

HIDROQUÍMICA Y PARÁMETROS FÍSICOS POTENCIALMENTE RELACIONADOS CON LA AUSENCIA DE VEGETACIÓN SUMERGIDA EN LAS TABLAS DE DAIMIEL

José M^a RUIZ HERNÁNDEZ*, Esther SANTOFIMIA PASTOR*, Enrique LÓPEZ-PAMO* y Miguel MEJÍAS MORENO*

(*) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas, 23. jm.ruiz@igme.es

RESUMEN

La recuperación hídrica del humedal del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel en 2010, tras un largo periodo de sequía (2006-09) que desecó el humedal, trajo consigo la recuperación del ecosistema acuático y presencia de aguas cristalinas y amplios tapices de carófitas (*Chara spp.*) en el fondo. En el año 2011 tiene lugar un cambio en el aspecto del agua y se observa una pérdida gradual de la vegetación sumergida junto con un aumento de la turbidez en el agua, además de un incremento en la población de peces bentónicos.

Durante 2015-16 el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) diseña una amplia red de muestreo, para estudiar la calidad del agua del humedal y su entorno, incluyendo las aguas superficiales y subterráneas. El objetivo del muestreo era conocer si el aspecto anómalo que presentaba el humedal junto con la pérdida de la biodiversidad, podía estar inducido por la entrada de contaminantes. Tras el estudio de la calidad del agua se pudo afirmar que las concentraciones de los compuestos químicos inorgánicos (iones mayoritarios, elementos traza y metales), orgánicos (herbicidas y plaguicidas) y nutrientes no superaban los valores máximos recogidos en las legislaciones medioambientales vigentes y se descartó que la situación actual se debiera principalmente a la contaminación de las aguas. Lo que sí se pudo constatar es una alta población de peces bentónicos que parece que está generando un fuerte impacto en el medio acuático.

Los trabajos en el humedal de Las tablas de Daimiel se han retomado durante 2018, a través de un proyecto que está llevando a cabo el IGME con el apoyo de la Fundación Biodiversidad. El objetivo del trabajo es evaluar las causas que han llevado al humedal a alcanzar un estado de aguas turbias y sin vegetación bentónica. Con tal fin se están estudiando una serie de variables que pueden incidir en el desarrollo de las carófitas (hidroquímica del agua superficial y subterránea, nutrientes, turbidez, fitoplancton y radiación solar), y la influencia que tiene sobre las mismas, la abundante población de peces que ha sido identificada, que incluye varias especies exóticas invasoras (*Lepomis gibbosus*, *Ameiurus melas* y *Cyprinus carpio*), conocidas por su alta capacidad de modificar el medio.

Palabras clave: *Humedal, hidroquímica, turbidez*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las Tablas de Daimiel es un humedal ribereño, de tipo tabla fluvial cuyo funcionamiento depende de aportes hídricos superficiales, procedentes de los ríos Azuer y Gigüela, de carácter estacional y muy irregulares, y de aportes subterráneos, a través del cauce del río Guadiana a partir de surgencias localizadas en un tramo de unos 15 km desde el nacimiento del río (Ojos del Guadiana) hasta el humedal. Tanto el humedal como los cauces de ambos ríos han sufrido afecciones antrópicas a lo largo de los siglos. Desde pozos para abastecimiento de agua subterránea de la Edad de Bronce (4100-3200 BP) (MEJÍAS et al., 2015), hasta la existencia de nueve antiguos molinos en el cauce del Guadiana (MORENO, 2014) algunos de los cuales se mantuvieron en funcionamiento hasta mediados del s. XX. El intenso aprovechamiento de las aguas subterráneas con fines agrícolas dio lugar a un descenso del nivel piezométrico de unos 35 m en el periodo 1980/96 (MEJÍAS, 2012) y dejó de manar el agua en los Ojos del Guadiana en 1983. Otro de los problemas más importantes del humedal es la contaminación de sus aguas que producen de forma continuada las prácticas agrarias y puntualmente los vertidos ocasionales a los ríos Gigüela y Guadiana, de aguas residuales urbanas o de industrias agroalimentarias, más frecuentes en épocas de intensas lluvias.

