

- Oliveira, M.R.L. 1984a. Contribuição para o conhecimento das comunidades fitoplanctónicas das albufeiras a sul do Tejo. *Bol. Inst. Nac. Invest. Pescas* 11: 3-27.
- Oliveira, M.R.L. 1984b. Dinâmica sazonal do fitoplâncton numa albufeira eutrofizada: "blooms" e sucessão de espécies na albufeira do Divor. *Bol. Inst. Nac. Invest. Pescas* 11: 45-57.
- Oliveira, M.R.L. 1984c. Estrutura da comunidade fitoplanctónica e dinâmica dos "blooms" na albufeira do Maranhão. *Bol. Inst. Nac. Invest. Pescas* 12: 37-69.
- Oliveira, M.R.L. 1985. Phytoplankton communities response to a mine effluent rich in copper. *Hydrobiologia* 128: 61-69.
- Oliveira, M.R.L. 1987. *Estrutura de comunidades fitoplanctónicas em albufeiras portuguesas*. Dissertação para acesso à categoria de investigador auxiliar. Instituto Nacional de Investigação das Pescas, Lisboa. 307 pp.
- Oliveira, M.R.L. 1992. Structure and strategies of development of a phytoplankton community dominated by *Aphanocapsa elachista* var. *planctonica*. *Bol. Inst. Nac. Invest. Pescas* 17: 33-47.
- Oliveira, M.R.L. & A.M.P. Caldas. 1970. *Contribuição para o estudo do fito e zooplâncton do Rio Almonda. Estudos e Informação*. Direcção-Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Secretaria de Estado da Agricultura. Lisboa. Número 250: 1-37.
- Oliveira, M.R.L. & A.M.P. Caldas. 1971. *Espécies Planctónicas e de Fundo do Rio Almonda*. Estudos e Divulgação Técnica. Grupo A – Secção Aquicultura. Direcção-Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Secretaria de Estado da Agricultura. Lisboa. 42 pp.
- Oliveira, M.R.L.; M.T. Monteiro; G. Cabeçadas; C. Vale & M.J. Brogueira. 1985. A mine waste discharge rich in copper – an example of effects on planktonic communities. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 2395-2404.
- Pereira, E.; I. Anne; M.L. Fidalgo & V.M. Vasconcelos. 2001. Phytoplankton and nutrient dynamics in two ponds of the Esmoriz wastewater treatment plant (Northern Portugal). *Limnetica* 20: 245-254.
- Prygiel, J. & M. Coste. 2000. *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées, NF T90-394*. Agence de L'Eau Artois-Picardie, CEMAGREF. Bordeaux. 134 pp.
- Rino, J.A. & M.C. Gil. 1987. Diatomáceas do rio Cértima – estudo preliminar. *Rev. Biol. U. Aveiro* 1: 53-103.
- Saker, M.L.; I.R. Nogueira; V.M. Vasconcelos; B.A. Neilan; G.K. Eaglesham & P. Pereira. 2003a. First report and toxicological assessment of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* from Portuguese freshwaters. *Ecotox. Environ. Saf.* 55: 243-250.
- Saker, M.L.; I.R. Nogueira; V.M. Vasconcelos & P. Pereira. 2003b. Distribution and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii* (cyanobacteria) in Portuguese Freshwaters. *Limnetica* 22: 131-138.
- Santos, L.M.A.; S.C. Craveiro & A.J. Calado. 1996. Silica-scaled chrysophytes from three amesosaprobic water bodies of central Portugal. *Nova Hedwigia, Beiheft* 114: 171-191.
- Sládeček, V. 1973. System of Water Quality from the Biological Point of View. *Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol.* 7: 1-218.
- Sládeček, V. 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 14: 555-566.
- Vasconcelos, V.M. 1991. Species composition and dynamics of the phytoplankton in a recently-commissioned reservoir (Azibo – Portugal). *Arch. Hydrobiol.* 121: 67-78.
- Vasconcelos, V.M. 1993. Toxicity of cyanobacteria in lakes of North and Central Portugal. Ecological Implications. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 694-697.
- Vasconcelos, V.M. 1994. Toxic cyanobacteria in Portuguese freshwaters. *Arch. Hydrobiol.* 13: 439-451.
- Vasconcelos, V.M. 1995. *Toxicologia de cianobactérias. Distribuição de cianobactérias tóxicas e suas toxinas em águas doces portuguesas. Bioacumulação em bivalves*. PhD Thesis. Faculdade de Ciências do Porto. 112 pp.
- Vasconcelos, V.M. 2001. Toxic freshwater cyanobacteria and their toxins in Portugal. In: *Cyanotoxins – Occurrence, Effects, Controlling Factors* (ed. by Chorus I.), pp. 64-69. Springer Verlag, Heidelberg.
- Vasconcelos, V.M. & E. Pereira. 2001. Cyanobacteria diversity and toxicity in a wastewater treatment plant (Portugal). *Wat. Res.* 35: 1354-1357.
- Zelinka, M. & P. Marvan. 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Arch. Hydrobiol.* 57: 389-407.

