

Silvia Martínez-Pérez<sup>1</sup>, Antonio Sastre Merlín<sup>1</sup>, Eugenio Molina-Navarro<sup>2</sup>, Isis Arlene Díaz Carrión<sup>3</sup>, Ramón Bienes Allas<sup>4</sup>, Álvaro Hernán Montoya, David Zalacáin Domench<sup>1</sup> y Raquel Álvarez Guerra<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Alcalá; <sup>(2)</sup> Universidad de Aarhus (Denmark); <sup>(3)</sup> Universidad Autónoma de Baja California (México); <sup>(4)</sup> IMIDRA

## 1. Presentación

La explotación intensiva de embalses en clima mediterráneo conlleva una oscilación acusada de la lámina de agua, adquiriendo un protagonismo notable de la franja perimetral de oscilación ("banda árida"), con apreciable incidencia ambiental negativa (figuras 1 y 2)

Una iniciativa reciente para mitigar aquélla es la construcción de "diques de cola", al objeto de generar una masa de agua permanente, ajena al régimen de explotación del embalse matriz; como esa masa de agua pasa a comportarse como un lago, se ha propuesto para ella la denominación de "limnoembalse" (Molina-Navarro et al., 2009). En ellos convergen valores ambientales y socioeconómicos, entre los que destacan los recogidos en la Tabla I

**Objetivo:** Evaluar la relevancia ambiental y social de tres limnoembalses:

- Pareja (Embalse de Entrepeñas, DH Tajo) (figura 3)
- Presa Verde (Embalse de Torre Abraham, DH Guadiana) (figura 4)
- El Vicario (Embalse del Vicario, DH Guadiana) (figura 5).



Figura 1. Banda árida (embalse de Entrepeñas, Guadalajara).

Tabla I. Valores ambientales y socioeconómicos de los limnoembalses estudiados.

Valores Ambientales	Valores socioeconómicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de un paisaje del agua permanente donde antes dominaba un espacio marginal árido</li> <li>• Rápida colonización vegetal de los márgenes</li> <li>• Protección del tramo de aguas arriba del río frente a la presencia de especies invasoras</li> <li>• Promoción de la presencia de fauna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura de ocio y recreo para los residentes del entorno</li> <li>• Protección del embalse matriz de la colmatación por sedimentos</li> <li>• Turismo rural y deportivo</li> <li>• Valor didáctico del nuevo paisaje del agua</li> </ul>

## 2. Metodología

### Análisis ambiental

➢ Registro periódico de parámetros limnológicos y toma de muestras en puntos clave (entorno dique, cola y arroyo/río alimentador) (figuras 6 y 7):

- Temperatura del agua –desde el fondo a superficie-
- Oxígeno disuelto, conductividad, pH, TDS y transparencia de Secchi
- Clorofila y nutrientes (compuestos nitrogenados y fósforo total)
- Caracterización microbiológica
- Fitoplancton y zooplancton
- Macrófitos
- Macroinvertebrados
- Inventario de fauna



Figura 6

➢ Cuantificación de la tasa de erosión en las cuencas vertientes y ritmo de colmatación

➢ Interpretación de resultados

➢ Modelización hidrológico-ambiental (SWAT)

➢ Simulación de diversos escenarios:

- de cambio climático y
- de cambio de usos del suelo



Figura 7

### Estudio socioeconómico

➢ Identificación y caracterización de:

- Usos y usuarios (figura 8)
- Bienes y servicios ambientales que ofrecen

➢ Procedimiento:

- Encuestas a usuarios
- Entrevistas a gestores competentes relevantes (figura 9)



Figura 8



Figura 9

## 3. Resultados

### Comportamiento hidrológico-ambiental

Tabla II. Resultados parámetros limnológicos. Limnoembalse Pareja

	2008-11 (0 m)	2015 (0 m)	2015 (DWA)	HIG	GM
EQR-Chlorophyll a	0.84 - 1.0 / 0.93 - 1.0	0.61 - 1.0 / 1.0	0.52 - 1.0 / 0.52	0.8	0.6
EQR-Biovolume	0.66 - 1.0 / 0.66 - 1.0	0.73 - 1.0 / 0.74	0.75 - 1.0 / 0.75	0.8	0.6
EQR-%Cyanobacteria	0.90 - 1.0 / 0.90 - 1.0	1.0 / 1.0	0.99 - 1.0 / 1.0	0.8	0.6
EQR-ICA	0.95 - 1.0 / 1.0	0.96 - 1.0 / 0.96	1.0 / 1.0	0.8	0.6
PTI	-0.54 - -0.35 / -0.81 - -0.35	-0.28 - -0.40 / -0.20	-0.22 - -0.13 / -0.13	4	3
Q Index	3.87 - 4.99 / 4.68 - 4.99	4.30 - 4.40 / 4.30	4.32 - 4.62 / 4.42	4	3



Figura 11- Escala de peces y conectividad biológica. Limnoembalse Pareja

### Annual runoff (m³/s)

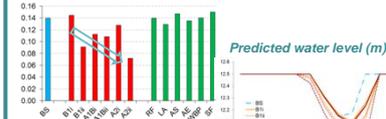


Figura 12- Simulación de escenarios de cambio climático y usos del suelo. Limnoembalse Pareja