Tras el periodo húmedo de 2010-13, el Parque alcanza una superficie de inundación de 1.735 ha y el volumen de agua almacenada se renueva varias veces. Pero, a pesar de la abundancia de agua en este periodo, desde 2011 se constató un descenso progresivo de la vegetación sumergida formada por praderas de carófitos (LAGUNA et al., 2016), que provocó un importante descenso de anátidas nidificantes que se alimentan de sus ovas. A esta situación se ha unido un notable desequilibrio en la fauna piscícola, con importante presencia de especies alóctonas como las carpas que se alimentan de materia orgánica del sedimento, removiendo éste y produciendo una importante turbidez en el medio acuático. (ÁLVAREZ-COBELAS et al., 2016). Tras esta situación, los estudios realizados por el IGME durante 2015-2016, presentaban como objetivo específico: determinar la posible presencia de sustancias contaminantes en los aportes de agua al Parque Nacional, tanto superficiales como subterráneos, que pudieran estar relacionadas con la desaparición de la vegetación sumergida. Desde el año 2018, el IGME continúa trabajando en el Parque Nacional evaluando las causas que han llevado al humedal a alcanzar un umbral crítico y provocado un cambio de estado, desde aguas claras con vegetación sumergida a aguas turbias sin vegetación, con la consecuente pérdida de biodiversidad. Los objetivos específicos de este nuevo proyecto son: i) valoración de la situación hídrica de Las Tablas desde el año 2010, ii) evaluación de la calidad del agua y su influencia en el desarrollo de la vegetación bentónica (*Chara spp.*), iii) estudio de la turbidez y la naturaleza de la partícula en suspensión que la causa y iv) evaluación de las condiciones lumínicas del fondo del lago y su influencia en el desarrollo de vegetación bentónica.

METODOLOGÍA y CAMPAÑAS DE OBTENCIÓN DE DATOS

Con el objeto de evaluar la posible contaminación y el seguimiento de la calidad de las aguas del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel y su entorno y, atendiendo al modelo de funcionamiento de aportes hídricos del humedal, se diseñó una red de muestreo de aguas representativa. Se llevaron a cabo 6 campañas de muestreo de aguas superficiales, subterráneas y aguas residuales en los meses de abril, julio y noviembre de 2015 y 2016.

En el caso de las aguas superficiales de los cauces que alimentan el humedal, se muestrearon

11 puntos, algunos de los cuales coinciden con los que forman la Red Especial de Calidad del Parque gestionada por la Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG), y de la que se dispone de información desde 2010 (Figura 1). Se han considerado dos estaciones de muestreo características, uno de los aportes del río Guadiana (GN158) y otra del río Gígüela (GN155).