Muestreo del fitobentos en ríos, lagos y humedales: requisitos y recomendaciones para la Directiva Marco del Agua, con especial enfoque a los trabajos desarrollados sobre diatomeas en la

Cuenca del Duero

Saúl Blanco^{1,2}, Luc Ector² y Eloy Bécáres¹

1: Área de Ecología - Universidad de León

24071-LEÓN

degbsl@unileon.es

2: Centre de Recherche Public-Gabriel Lippmann, CREBS, 41 rue du Brill; L-4422 Belvaux

LUXEMBOURG

ector@lippmann.lu

Introducción

El empleo de algas (especialmente diatomeas) como indicadores ecológicos de la

calidad del agua está suscitando desde hace varias décadas un creciente interés por estos organismos en todo el mundo.

Decenas de estudios en Europa avalan la eficacia de los índices biológicos basados en diatomeas y en otras algas para el control del estado ecológico del agua, fundamentalmente en medios lóticos (Descy, 1976; Lange-Bertalot, 1979; Round, 1991; Whitton et al., 1991; Eloranta, 1995; 1999; Whitton & Rott, 1996; Dell'Uomo et al., 1999; Prygiel et al., 1999b; Rott et al., 2003). Dentro de los índices diatomológicos, los más empleados hasta ahora en Europa (Ector & Rimet, 2005) son el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS, Coste en CEMAGREF, 1982) en Austria, Bélgica, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Inglaterra, Italia, Luxemburgo, Portugal, Polonia, Suecia, Suiza, etc.; el índice CEE en Andorra, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Luxemburgo, Portugal; el Índice Biológico de Diatomeas (IBD, Lenoir & Coste, 1996; AFNOR, 2000) en Francia, Luxemburgo, Hungría, España y Portugal; los índices sapróbicos y tróficos de Rott (Rott et al., 1997; 1999) en Austria; y el índice de eutrofización/polución de Dell'Uomo (Dell'Uomo, 2004) en Italia.

En el ámbito de la Unión Europea, la Directiva Marco del Agua -DMA- (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea, 2000) contempla el uso de bioindicadores basados en fitobentos para la determinación de la calidad ecológica de las masas de agua epicontinentales con respecto a determinadas condiciones de referencia. La aplicación de esta Directiva en España ha llevado a diversos grupos de investigación al muestreo sistemático de varias cuencas hidrográficas y al establecimiento en ellas de redes de biomonitorización basados en el empleo de índices diatomológicos. Las diatomeas epilíticas en los ríos de varias cuencas y regiones hidrográficas ya han sido muestreadas en la Península Ibérica (p. ej. Aragón en 2002-2003, Cataluña en 2002-2003, Duero en 2004, Ebro en 2002-2003, Galicia-costa en 2003, Guadalquivir en 2004, Júcar en 2000, Norte en 2003-2004, País Vasco en 2003-2004, Portugal en 2004) Así, durante los últimos años han surgido varios trabajos publicados sobre las comunidades de diatomeas bentónicas y su empleo como bioindicadores, principalmente en ríos del norte de España (Tomás & Sabater, 1985; Sabater et al., 1987; 1996; 2003; Merino et al., 1994; 1995; Leira & Sabater, 2002; 2005; Cambra et al., 2003; Gomà et al., 2004; 2005) y también en Portugal (Almeida et al., 1999; Almeida & Gil, 1998; 2000; 2001; Nunes et al., 2003).

El empleo de indicadores específicos para sistemas leníticos, sin embargo, no está tan desarrollado en España, aunque la relación entre las comunidades de diatomeas perifíticas y los parámetros ambientales en estos ecosistemas está

demostrada (Hawes & Smith, 1993; Hoffman, 1994; Mayer & Galatowitsch, 1999; Blanco et al., 2003; Kitner & Poulícková, 2003). Dentro de este tipo de sistemas, destacan las lagunas someras y los humedales por su abundancia y diversidad en toda la meseta ibérica. Se trata de zonas de gran riqueza biológica que, sin embargo, han sido escasamente estudiadas y no gozan de estados de conservación adecuados. La necesidad de desarrollar bioindicadores específicos para estos ecosistemas es evidente.