Figura 10- Avifauna. Limnoembalse Presa Verde

Tabla III. Macrófitos. Limnoembalses de Pareja, Presa Verde y El Vicario

Resultados de potencial ecológico	Masas de agua		
	Pareja	Presa Verde	Vicario
Indicadores para previsiones hidromorfológicas	DEFICIENTE	DEFICIENTE	DEFICIENTE
Cobertura macrófitos eutóxicos	BUENO o SUPERIOR	BUENO o SUPERIOR	BUENO o SUPERIOR
Cobertura macrófitos exotóxicos	BUENO o SUPERIOR	BUENO o SUPERIOR	BUENO o SUPERIOR
Potencial ecológico según elemento "otra flora acuática"	DEFICIENTE	DEFICIENTE	DEFICIENTE



Figura 13. Erosión en la cuenca del río Ompóveda y sedimentación en el Limnoembalse Pareja

### Análisis socioeconómico

Tabla IV. Valores socioeconómicos de los limnoembalses

ELEMENTO DE LA INFRAESTRUCTURA	BIEN O SERVICIO	ACTIVIDAD / CONCEPTO	CATEGORÍA DE VALOR	VALORACIÓN
Islas artificiales	Refugio de aves	Observación de aves	Uso no consuntivo	Costes de viaje
Escala de peces	Conectividad biológica	Recuperación / Contención de especies	Uso / Opción / No uso	Costes de reposición / Valoración contingente
Masa de agua	Producción de alimentos	Pesca Deportiva y/o Autoconsumo	Uso consuntivo	Precios de mercado
Masa de agua	Recreo	Pesca Deportiva	Uso no consuntivo	Costes de viaje
Masa de agua + Sendero perimetral	Recreo	Eventos deportivos	Uso no consuntivo	Costes de viaje
Masa de agua + Sendero perimetral	Recreo	Segunda residencia	Uso no consuntivo	Costes de viaje
Masa de agua + Islas artificiales + Sendero perimetral	Recreo	Paseo	Uso no consuntivo	Valoración contingente
Masa de agua + Islas artificiales + Sendero perimetral	Recreo	Contemplación	Uso no consuntivo	Valoración contingente
Masa de agua + Islas artificiales + Sendero perimetral	Belleza Escénica	Valorización de la vivienda	Uso no consuntivo	Precios hedónicos

## 4. Conclusiones

- Los limnoembalses son un singular tipo de humedal creado. Consiguen eliminar la banda árida del embalse
- La caracterización de los mismos resulta fundamental para valorar su potencial ambiental y social
- Actúan como indicadores del comportamiento hidrológico de sus respectivas cuencas vertientes, siendo un "referente piloto" de los embalses principales en los que se ubican.
- El estudio hidrológico, del estado ecológico y de su rol socio-ambiental, tanto en las condiciones ambientales presentes como en los futuros escenarios de cambio climático, contribuirá al mejor conocimiento del comportamiento de estas masas de agua
- Proveen a la sociedad una amplia gama de bienes y servicios ambientales, actuando como potenciales motores del desarrollo local.
- Su valoración económica es clave de cara a evaluar la rentabilidad de las inversiones realizadas en su construcción y explotación.
- Se aprecian, no obstante, disfunciones competenciales entre los diferentes niveles de la Administración Pública (central, autonómica, provincial y municipal), que pueden limitar su potencial.

## 5. Referencias

- Díaz, I. y Molina, E. (2013). El limnoembalse de Pareja: Un humedal artificial en la oferta de turismo rural de la provincia de Guadalajara (Castilla-La Mancha, España). En: Humedales y turismo: aprendizajes para la conservación en México y España.
- Fernández-Enríquez, C., Sastre-Merlín, A., Molina-Navarro, E., Álvarez-Guerra, R. y Martínez-Pérez, S. (2016). Estudio de los macrófitos de los limnoembalses de Pareja, La Presa Verde y El Vicario como indicadores de su estado ecológico. XVIII Congreso de la Asociación Ibérica de Limnología. Tórtosa, Julio, 2016
- Molina-Navarro, E., Sastre-Merlín, A., Vicente, R. and Martínez-Pérez, S. (2014). Hydrogeology and hydrogeochemistry in a site of strategic importance: the Pareja Limno-reservoir drainage basin (Guadalajara, central Spain). Hydrogeology Journal, 22, 1115-1129.
- Molina-Navarro, E., Trolle, D., Martínez-Pérez, S., Sastre-Merlín, A. y Jeppesen, E. (2014). Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use management scenarios. Journal of Hydrology, 509, 354-366.
- Morcillo, F.; Martínez-Pérez, S.; Perea, S.; Molina-Navarro, E. y Sastre-Merlín, A. (2016). Evaluation of the fish passage design and suitability in the ParejaLimno-reservoir (Guadalajara, Spain). VI Iberian Congress of Ichthyology. Murcia, Junio, 2016
- Negro, A. I., Molina-Navarro, E., Sastre-Merlín, A., Pérez-Rodríguez, M. E., Álvarez-Guerra, R. y Martínez-Pérez, S. (2016). Ecological status assessment of Pareja Limno-reservoir (central Spain) based on phytoplankton biomass and composition

## 6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por la Consejería de Educación y Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (proyectos PAI 08-0226-1758 y PEII - 2014-036 - P).

Los datos meteorológicos utilizados han sido proporcionados gratuitamente por la AEMET.

Los autores agradecen a la Confederación Hidrográfica del Tajo y a la Confederación Hidrográfica del Guadiana su colaboración.