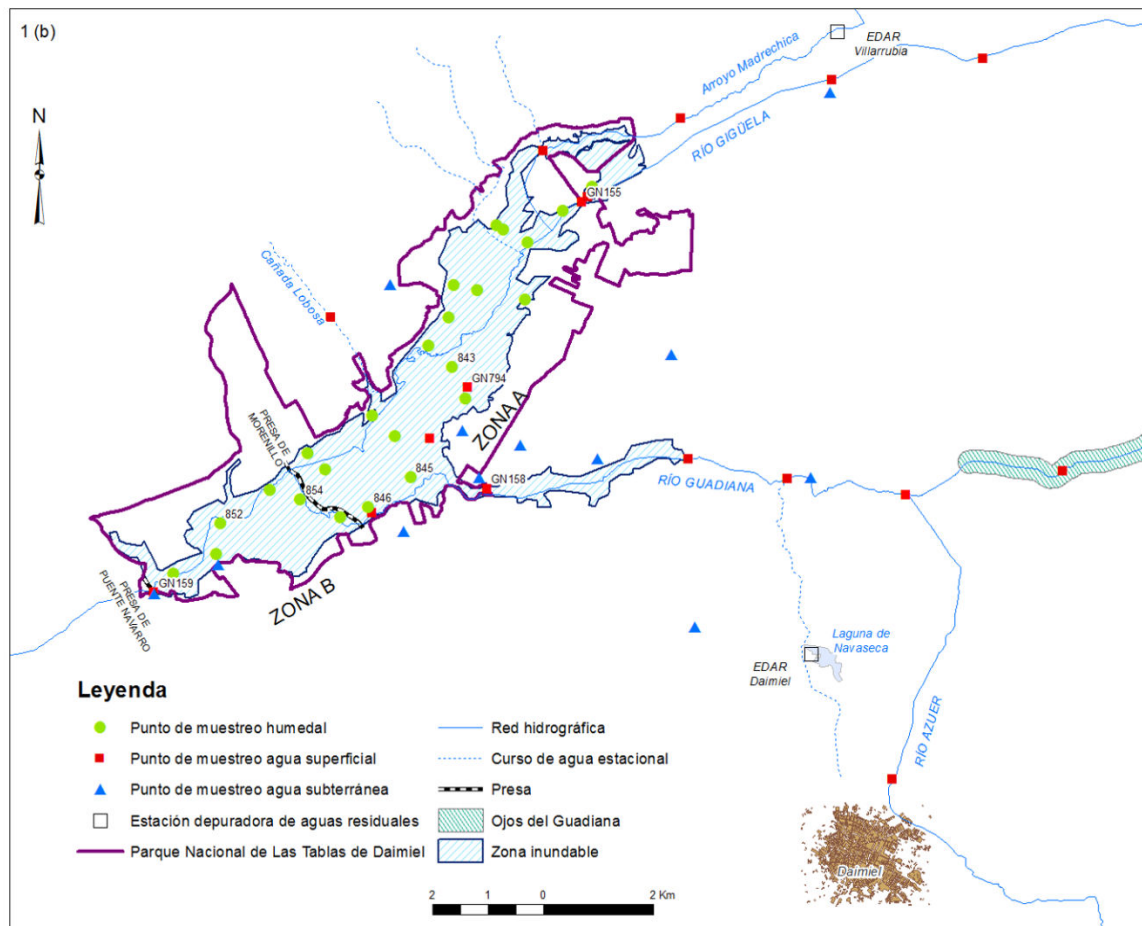


Figura 1. Mapa de situación de los puntos de muestreo y obtención de datos

Para la caracterización de las aguas subterráneas, se muestrearon 12 puntos correspondientes a pozos, sondeos y a una surgencia subterránea junto al cauce del río Guadiana. Se seleccionaron sondeos representativos y en uso, utilizados fundamentalmente para riego agrícola. Igualmente, se muestrearon los efluentes de las estaciones depuradoras de Daimiel y Villarubia de los Ojos, en los puntos de vertido a la laguna de Navaseca y al canal o arroyo de Madrechica, respectivamente. Para el estudio del humedal se realizaron 4 campañas de campo durante 2015-16 (junio y noviembre respectivamente). Durante 2018 se han realizado dos campañas de campo (abril y mayo), en las que el humedal presentaba una alta superficie inundada (~1.125 ha).

Para la caracterización físico-química de la columna de agua, en cada campaña realizada en 2015-16 se realizaron 23 perfiles verticales con sonda multi-paramétrica Hydrolab® DS5, y en 2018, 17 perfiles verticales con sondas multi-paramétricas YSI EXO2 y Hydrolab® DS5. Las medidas obtenidas en cada perfil son pH, potencial redox (ORP), temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), radiación fotosintéticamente activa (PAR), clorofila-a, turbidez y profundidad. Se ha registrado en varios puntos del humedal la luz

(Iluminancia) que alcanza el fondo y la existente sobre la superficie del agua, empleando registradores HOB0 Pendant de Onset. Las aguas del humedal están retenidas en primer lugar por la Presa del Morenillo y a continuación por la Presa de Puente Navarro, estableciéndose dos láminas de agua con diferente cota, denominadas en este estudio Zona A y Zona B, respectivamente (Figura 1). En cada campaña de 2015-16 se muestrearon diez estaciones representativas del humedal, y en 2018 nueve, además de las dos entradas principales que recibe el humedal. Todas las muestras fueron filtradas a 0,45 µm con membrana Millipore y refrigeradas durante su transporte a 4°C. La muestra para elementos traza y metales se acidificó con ácido HNO₃. Todos los análisis químicos han sido llevados a cabo en los laboratorios del IGME, determinándose en todas las muestras componentes mayoritarios y minoritarios, nutrientes, metales y compuestos orgánicos (volátiles, semivolátiles y plaguicidas específicos).

Normativa hidroquímica de referencia utilizada

Los resultados hidroquímicos obtenidos en las distintas campañas de muestreo se han comparado con los valores establecidos en la legislación medioambiental en vigor, para la valoración del estado ambiental del humedal. Esta valoración se basa en el establecimiento de unas concentraciones límite de diversos compuestos químicos que no deben ser superadas para garantizar el buen estado de las aguas superficiales y subterráneas. En el caso de las aguas superficiales, los resultados químicos se han comparado con los valores fijados en el RD 817/2015 de sustancias prioritarias y otros contaminantes, con objeto de conseguir un buen estado químico. Para el caso de las aguas subterráneas se han empleado: i) los valores umbral del vigente Plan Hidrológico del Guadiana (RD 1/2016) para la masa de agua subterránea 040.007 Mancha occidental I, definidos como concentraciones máximas de Cl⁻, Na⁺ y SO₄²⁻. y ii) las normas de calidad del RD 1514/2009 para el caso de NO₃⁻ y sustancias activas de los plaguicidas. Finalmente, para el caso de las aguas residuales se han tenido en cuenta los límites establecidos de concentraciones admisibles en los vertidos de aguas residuales urbanas, realizados en zonas sensibles del RD 509/1996.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hidroquímica de las entradas de aguas superficiales al humedal

Como se aprecia en el diagrama de Piper de todas las aguas muestreadas en la zona de estudio en las campañas de 2015-16, la casi totalidad de las aguas superficiales, subterráneas y las del propio humedal presentan una facies sulfatada cálcica, a excepción de las muestras de aguas residuales. Las concentraciones medias de nutrientes como NO₃⁻ en las aguas de los ríos son inferiores a 15 mg/l en todas las campañas de muestreo, y es en la zona del Guadiana, con presencia de aportes subterráneos, donde las concentraciones llegan a superar los 25 mg/l.