Muestreo de diatomeas bentónicas en los ríos de la cuenca del Duero

La Confederación Hidrográfica del Duero, en colaboración con el Área de Ecología de la Universidad de León y el Centro Público de Investigación Gabriel Lippmann de Luxemburgo, comenzó en 2004 el establecimiento de una red de biomonitorización de la calidad del agua en los cursos fluviales de la cuenca del río Duero mediante el uso de índices diatomológicos. En verano de este año se efectuó un primer muestreo preliminar sobre 140 puntos seleccionados a partir de las estaciones de la Red Integral de la Calidad de las Aguas (ICA), a fin de conocer mejor las comunidades de diatomeas de los ríos de la cuenca del Duero y de poder comparar los resultados obtenidos mediante los índices biológicos con el registro de parámetros fisicoquímicos de estas estaciones. La metodología empleada para el muestreo de comunidades de diatomeas epilíticas de ríos fue la estandarizada en diversas normativas de Francia y de la Unión Europea (AFNOR, 2000; 2003; European Committee for Standardization, 2003; 2004). La recogida, procesado y análisis sistemático de diatomeas bentónicas para la determinación de la calidad del agua se discute ampliamente en Kelly et al. (1998). El resultado final conduce al cálculo de varios índices diatomológicos, habitualmente mediante el programa OMNIDIA (Lecoite et al., 1993; 1999), originando un valor numérico que expresa la calidad general del agua en ese punto con respecto a los valores extremos que puede adoptar teóricamente cada índice. Los índices se someten periódicamente a ensayos de intercalibración (Prygiel et al., 1999a; 2002) a fin de ajustar su valor indicador.

La aplicación de esta metodología general requiere en la práctica de una adaptación a las peculiaridades de cada sistema hidrográfico. Los cursos fluviales de la cuenca del Duero, la más extensa de la Península Ibérica, son muy diversos desde el punto de vista hidrogeológico, asentándose sobre sustratos de muy variada naturaleza. Adicionalmente, la mayoría de los ríos en esta región están regulados artificialmente, lo

cual supone una alteración muy significativa en su hidrodinamismo natural que es necesario tener en cuenta al planificar las campañas de muestreo. El protocolo de muestreo exige considerar preferentemente tramos con corriente, ya que las muestras recogidas en zonas leníticas y semileníticas, o situadas río abajo de los embalses, contienen frecuentemente especies planctónicas o células muertas procedentes de cursos superiores que no se corresponden con la comunidad de diatomeas característica de ese punto. Algunas estaciones de la red ICA, no obstante, se asientan sobre tramos de escasa o nula corriente, en las proximidades de presas y azudes, lo que obliga frecuentemente a buscar zonas anejas más propicias para poder realizar el muestreo según las normas europeas, pero lo suficientemente próximas como para mantener la representatividad de los datos fisicoquímicos recogidos por la estación. No obstante, siempre se efectúa además una medición *in situ* de los principales parámetros (pH, O₂ disuelto, temperatura y conductividad específica) para caracterizar específicamente cada punto de muestreo.

La mayor parte de la cuenca del Duero se sitúa dentro de la región climática mediterránea, lo cual condiciona el régimen hidrológico de sus cauces fluviales en función de la distribución estacional de las precipitaciones característica de este clima. Las normativas proponen realizar los muestreos en el momento en el que los potenciales contaminantes se encuentren más concentrados, siendo la época estival aquella en la que usualmente los caudales de los ríos no regulados son mínimos. Sin embargo, es frecuente encontrar en esta época cauces secos o con un canal de estiaje cuyas dimensiones no son representativas de todo el lecho fluvial. Aún en el caso de hallar un caudal suficiente, es necesario tener en cuenta que el sustrato a muestrear ha de haber permanecido sumergido durante las últimas cuatro semanas, condición que no resulta fácil hallar en años especialmente áridos.

La heterogeneidad de sustratos inertes disponibles para la toma de muestras puede suponer un inconveniente adicional. La disponibilidad de piedras y rocas en determinados tramos puede ser nula o en todo caso insuficiente como para considerarse representativa del ambiente muestreado. Esta situación es particularmente frecuente en ciertos cauces de la margen izquierda del río Duero, que discurren por terrenos arenosos y limosos. Para estos casos, se recomienda muestrear sobre superficies duras verticales, tales como diques o pilares de puentes, o bien sobre macrófitos sumergidos. En cualquier caso, conviene evitar muestrear sobre

comunidades epipélicas o epipsámicas. Por último, es necesario resaltar la considerable diversidad litológica de los lechos fluviales muestreados (calcáreos, silíceos, margosos); sin embargo esta heterogeneidad no parece afectar el resultado de los índices diatomológicos más usuales (Kelly et al., 1998).

Muestreo de algas epifíticas en sistemas leníticos de la Submeseta Norte

El Área de Ecología de la Universidad de León está llevando a cabo actualmente diversos proyectos de investigación sobre lagos y lagunas someras de la depresión del Duero, ecosistemas caracterizados por una notable diversidad florística y faunística, actualmente bajo diversas figuras de protección. Uno de los objetivos de estos estudios es el desarrollo de bioindicadores específicos para evaluar su estado ecológico. Durante los veranos de 2003 y 2004 se llevaron a cabo sendas campañas de muestreo en una treintena de lagunas someras de Castilla y León. Se realizó un análisis detallado de los parámetros fisicoquímicos del agua y se recogieron muestras de toda la comunidad biológica presente, incluyendo algas fitoplanctónicas y epifíticas, tanto sobre vegetación emergente como sumergida. Para ello se utilizaron muestreadores Kornijow (Kornijow & Kairesalo, 1994; Kornijow, 1998), que han demostrado su eficacia en el muestreo de fauna asociada a plantas. Los resultados preliminares (Blanco et al., en prep.) ponen de manifiesto la importancia de la comunidad perifítica en el conjunto de la biocenosis lacustre y su influencia en el desarrollo de la vegetación acuática.

