITATS	
(2) Actuación del proyecto: Actuaciones de recuperación y mejora del hábitat fluvial: Incremento de la complejidad y diversidad hidráulica.	
(3) Objetivo: Permite evaluar la mejora en la secuencia de mesohábitats.	
(4) Expresión: Z (m)/ w (m) Z = Distancia media entre puntos homólogos de dos rápidos consecutivos (se recomienda elegir la sección más aguas arriba del rápido) w = anchura de bankfull (estimada en 20 m para la evaluación de este indicador en la zona de estudio).	
(5) Umbrales <ul style="list-style-type: none"> ● Sin alteración significativa: $4 < Z/w < 10$ ● Alteración significativa: Z/w fuera del rango (4 -10) 	
(6) Procedimiento <i>Trabajo de campo:</i> ● Con caudales bajos/moderados –permiten visualizar rápidos–, identificar la situación de los rápidos y trasladar la ubicación al SIG. <i>Trabajo de gabinete:</i> ● Z (metros): Estimar valor medio en cada tramo a partir de los datos de campo y la ortofoto. ● w (metros) = Anchura del bankfull (anchura media del cauce en el tramo, entendiendo por cauce el ocupado por la lámina de agua en las avenidas ordinarias). Para su estimación se ha considerado la anchura media del DPH cartográfico en el tramo menos alterado –desde aguas abajo del puente de Capuchinos hasta el inicio del remanso provocado por los sedimentos del arroyo de Trofa–.	
(7) Localización: El índice se calcula en los tramos en los que finalmente se actúe. / En principio se plantearon este tipo de actuaciones de diversificación del hábitat en cuatro tramos: T1, Sub T2.1, T3 y Sub T4.1, pero el examen detenido de los mismos concluyó en seleccionar para sólo el T3. / La idoneidad de actuaciones en los Subtramos 2.1 y 4.1 se evaluará según los efectos del rebaje del azud de El Pardo y del desmantelamiento del tapón del arroyo de la Trofa respectivamente.	
(8) Fechas: 0. <i>Estado inicial:</i> Antes de llevar a cabo las actuaciones. / Sólo será necesario evaluar este indicador para el estado inicial en el tramo 3, ya que de realizarse estas actuaciones en los subtramos 2.1 y 4.1 la alteración en el estado inicial es completa. 1. <i>Estado intermedio:</i> Una vez ejecutadas las actuaciones y habiendo pasado el tiempo suficiente para que el sistema se haya estabilizado. / La fecha se determinará en función del desarrollo de las obras y la valoración de su idoneidad. / Evaluar el indicador sólo en los tramos en los que se hayan llevado a cabo estas actuaciones. 2. <i>Estado final:</i> una vez ejecutadas las actuaciones la fecha se determinará en función del desarrollo de las obras y la valoración de su idoneidad.	
(9) Resultados: Informe numérico	
(10) Informe gráfico	

Tabla 3. Relación de actividades en el seguimiento y su distribución según indicadores y tramos.

	VUELOS DRON	BATIMETRÍAS	MUESTREO BENTOS	MUESTREO CUBIERTA VEGETAL
Indicadores en los que es necesario	I6, I7, I8, I9 I12, I13, I14	I2, I3, I4, I10	I5	I16, I17, I18
Tramos en los que se aplica	T2 y T4	T5	T3	T1 y T4
	3 VUELOS	16 SECCIONES	5 SECCIONES	4 RECINTOS

verano/otoño 2019). Todas las mediciones se realizarán en condiciones de flujo similares. El presupuesto asignado es de 351 608,04 €, lo que implica un 18% del presupuesto total del proyecto (aproximadamente 2 millones de euros).

La primera campaña se realizó en la primavera/verano de 2017, antes del inicio de las actuaciones, permitiendo por tanto caracterizar la situación de partida o estado 0. Con los resultados se redactó el primer informe de seguimiento (UPM-CEDEX-TRAGSA-SEPI, 2017). Como conclusiones más destacadas del mismo pueden citarse:

- Un 35% de la longitud del tramo ha perdido el carácter lótico, pasando a tener unas condiciones artificiales de remanso.
- La invasión de helófitos alcanza en superficie extensiones de hasta el 30% de la lámina de agua remansada.
- La calidad del agua evaluada con el índice IBMWP se cataloga como deficiente.
- La complejidad y diversidad del hábitat fluvial es muy reducida.
- La artificialidad en los taludes afecta al 100% del tramo.
- El porcentaje de especies exóticas en la escasa orla riparia alcanza un valor medio del 40% .

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Las tareas realizadas no hubieran sido posible sin la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Tajo y de Patrimonio Nacional.

4. Bibliografía

European Commission (2000). Directive 2000/60/CE of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for the Community Action in the Field of Water Policy. *Official Journal* L327 (22/12/2000, Brussels, Belgium.73 pp.)
 MAPAMA (Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente); 2016. *Me-*

moria técnica del Proyecto de restauración fluvial del río Manzanares en el entorno del Real Sitio de El Pardo (Madrid). Plan PIMA adapta. No publicado. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

UPM (Universidad Politécnica de Madrid), CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas); 2017. *Propuesta de seguimiento del estado hidromorfológico del Proyecto de restauración fluvial del río Manzanares en el entorno del Real Sitio de El Pardo (Madrid)*. Documento de trabajo. UPM-CEDEX_ Madrid.

UPM (Universidad Politécnica de Madrid), CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), GRUPO TRAGSA-SEPI; 2017. *Informe de seguimiento del estado hidromorfológico y de la vegetación. Restauración Fluvial del río Manzanares. Fase I: Primavera-verano/2017*. Documento de trabajo. UPM-CEDEX. Madrid.

USDA (United States Department of Agriculture); 2007. *Stream Restoration Design National Engineering Handbook*, 654. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/water/manage/restoration/?cid=stelprdb1044707>