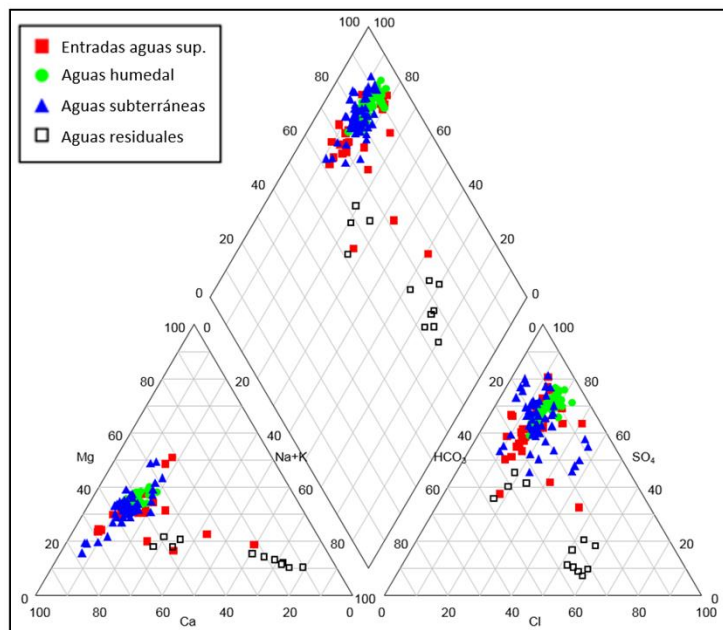


Figura 2. Diagrama de Piper. Aguas muestreadas en las campañas de 2015-16

En el caso del fosfato, y a partir de datos de la CHG, se observa que las concentraciones no superan de media los 0,1 mg/l. En las entradas por el río Gigüela (GN155), las concentraciones son algo superiores y se identifican algunos aumentos atribuidos a vertidos de aguas residuales ocurridos en el pasado (CIRUJANO et al., 2010; 2012) (Figura 3). Con respecto a los elementos minoritarios, en las muestras de las campañas de 2015 y 2016, todas las concentraciones de Cd, Pb, Hg y Ni (sustancias prioritarias) y la de As, Cu, Cr, Zn y CN^- (sustancias preferentes) son muy bajas (generalmente inferiores a 1 $\mu\text{g/l}$) o no detectadas, y siempre están por debajo de las concentraciones límite.

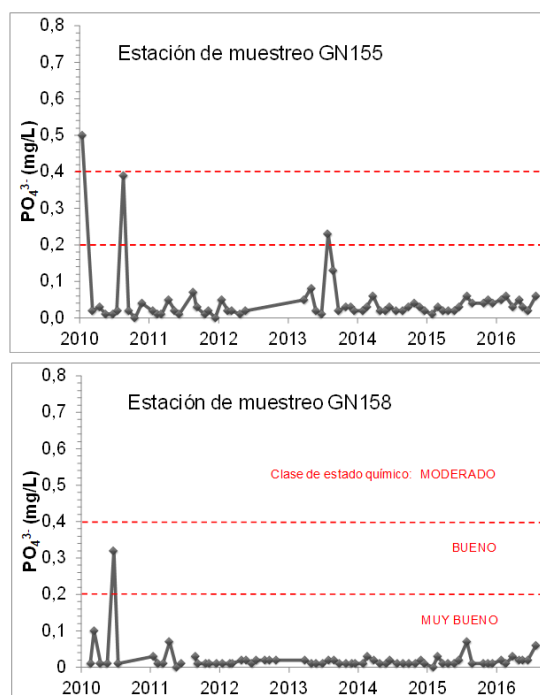


Figura 3. Evolución de las concentraciones de PO_4^{3-} (mg/l) en las aguas superficiales de entrada al humedal de Las Tablas de Daimiel por el río Gigüela (GN155) y por el río Guadiana (GN158). Fuente de los datos: CHG

En los muestreos de aguas residuales en 2015 y 2016, se observa que las concentraciones son mayores en los efluentes de la EDAR de Daimiel a la laguna de Navaseca (concentraciones medias de 8-10 mg/l de N⁻ total y 3-4 mg/l de P-PO₄³⁻ y en el caso del fósforo superan los valores máximos admitidos). Esto pone de manifiesto que, aunque se han mejorado considerablemente las instalaciones en los últimos años, es necesario reducir estos niveles en los efluentes antes de su incorporación a los cauces para minimizar el impacto ambiental sobre el sistema hídrico conectado con el humedal.

En resumen, a partir de los datos hidroquímicos obtenidos, se observa que el estado de las masas de agua superficiales que alimentan al humedal es generalmente aceptable según la normativa de calidad del agua vigente, aunque, si se produjeran nuevos episodios de contaminación que pudieran alcanzar al humedal, se deben de caracterizar hidroquímicamente para determinar su posible origen y su evolución espacial y temporal.

Hidroquímica de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas muestreadas en las anteriores campañas presentan una composición química más homogénea que el resto siendo las facies hidroquímicas predominantes las correspondientes a aguas sulfatadas cálcicas con CE medias del orden de los 2000-3000 μ S/cm. Los contenidos de NO₃⁻ son superiores a los de las aguas superficiales y las del humedal, con concentraciones medias alrededor de 25-30 mg/l, mientras que en la zona del Guadiana las concentraciones alcanzan en varias ocasiones más de 50 mg/l. Para el resto de nutrientes, no se identifican NO₂⁻ ni NH₄⁺ y las concentraciones medias de PO₄³⁻ son < 0,04 mg/l. Igualmente, las concentraciones medias de elementos minoritarios como sustancias prioritarias y preferentes son siempre bajas (As < 0,7 μ g/l; Cr < 0,4 μ g/l; Cu < 2 μ g/l; Pb y Se < 3 μ g/l) y no se han observado indicios de ningún tipo de contaminación.