En España, diversos estudios recientes han mostrado la potencialidad de las diatomeas como indicadores del estado ecológico en ambientes lacustres, tanto en humedales costeros (Trobajo, 2003) como en lagos de montaña (Linares, 2003) y lagunas someras (Blanco et al., 2004). El muestreo de diatomeas perifíticas en sistemas leníticos someros necesita sin embargo una previa estandarización de los métodos de recogida de muestras al nivel europeo y de la Península Ibérica, ya que el epilíton está generalmente ausente. Las comunidades epifíticas, por su parte, pueden verse condicionadas por la naturaleza de las distintas especies de plantas hospedadoras - superficies colonizables, efectos alelopáticos diferenciales (Cattaneo & Kalff, 1980; Blindow, 1987) - especialmente en lagos oligotróficos (Eminson & Moss, 1980). No obstante, Blanco et al. (2004) concluyen que los tallos de los macrófitos emergentes (helófitos como *Typha* sp., *Scirpus* sp., *Phragmites* sp., etc.) son el sustrato más adecuado para estudios de biomonitorización, en base a una

serie de ventajas que presentan con respecto a otros posibles sustratos:

- Son plantas comúnmente distribuidas y presentes bajo un amplio espectro de condiciones ambientales, lo cual permite la obtención de resultados comparables y reproducibles en todo Europa.
- Presentan superficies verticales que minimizan la acumulación de células muertas. Además, su arquitectura es sencilla, posibilitando la medida directa de la superficie muestreada y por lo tanto estudios cuantitativos (p. ej. de productividad).
- La comunidad epifítica no se altera significativamente en función del estado fenológico de estas plantas (Caput & Plenkovics-Moraj, 2000), y su composición se relaciona estrechamente con las características ambientales del medio (Lakatos, 1989; Ács et al., 1994) más que con las de la planta sustrato (Cattaneo et al., 1998).
- Estudios comparativos (Hoffman, 1994; Lenoir & Coste, 1994) no han encontrado diferencias significativas utilizando índices diatomológicos a partir de comunidades epilíticas y epifíticas.

En comparación con los resultados obtenidos en ríos, los trabajos realizados hasta el momento en la meseta Norte demuestran que las diatomeas epifíticas son mejores indicadores de la calidad del agua en lagos someros y humedales (Blanco et al., 2004) que los macroinvertebrados bentónicos (García-Criado et al., 2005).

Conclusión y recomendaciones

La implementación de las redes de biomonitorización de la calidad del agua mediante diatomeas en los sistemas fluviales españoles está aún en su fase inicial. Los estudios realizados hasta ahora han demostrado, en términos generales, la aplicabilidad en nuestras aguas de los índices diatomológicos diseñados inicialmente para ríos centroeuropeos. Sin embargo, como hemos señalado, es necesario tener en cuenta las peculiaridades de cada cuenca a la hora de diseñar una metodología de muestreo específica. En cualquier caso, es esencial seguir en la medida de lo posible los protocolos normalizados de muestreo si se desean obtener resultados comparables a nivel de la Unión Europea. A este respecto, se debe hacer un énfasis especial en la importancia que tiene la fase de recogida de muestras. Es necesario estudiar en cada estación el comportamiento del curso de agua y la morfología del cauce para seleccionar el punto de muestreo óptimo, recogiendo en él una cantidad de muestra que sea representativa de la comunidad presente.

Como consecuencia de estos estudios, se están completando los inventarios taxonómicos de diatomeas para las distintas cuencas, en las que se

están describiendo decenas de nuevas especies para la ficoflora ibérica (Gomà et al., 2004; Monnier et al., 2004) con respecto al catálogo existente (Aboal et al., 2003), lo cual tiene de por sí gran interés a nivel florístico y también biogeográfico. Paralelamente a los trabajos ecológicos, no hay que olvidar los análisis puramente taxonómicos necesarios para contribuir a la estabilidad nomenclatorial y a estudios de biodiversidad. En este sentido, es recomendable la creación de ficotecas de referencia, iconografías y bases de datos estandarizadas que permitan avanzar sistemáticamente en el estudio de cada cuenca. Igualmente, la elaboración por expertos de guías metodológicas con la descripción de las principales especies características de las distintas grandes cuencas hidrográficas sería de gran ayuda para la formación de personal técnico en el análisis de muestras, así como la organización de cursos anuales de formación a la taxonomía y ecología de las diatomeas y de ejercicios de intercalibración al nivel regional, estatal y europeo.