Hidroquímica de las aguas del humedal

Las aguas de las zonas inundadas de Las Tablas de Daimiel presentan igualmente unas facies fundamentalmente sulfatadas cálcicas. En el humedal, el área de influencia por la entrada del río Gigüela presenta valores de CE más elevados (media 3300 μ S/cm) que el área de influencia por la entrada de los ríos Guadiana y Azuer, las cuales son menos sulfatadas, lo que modifica levemente la hidroquímica del agua (media de 2500 μ S/cm). Los valores medios de nutrientes obtenidos en las campañas de muestreo realizadas y los análisis mensuales realizados por la CHG se consideran bajos, siendo inferiores a 2 mg/l para NO₃⁻, a 0,2 mg/l en el caso de NO₂⁻, a 0,05 mg/l para NH₄⁺ y a 0,03 mg/l para PO₄³⁻. En cuanto al efecto de los nutrientes en el agua sobre el crecimiento de vegetación subacuática, según la Environment Agency del Reino Unido, con concentraciones superiores a 2,5 mg/l de NO₃⁻ y de 0,06 de PO₄³⁻, se reduce la probabilidad de persistencia y establecimiento de Characeas en los humedales (EA, 2009). Igualmente, según CIRUJANO y COBELAS (2010), tras varios años de estudio y seguimiento de las variables físico-químicas del agua del humedal, estiman que un buen desarrollo de carófitos se ha observado con concentraciones de P-total entre 0,06 y 0,4 mg/l (~ 0,2 y 1,2 mg/l PO₄³⁻). Por ello, las concentraciones de nutrientes observadas en los muestreos realizados por el IGME y la CHG no parecen ser a priori, una de las principales causas restrictivas del escaso desarrollo de la vegetación sumergida y, son inferiores o similares a las propuestas en la bibliografía como limitantes a su desarrollo.

Con respecto a los elementos minoritarios, tan solo para el caso del selenio, se supera casi siempre la concentración máxima admisible establecida en 1 µg/l. En las muestras obtenidas, las concentraciones medias oscilan entre 2-5 µg/l, aunque se han alcanzado puntualmente valores de hasta 20 µg/l. El selenio puede presentar un origen natural como resultado de la disolución de rocas sedimentarias, o un origen secundario o antropogénico asociados a procesos biogénicos, actividades industriales como un indicador de la combustión de combustibles fósiles, agrícolas o de aguas residuales. Las concentraciones disueltas en agua están condicionadas tanto por factores químicos y redox como por la actividad microbiológica y, normalmente están en el rango de 0,1 a 10 µg/l e incluso pueden alcanzar 25 µg/l (BEATTY, 2014; USGS, 2009). Debido a los procesos de combustión de material vegetal o turberas que tuvieron lugar durante los períodos de sequía del humedal, podrían considerarse en futuros estudios como posible causa del aumento de su concentración en las aguas.

Compuestos orgánicos

Al desarrollarse una importante actividad agrícola en la zona, se llevaron a cabo análisis de compuestos orgánicos, incluyendo plaguicidas específicos como Atrazina y Terbutilazina. En la Tabla 1 se presentan los datos de los compuestos cuantificables en laboratorio. En las aguas superficiales se han detectado varios compuestos semivolátiles como HCH, Alachlor, Dieldrin, Procymidone y DDT no cuantificables (valores entre el límite de detección del método y el límite de cuantificación) y tan sólo se han alcanzado concentraciones elevadas de DDT (~ 0,1 µg/l) por encima del valor límite ambiental.

	C.S.	Agua superficial		Agua humedal		Agua subterránea	
		n	C. máx.	n	C. máx.	n	C. máx.
Acetochlor (4)		10	0,020	4	0,007	11	0,050
Atrazine (3)	0,6	8	0,020	3	0,010	15	0,030
Atrazine desethyl (3)		4	0,02	6	0,050		
Chlorpyrifos (1)	0,03	8	0,030	5	0,1	5	0,020
DDT-p,p' (2)	0,025	4	0,100			3	0,100
Diflufenican (4)		5	0,040			6	0,080
Metolachlor (4)	1	8	0,040	3	0,002	11	0,003
Pendimethalin (5)		5	0,003				
Terbutylazine (3)	1	11	0,070	6	0,01	4	0,010

Tabla 1. Concentraciones máximas de plaguicidas (µg/l) cuantificados en las campañas de 2015-2016. (1= Insecticidas basados en organofosfatos, 2= Insecticidas basados en organoclorados, 3= Herbicidas basados en triacinas y triacinonas, 4= Herbicidas basados en amidas y anilidas, 5= Herbicidas basados en derivados de dinitroanilina; C.S: valores standard de calidad medioambiental de agua superficial RD 817/2015)

En las aguas subterráneas, el número de compuestos orgánicos cuantificados y sus concentraciones son siempre bajos, aunque generalmente son algo superiores a las de las aguas superficiales y del humedal. Los valores son siempre inferiores al límite establecido, salvo valores puntuales del insecticida DDT-4, con concentraciones cercanas a 0,1µg/l. En comparación con las aguas de los ríos y las subterráneas, en las aguas del humedal se han cuantificado un número menor de compuestos orgánicos por lo que, como en otros muestreos específicos (CIRUJANO et al., 2012), se descarta la presencia de contaminantes orgánicos en

el agua. A partir de los datos obtenidos en 2015-16, las concentraciones de Atrazina y Terbutilazina (herbicidas comúnmente utilizados en la zona) presentan unos valores medios de 0,01 µg/l (n=3) y 0,005 µg/l (n=6), muy por debajo de los valores límites ambientales. Tan sólo para el caso del insecticida Chlorpyrifos se sobrepasa el límite puntualmente en el sector central del humedal. Por otra parte, de los más de 70 compuestos orgánicos analizados mensualmente en la estación GN159 (zona final del humedal) en el período 2010-2016 por la CHG, tan sólo se han sobrepasado una vez el valor ambiental máximo del insecticida Aldrín (0,01 µg/l), en el resto de muestras (n=60) no fue cuantificable.

De los compuestos orgánicos semivolátiles analizados en el humedal en 2018, tan sólo se han detectado (sin ser cuantificable) la presencia de los herbicidas Atrazina, Terbutilazina y Metoalchlor como en ocasiones anteriores. Con respecto a los compuestos orgánicos volátiles, se ha detectado Benceno en concentraciones cuantificables en 4 estaciones. Los valores oscilan entre 0,18 y 0,30 µg/l (el valor de concentración máxima como media anual está fijado en 10 µg/l) y se dan en 2 puntos a la entrada de los aportes del río Guadiana y, otros 2, en la parte final del humedal próximos a la orilla de la presa de Puente Navarro. Al tratarse de una sustancia presente en hidrocarburos derivados del petróleo como gasóleos, parece tratarse de contaminación puntual por restos de combustible.

Caracterización físico-química de la columna de agua en el humedal

Con respecto a los valores de turbidez que se han tomado en las diversas campañas (entre 2015-18), lo primero que se puede decir es que son valores muy heterogéneos. La zona A del humedal ha mostrado en todas las ocasiones mayor turbidez que la zona B (Figura 4). También se ha podido constatar a través de las medidas obtenidas en 2018 que la turbidez se redujo en ambas zonas, si los comparamos con valores obtenidos en 2016. Aunque en los humedales es muy frecuente que la turbidez del agua esté asociada a la abundancia de fitoplancton, no se ha observado una correlación clara entre ambas medidas. Si nos fijamos en la Figura 5, observamos que a pesar de que los valores de turbidez obtenidos en 2018 son inferiores a los de 2016, se han obtenido valores de clorofila mayores en ambas zonas (rango 7-21 µg/l) que los obtenidos en 2016 (rango 2-9 µg/l), por lo que se intuye que otra causa está generando turbidez en el agua. En lagos de escasa profundidad sin vegetación sumergida, como es el caso, se ha descrito el aumento de la turbidez por la actividad de peces bentónicos, especialmente de la carpa común (p. ej. ZAMBRANO et al., 2001; PARKOS III et al., 2003; ROOZEN et al., 2007; TORRES et al., 2009; LEUNDA, 2010; KLOSKOWSKI, 2011; VILIZZI & TARKAN, 2015; KAEMINGK et al., 2016). En el humedal, la población de peces como la carpa o el perca-sol todavía es importante a pesar de las capturas que se vienen realizando anualmente desde 2014 a 2018. La alta actividad de los peces bentónicos parece que está generando un fuerte impacto en el medio acuático, observándose: i) un incremento de la turbidez, debido a la suspensión del sedimento, ii) estas especies además, destruyen la vegetación sumergida por ingesta o desenraizamiento, iii) la ausencia de vegetación reduce la cohesión de los sedimentos favoreciendo su re-suspensión tanto por la actividad de los peces como por el viento, vi) la re-suspensión de los sedimentos puede aumentar los nutrientes en agua y favorecer el desarrollo del fitoplancton, aumentando la turbidez y v) la turbidez genera una fuerte atenuación de la radiación PAR, condicionando seriamente el crecimiento de las carófitas.