La DMA establece igualmente la necesidad de definir diferentes ecorregiones y tipologías de ríos dentro de cada una de las cuencas fluviales mediante una relación de parámetros físicos (geología, altitud, etc.). En la actualidad, los trabajos prioritarios deben orientarse a la definición, dentro de cada ecorregión y tipo fluvial, de las condiciones de referencia respecto de las cuales evaluar la calidad del agua (Nijboer et al., 2004; Moog et al., 2004), como desviación respecto al estado de alta calidad. Esta desviación se mide a través de un Cociente de Calidad Ecológica (EQR) entre el estado actual de la masa de agua y su estado óptimo o de referencia. Las condiciones de referencia se corresponden con las de una masa de agua donde los impactos antropogénicos son mínimos o nulos (Ector & Rimet, 2005), y representan el estado ecológico óptimo de cada ecorregión.

Con respecto a los sistemas leníticos, parece claro que las diatomeas deben ser incluidas como una de las comunidades prioritarias en el establecimiento de su calidad, pudiendo ayudar a dirimir los importantes problemas encontrados con otras comunidades citadas en la Directiva Marco del Agua. Sin embargo aún son necesarios más estudios sobre la ecología de las diatomeas en estos sistemas. Especial atención requiere el análisis de las interacciones perifiton-sustrato y perifiton-fitoplancton, así como la determinación precisa de los rangos autoecológicos de las principales especies, fundamento de todos los índices diatomológicos. Los estudios pueden hacerse extensivos hacia otros ambientes acuáticos poco conocidos, como el fitoplancton fluvial, las charcas efímeras o las turberas.

En conclusión, es evidente que los estudios de bioindicación serán uno de los objetivos prioritarios de la presente generación de algólogos en toda Europa. Los resultados científicos futuros y, en definitiva, la conservación y protección de los diversos ambientes acuáticos, dependerá en gran medida de nuestra capacidad actual de elaborar un trabajo sistemático y estandarizado en el ámbito de cada cuenca hidrográfica, de toda la Península Ibérica y también en cada una de las grandes ecorregiones definidas en Europa.