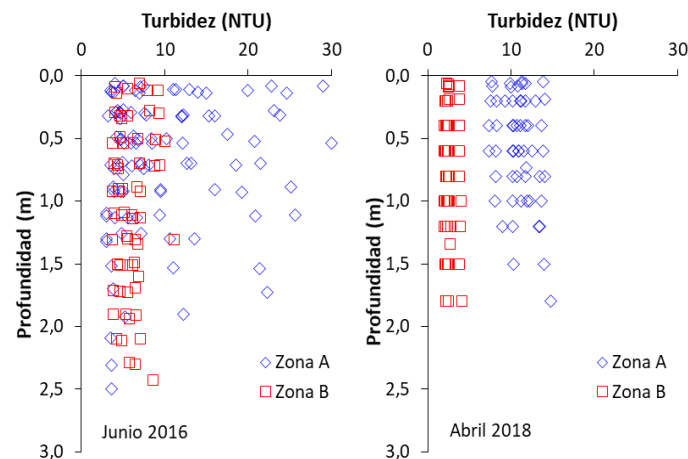


Figura 4. Turbidez en la columna de agua, en zona A (rombos) y zona B (cuadrados), en junio 2016 y abril 2018

Respecto a los últimos valores obtenidos de la atenuación de la radiación PAR, se puede decir, que se ha observado una mejoría si se compara con medidas anteriores. En junio de 2016 a 0,5 m de profundidad la atenuación de la PAR era de un casi 80%, mientras que en 2018 a esa misma profundidad la atenuación de la PAR alcanza valores de un 60%. Además en 2018 se instalaron registradores de iluminancia, para conocer si el fondo del humedal está lo suficiente iluminado para que los macrófitos puedan realizar la fotosíntesis. Tras los primeros datos obtenidos, se puede decir que los registradores en la zona B, muestran valores compatibles con la realización de la fotosíntesis por las caráceas, mientras que los valores obtenidos en la zona A, tienden a estar cerca o claramente por debajo de los valores necesarios para esta actividad, pudiéndose clasificar como zona afótica.

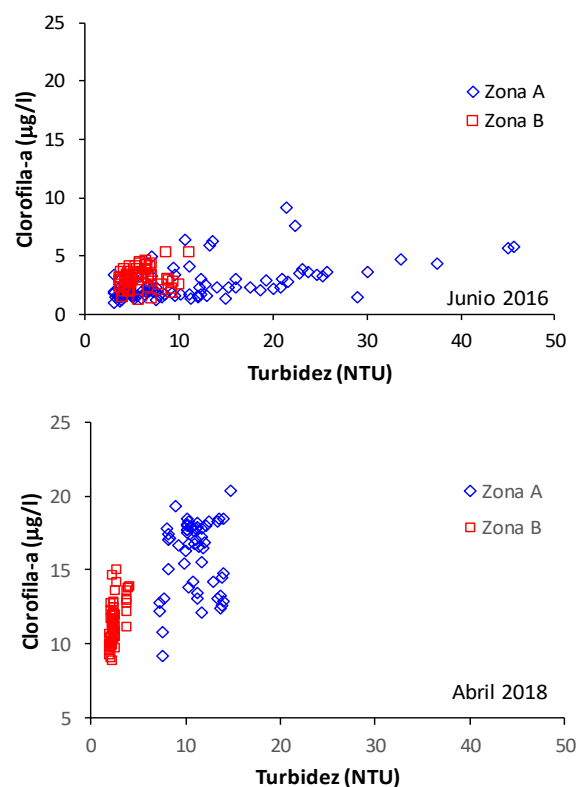


Figura 5. Valores de clorofila frente a valores de turbidez en zona A (rombos) y zona B (cuadrados) del humedal, valores de junio 2016 y abril 2018

CONCLUSIONES

Los datos hidroquímicos obtenidos en las campañas de muestreo (2015-16) y los facilitados por la CHG (2010-16) indican que, tanto las concentraciones de los iones mayoritarios, elementos traza y metales, como las de los compuestos orgánicos (herbicidas y plaguicidas) del conjunto de aguas analizadas, no superan, en la práctica totalidad de las muestras, los valores máximos recomendados ni las normas de calidad límite recogidas en las legislaciones medioambientales vigentes. Por ello, a partir de los datos obtenidos de las aguas que entran a Las Tablas desde los cauces superficiales circundantes, de las aguas subterráneas y las de la propia superficie encharcada del Parque, no se han identificado compuestos que ni por sus valores de concentración, ni por su persistencia, ni por su distribución espacial indiquen una contaminación que, de manera significativa, incida en una deficiente calidad del agua. Por tanto, a partir de los datos hidroquímicos obtenidos, se observa que el estado de las masas de agua que alimentan al humedal es generalmente aceptable según la normativa de calidad del agua vigente. A pesar de estos indicadores de calidad, en las campañas efectuadas en 2015-16, el humedal siempre mostró turbidez, actuando como un factor limitante para la penetración de la radiación PAR en la columna de agua, factor que además condiciona el crecimiento de las caráceas, las cuales constituyen el principal alimento de las anátidas del Parque. La alta actividad de los peces bentónicos parece que está generando un fuerte impacto en el medio acuático, ayudando al incremento de la turbidez, debido a la re-suspensión del sedimento, acción que a su vez ayuda a incrementar los nutrientes en el agua y favorece el desarrollo del fitoplancton, lo que en su conjunto incrementa a este parámetro.