Referencias

- Aboal, M.; M. Álvarez-Cobelas; J. Cambra & L. Ector. 2003. *Floristic list of non-marine diatoms (Bacillariophyceae) of Iberian Peninsula, Balearic Islands, and Canary Islands. Updated taxonomy and bibliography*. Diat. Monogr. 4. ARG Gantner Verlag K.R.
- Ács, É.; K. Buczkó & G. Lakatos. 1994. Changes in the mosaic-like water surfaces of the Lake Velence as reflected by reed periphyton studies. *Studia. Bot. Hung.* 25: 5-19.
- AFNOR. 2000. *Norme française NF T90-354. Qualité de l'eau - Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD)*. Juin 2000. Association Française de Normalisation, 64 pp.
- AFNOR. 2003. *Norme française NF EN 13946. Qualité de l'eau - Guide pour l'échantillonnage en routine et le prétraitement des diatomées benthiques de rivières*. Juillet 2003. Association Française de Normalisation, 18 pp.
- Almeida, S.F.P. & M.C. Gil. 1998. As diatomáceas na avaliação biológica da qualidade das águas doces superficiais. *Revista Biol (Lisboa)* 16: 169-175.
- Almeida, S.F.P. & M.C. Gil. 2000. As diatomáceas e a qualidade das águas na bacia do Vouga. *Revista Biol (Lisboa)* 18: 157-165.
- Almeida, S.F.P. & M.C. Gil. 2001. Ecology of freshwater diatoms from the central region of Portugal. *Cryptog. Algol.* 22: 109-126.
- Almeida, S.F.P.; M.J. Pereira; M.C. Gil & J.M. Rino. 1999. *Freshwater algae in Portugal and their use for environmental monitoring*. In: Prygiel, J.; B.A. Whitton & J. Bukowska (eds): Use of algae for monitoring rivers III, Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai: 10-16.
- Blanco, S.; M. Fernández-Aláez; E. Bécares; S. Romo & L. Ector. 2003. Étude expérimentale sur l'interaction des communautés de diatomées épiphytes et du réseau trophique d'un lac peu profond (Lac de Sentiz, León, Espagne). *Bull. Soc. Sci. Nat. Ouest .Fr. Suppl* 2: 288-304.
- Blanco, S.; L. Ector & E. Bécares. 2004. Epiphytic diatoms as water quality indicators in Spanish shallow lakes. *Vie Milieu* 53 (2/3): 71-79.
- Blindow, I. 1987. The composition and density of epiphyton on several species of submerged macrophytes. The neutral hypothesis tested. *Aquat. Bot.* 29: 157-168.
- Cambra, J.; J. Gomà & R. Ortiz. 2003. *Anàlisi de viabilitat i proposta d'indicadors fitobentònics de la qualitat de l'aigua per als cursos fluvials de Catalunya (Tordera, Besòs, Llobregat, Foix, Gaià, Francolí i Riudecanyes)*. Documents tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua, Barcelona, 113 pp.
- Caput, K. & A. Plenkovic-Moraj. 2000. Epiphytic diatoms on sawgrass (*Cladium mariscus*) in the karstic Plitvice Lakes, Croatia. *Biol. Bratisl.* 55: 343-350.
- Cattaneo, A. & J. Kalf. 1980. The relative contribution of aquatic macrophytes and their epiphytes to the production of macrophytes beds. *Limnol. Oceanogr.* 25: 280-289.
- Cattaneo, A.; G. Gaetano; S. Gentinetta & S. Romo. 1998. Epiphytic algae and macroinvertebrates on submerged and floating-leaved macrophytes in an Italian lake. *Freshwat. Biol.* 39: 725-740.
- CEMAGREF. 1982. *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q. E. Lyon - A. F. Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 218 pp.
- Descy, J.P. 1976. *Utilisation des algues benthiques comme indicateurs biologiques de la qualité des eaux courantes*. In Pesson, P. (ed.): La Pollution des Eaux Continentales. Gauthiers-Villars, Paris: 149-172.
- Dell'Uomo, A.; A. Pensieri & D. Corradetti. 1999. Diatomées épilithiques du fleuve Esino (Italie centrale) et leur utilisation pour l'évaluation de la qualité biologique de l'eau. *Cryptog. Algol.* 20: 253-269.
- Dell'Uomo, A. 2004. *L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti*. Linee guida. A.P.A.T., A.R.P.A.T., 101 pp.
- Ector, L. & F. Rimet. 2005. *Using bioindicators to assess rivers in Europe: An overview*. In: Lek, S.; M. Scardi; P.F.M. Verdonschot; J.P. Descy & Y-S. Park (eds): Modelling Community Structure in Freshwater Ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 7-19.
- Eloranta, P. 1995. *Type and quality of rivers waters in central Finland described using diatom indices*. In: Marino, D. & M. Montresor (eds): Proceedings of the 13th International Diatom Symposium. Koeltz Scientific Books, Koenigstein: 107-119.
- Eloranta, P. 1999. *Applications of diatom indices in Finnish rivers*. In: Prygiel, J.; B.A. Whitton & J. Bukowska (eds): Use of Algae for Monitoring Rivers III, Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai: 138-144.
- Eminson, D. & B. Moss. 1980. The composition and ecology of periphyton communities in freshwaters. 1: The influence of host type and external environment on community composition. *Br. Phycol. J.* 15: 429-446.
- European Committee for Standardization. 2003. *Water quality - Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers*. European Standard EN 13946. European Committee for Standardization, Brussels, 14 pp.
- European Committee for Standardization. 2004. *Water quality - Guidance standard for the identification, enumeration and interpretation of benthic diatom samples from running waters*. European Standard prEN 14407. European Committee for Standardization, Brussels, 12 pp.
- García-Criado, F.; E. Bécares; C. Fernández-Aláez & M. Fernández-Aláez. 2005. Plant associated invertebrates and ecological quality in some Mediterranean shallow lakes: implications for the application of the EC Water Framework Directive. *Aquat. Cons.* 15: 31-50.
- Gomà, J.; R. Ortiz; J. Cambra & L. Ector. 2004. Water quality evaluation in Catalan Mediterranean rivers using epilithic diatoms as bioindicators. *Vie Milieu* 54 (2/3): 81-90.

- Gomà, J.; F. Rimet; J. Cambra; L. Hoffmann & L. Ector. 2005. Diatom communities and water assessment in mountain rivers of the upper Segre basin (La Cerdanya, Oriental Pyrenees). *Hydrobiologia* 551: 1-17.
- Hawes, I. & R. Smith. 1993. Effect of localized enrichment on the shallow epilithic periphyton of oligotrophic Lake Taupo, New Zealand. *N. Z. J. Mar. Freshwat. Res.* 27: 365-372.
- Hoffman, G. 1994. Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibl. Diatomol.* 30: 1-241.
- Kelly, M.G.; A. Cazaubon; E. Coring; A. Dell'Uomo; L. Ector; B. Goldsmith; H. Guasch; J. Hürlimann; A. Jarlman; B. Kawecka; J. Kwandrans; R. Laugaste; E.A. Lindstrøm; M. Leitao; P. Marvan; J. Padišák; E. Pipp; J. Prygiel; E. Rott; S. Sabater; H. Van Dam & J. Vizinet. 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *J. Appl. Phycol.* 10: 215-224.
- Kitner, M. & A. Poulícková. 2003. Littoral diatoms as indicators for the eutrophication of shallow lakes. *Hydrobiologia* 506-509: 519-524.
- Kornijow, R. 1998. Quantitative sampler for collecting invertebrates associated with submersed and floating-leaved macrophytes. *Aquat. Ecol.* 32: 241-244.
- Kornijow, R. & T. Kairesalo. 1994. A simple apparatus for sampling epiphytic communities associated with emergent macrophytes. *Hydrobiologia* 294: 141-143.
- Lakatos, G. 1989. The effect of rehabilitation on the reed biotecton (Periphyton) in Lake Velencei (Hungary). *BFB-Bericht* 71: 135-139.
- Lange-Bertalot, H. 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedw. Beih.* 64: 285-304.
- Lecointe, C.; M. Coste & J. Prygiel. 1993. OMNIDIA software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270: 509-513.
- Lecointe, C.; M. Coste; J. Prygiel & L. Ector. 1999. Le logiciel OMNIDIA version 2, une puissante base de données pour les inventaires de diatomées et pour le calcul des indices diatomiques européens. *Cryptog. Algol.* 20: 132-134.
- Leira, M. & S. Sabater. 2002. *Diatom communities and water quality: a case study from streams in Catalonia (NE Spain)*. In Ledoux, L. & D. Burgess (eds): Science for water policy. The implications of the water framework directive. University of East Anglia, Norwich: 285-303.
- Leira, M. & S. Sabater. 2005. Diatom assemblages distribution in Catalan rivers, NE Spain, in relation to chemical and physiographical factors. *Wat. Res.* 39: 73-82.
- Lenoir, A. & M. Coste. 1994. *Estimation de la qualité des eaux du bassin Rhin-Meuse à l'aide des communautés de diatomées benthiques. Rapport CEMAGREF Bordeaux*. Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Moulins-les-Metz, 169 pp.
- Lenoir, A. & M. Coste. 1998. *Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French National Water Board Network*. In Whitton, B.A. & E. Rott (eds.): Use of Algae for Monitoring Rivers II. Institut Botanik, Univ Innsbruck, Innsbruck: 29-43.
- Linares, J.E. 2003. *Las diatomeas bentónicas de las lagunas del Parque Nacional de Sierra Nevada. Estudio comparado con las colecciones del herbario de la Universidad de Granada (GDA)*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada, 325 pp.
- Mayer, P.M. & S.M. Galatowitsch. 1999. Diatom communities as ecological indicators of recovery in restored prairie wetlands. *Wetlands* 19: 765-774.
- Merino, V.; M. Fernández; M. Hernández-Mariné & J. García. 1994. *La qualitat de les aigües dels rius de la conca de la Valira (Andorra). II. Índexs biològics*. Annals 1993. Institut d'Estudis Andorrans. Centre de Barcelona. Mirador Edicions, Barcelona: 79-92.
- Merino, V.; J. García & M. Hernández-Mariné. 1995. *Use of diatoms for pollution monitoring in the Valira Basin (Andorra)*. In Marino, D. & M. Montresor (eds): Proceedings of the 13th International Diatom Symposium, Koeltz Scientific Books, Koenigstein: 107-119.
- Monnier, O.; H. Lange-Bertalot; F. Rimet; L. Hoffmann & L. Ector. 2004. *Achnantheidium atomoides* sp. nov., a new diatom from the Grand-Duchy of Luxembourg. *Vie Milieu* 54: 127-136.
- Moog, O.; A. Schmidt-Kloiber; T. Ofenböck & J. Gerritsen. 2004. Does the ecoregion approach support the typological demands of the EU 'Water Framework Directive'? *Hydrobiologia* 516: 21-33.
- Nijboer, R.C.; R.K. Johnson; P.F.M. Verdonschot; M. Sommerhäuser & A. Buffagni. 2004. Establishing reference conditions for European streams. *Hydrobiologia* 516: 91-105.
- Nunes, M.L.; E. Ferreira Da Silva & S.F.P. Almeida. 2003. Assessment of water quality in the Caima and Mau river basins (Portugal) using geochemical and biological indices. *Water Air Soil Pollut.* 149: 227-250.
- Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea. 2000. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy*. Off J Eur Comm 327: 1-72.
- Prygiel, J.; M. Coste & L. Ector. 1999a. Projets d'intercalibration européens et mise en place d'une charte de qualité diatomées pour l'IBD (et l'IPS). *Cryptog. Algol.* 20: 139-142.
- Prygiel, J.; B.A. Whitton & J. Bukowska (eds). 1999b. *Use of Algae for Monitoring Rivers III*. Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai, 271 pp.
- Prygiel, J.; P. Carpentier; S. Almeida; M. Coste; J.C. Druart; L. Ector; D. Guillard; M.A. Honoré; R. Iserentant; P. Ledeganck; C. Lalanne-Cassou; C. Lesniak; I. Mercier; P. Moncaut; M. Nazart; N. Nouchet; F. Peres; V. Peeters; F. Rimet; A. Rumeau; S. Sabater; F. Straub; M. Torrissi; L. Tudesque; B. Van de Vijver; H. Vidal; J. Vizinet & N. Zydek. 2002. Determination of the biological diatom index (IBD NF T 90-354): results of an intercomparison exercise. *J. Appl. Phycol.* 14: 27-39.
- Rott, E.; G. Hofmann; K. Pall; P. Pfister & E. Pipp. 1997. *Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 1: Saprobienle Indikation Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien, 73 pp.*
- Rott, E.; E. Pipp; P. Pfister; H. Van Dam; K. Ortler; N. Binder & K. Pall. 1999. *Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 2: Trophieindikation (sowie geochemische Präferenzen, taxonomische und toxikologische Anmerkungen)*. - Wasser-

wirtschaftskataster herausgegeben vom Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaftskataster herausgegeben vom Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien, 248 pp.