Tras las primeras campañas de campo de 2018, se puede decir, que existe cierta mejora en las condiciones y aspecto de algún sector del humedal, que presentan aguas transparentes sin turbidez, menor concentración de clorofila-a, mayor penetración de la luz, y bajas concentraciones en nutrientes, lo que en su conjunto ha favorecido el desarrollo de ovas en el humedal. Esta nueva situación aviva la esperanza de que el humedal evolucione hacia su estado ecológico inicial, ya que la eclosión y desarrollo de esta planta acuática bentónica es clave para la recuperación de la avifauna y el ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido llevado a cabo por el Instituto Geológico y Minero de España con el apoyo de la Fundación Biodiversidad (Ministerio para la Transición Ecológica). Los autores queremos agradecer las facilidades y el apoyo logístico facilitado desde la Dirección del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel en todas las campañas de campo realizadas y a Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana por los datos facilitados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ-COBELAS, M.; CIRUJANO, S.; COBO, F.; VIEIRA, R. y SEGURA MATÍNEZ, M., (2016). *Estudio de la cadena trófica del P.N. de las Tablas de Daimiel*. Technical report. OAPN., Madrid, 183 pp.
- BEATTY, J.M., (2014). *Ambient water quality Guidelines for Selenium*. Technical Report Update. Water Protection and Sustainability Branch. British Columbia Ministry of Environment. ISBN 978-0-7726-6740-3.
- CIRUJANO, S.; ÁLVAREZ COBELAS, M.; GUERRERO MALDONADO, N. y MECO MOLINA, A., (2012). *Informe sobre la calidad del agua y de los sedimentos en el P.N.de las Tablas de Daimiel*, 57 pp. I. Técnico.

- KAEMING, M.A.; JOLLEY, J.C.; PAUKERT, C.P.; WILLIS, D.W.; HENDERSON, K.; HOLLAND, R.S.; WANNER, G.A. & LINDVALL, M.L. (2016). *Common carp disrupt ecosystem structure and function through middle-out effects*. Mar. Freshwater Res. <http://dx.doi.org/10.1071/MF15068>
- KLOSKOWSKI, J. (2011). *Impact of common carp *Cyprinus carpio* on aquatic communities: direct trophic effects versus habitat deterioration*. Fundam. Appli. Limnol. 178, 245-255.
- LAGUNA, C.; LÓPEZ, J.J.; VIÑUELA, J.; FLORÍN, M.; FELIU, J.; CHICOTE, A. & CIRUJANO, S., (2016). *Effects of invasive fish and quality of water and sediment on macrophytes biomass, and their consequences for the waterbird community of a Mediterranean floodplain*. Sci. Total Environ. 551-552, 513-521.
- LEUNDA, P.M. (2010). *Impacts of non-native fishes on Iberian freshwater ichthyofauna: current knowledge and gaps*. Aquat. Invasions 5, 239-262.
- MEJÍAS, M.; BENÍTEZ, L.; LÓPEZ SÁEZ, J.A. Y ESTEBAN, C. (2015). *Arqueología, hidrogeología y medio ambiente en la Edad del Bronce de La Mancha. La Cultura de las Motillas*. IGME. Madrid, 119 pp.
- MORENO, F.J. (2014). *El aprovechamiento hidráulico del Guadiana. Los molinos de ribera. Siglos XV-XIX*. In: Mejías, M. (ed.). *Las Tablas y Los Ojos del Guadiana: agua, paisaje y gente*. IGME-OAPN, Madrid, 15-64
- PARKOS III, J.J.; SANTUCCI, V.J. Y WAHL, D.H., (2003). *Effects of adult common carp (*Cyprinus carpio*) on multiple trophic levels in shallow mesocosms*. Can. J. Aquat. Sci. 60, 182-192.
- ROOZEN, F.C.J.M.; LÜRLING, M.; VLEK, H.; VAN DER POUW KRAAN, A.J.; IBELINGS, B.W. & SCHEFFER, M. (2007). *Resuspension of algal cells by benthivorous boosts phytoplankton biomass and alters community structure in shallow lakes*. Freshwater Biol. 52, 977-987.
- TORRES, J.A; ARENAS, R. y FERNÁNDEZ, C. (2009). *La Malvasía cabeciblanca de nuevo en la Laguna de Zóñar*. OXYURA, Vol. 12, nº 1.
- U.S.G.S (2009). *Analysis of Dissolved Selenium Loading from Surface Water and Groundwater to Sweitzer Lake, Colorado, 2006–07*. Scientific Investigations Report 2009–5048. Geological Survey of U.S.
- VILIZZI, L. & TARKAN, A. (2015). *Experimental evidence for the effects of common carp on freshwater ecosystems: A narrative review with management directions for Turkish waters*. Limnofish 1 (3), 123-149.
- ZAMBRANO, L.; SCHEFFER, M. & MARTÍNEZ-RAMOS, M., (2001). *Catastrophic response of lakes to benthivorous fish introduction*. Oikos 94, 344-350.