Rott, E.; E. Pipp & P. Pfister. 2003. Diatom methods developed for river quality assessment in Austria and a cross-check against numerical trophic indication methods used in Europe. *Algol. Stud.* 110: 91-115.

Round, F.E. 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. *J. Appl. Phycol.* 3: 129-145.

Sabater, S.; F. Sabater & X. Tomàs. 1987. Water quality and diatom communities in two catalan rivers (NE. Spain). *Wat. Res.* 21: 901-911.

Sabater, S.; H. Guasch; A. Picón; A. Romani & I. Muñoz. 1996. *Using diatom communities to monitor water quality in a river after the implementation of a sanitation plan (river Ter, Spain)*. In Whitton, B.A. & E. Rott (eds.): *Use of algae for monitoring rivers II*. Institut für Botanik, Univ Innsbruck, Innsbruck: 97-103.

Sabater, S.; E. Tornés; M. Leira & R. Trobajo. 2003. *Anàlisi de viabilitat i proposta d'indicadors fitobentònics de la qualitat de l'aigua per als cursos fluvials de Catalunya (Muga, Fluvià, Ter i Daró)*. Documents tècnics de l'Agència Catalana de l'Aigua, Barcelona, 113 pp.

Tomàs, X. & S. Sabater. 1985. The diatom flora of the Llobregat river and its relation to water quality. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 2348-2352.

Trobajo, R. 2003. *Ecological analysis of periphytic diatoms in Mediterranean coastal wetlands (Empordà wetlands, NE Spain)*. Tesis Doctoral, Universitat de Girona, Girona, 200 pp.

Whitton, B.A. & E. Rott (eds.). 1996. *Use of Algae for Monitoring Rivers II*. Institut für Botanik, Univ Innsbruck, Innsbruck, 196 pp.

Whitton, B.A.; E. Rott & G. Friedrich (eds.). 1991. *Use of Algae for Monitoring Rivers*. Institut für Botanik, Univ Innsbruck, Innsbruck, 193 pp.

La Directiva Marco del Agua y las diatomeas como indicadores de los humedales mediterráneos

Rosa Trobajo Pujades
Natural History Museum
Cromwell Road. London SW7 5BD
UNITED KINGDOM
manolito

La Directiva Marco del Agua (Directiva Europea 2000/60/EC) aprobada por la Unión Europea en el 2000 establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de política de aguas y tiene como objetivo prioritario el que se alcance el **buen estado ecológico** de los sistemas acuáticos (aguas superficiales, estuarios, aguas costeras y aguas subterráneas) en el año 2015. Específicamente la DMA pide un uso racional de los recursos hídricos y la conservación, protección y mejora de la calidad de los sistemas acuáticos. Desde el punto de vista de procedimientos, la DMA requiere la tipificación de las masas de agua continentales, así como el establecimiento de las condiciones de referencia para cada tipología de masa de agua, basadas en indicadores hidromorfológicos, físicos, químicos y biológicos y la evaluación del estado actual de conservación de las masas de agua utilizando dichos indicadores.

Es importante destacar que la DMA es la primera normativa en gestión del agua que incluye los conceptos de estado ecológico y estado de referencia de los sistemas acuáticos. Puntos de partida interesantes pero que a su vez requieren de un buen conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

Los sistemas acuáticos fluctuantes y de transición (donde se incluyen los humedales costeros, estuarios, ramblas y marjales) se caracterizan por un gran dinamismo, elevada interacción entre parámetros e intercambio de

materia y energía con los sistemas adyacentes (terrestre y acuáticos), siendo precisamente esta complejidad en el funcionamiento lo que dificulta su estudio y tipificación pero que a su vez también supone un reto.

Algunas de las características de estos sistemas, como la baja profundidad y confinamiento, los hace especialmente vulnerables a la eutrofización y a la contaminación química siendo difícil encontrar humedales costeros prístinos en Europa. Concretamente y durante siglos los humedales mediterráneos han estado sometidos a intensas explotaciones y manipulaciones por parte del hombre, y en la mayoría de los casos describir las condiciones de estos ambientes para posteriormente definir su estado ecológico es muy difícil sino imposible (Barnes, 1999). Quizás tendremos que aceptar que en estos sistemas no hay ambientes de referencia *a priori* y que como proponen Boix et al. (2004), solamente se podrán identificar *a posteriori*, una vez hecho el estudio exhaustivo de la calidad de los humedales mediterráneos.

La utilización de indicadores biológicos para evaluar la calidad de las aguas ha sido especialmente estudiada en los ecosistemas lacustres y fluviales. La utilización de índices biológicos basados en algas es particularmente adecuada en sistemas acuáticos con gran variabilidad de carga o flujo de nutrientes (Whitton,