

Evaluación de la calidad del agua en los ríos de la cuenca del Duero mediante índices diatomológicos

SAÚL BLANCO (*), ELOY BÉCARES (*), NOEMÍ HERNÁNDEZ (**) Y LUC ECTOR (***)

RESUMEN En verano de 2005 se realizó un muestreo en 140 estaciones de la red ICA de la cuenca del Duero, a fin de determinar la calidad ecológica del agua en estos puntos utilizando diatomeas como bioindicadores. Los resultados muestran que el índice de diatomeas más apropiado para esta cuenca es el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS). Según este índice, el 61,4% de los puntos alcanzan un estado ecológico de sus aguas "Bueno" o "Muy Bueno", cumpliendo con los objetivos determinados por la Directiva Marco del Agua. Sin embargo, el 38,6% de los puntos no llegan a un nivel aceptable según dicho criterio.

WATER QUALITY ASSESSMENT IN THE DUERO BASIN (SPAIN) USING DIATOM INDICES

ABSTRACT *Water quality assessment in the Duero River basin using diatom indices 140 stations from the Water Quality Network (ICA) of the Duero Basin (NW Spain) were sampled in summer 2005 in order to assess the water quality status using diatoms as bioindicators. Results show that the most adequate diatom index is the Specific Pollution Index (SPI). According to this index, 61.4% of the stations achieve a "good" or "excellent" water quality status, therefore fulfilling the requirements determined by the Water framework Directive. However, 38.6% of the stations do not arrive to an acceptable level following these criteria.*

Palabras clave: Diatomeas, Índices bióticos, Calidad del agua, Directiva Marco.

1. INTRODUCCIÓN

Como factores esenciales para la determinación del estado ecológico de las aguas, la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (Directiva 2000/60/EC) establece las comunidades de organismos como indicadores del estado ecológico de los diferentes ecosistemas acuáticos. Entre los bioindicadores propuestos, las algas fitobentónicas ocupan un lugar destacado, y dentro de este grupo, las diatomeas reúnen una serie de características fisiológicas y ecológicas que las convierten en los organismos idóneos para su empleo como indicadores ecológicos (figura 1): a) constituyen un grupo de organismos muy diversificado, distribuyéndose sobre una gran variedad de ambientes acuáticos por todo el mundo; b) presentan gran sensibilidad frente a la alteración de los parámetros fisicoquímicos del agua, por lo que las comunidades de diatomeas reflejan con gran precisión las condiciones ambientales del medio en que se han desarrollado; y c) la recogida, la preparación y la preservación de las muestras de fitobentos son relativamente simples permitiendo la obtención de resultados comparables y reproducibles a largo plazo.

El empleo de índices diatomológicos en Europa se remonta a la década de los 70. Varios países europeos han uti-

lizado las diatomeas para determinar la calidad de las aguas de sus ríos, especialmente Alemania, Austria, Francia, Polonia, Suiza y Reino Unido. En la actualidad 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. Dentro de los índices diatomológicos, los más empleados hasta ahora en Europa (Ector y Rimet 2005) son el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS), el índice CEE; el Índice Biológico de Diatomeas (IBD), los índices saprobico SI y trófico TI de Rott, el índice de eutrofización/polución de Dell'Uomo y el índice trófico de diatomeas TDI.

En el ámbito de la Península Ibérica, la aplicación de la Directiva Marco del Agua ha llevado a diversos grupos de investigación al muestreo sistemático de varias cuencas hidrográficas y al establecimiento en ellas de las primeras redes de biomonitorización basadas en el empleo de índices diatomológicos. Durante los últimos 5 años, las diatomeas bentónicas han sido muestreadas en los ríos de varias cuencas hidrográficas de la Península Ibérica. Así, durante los últimos años han surgido varios trabajos publicados sobre las comunidades de diatomeas bentónicas y su empleo como bioindicadores en Andorra, España (Blanco et al. 2003, 2004, Gomà et al. 2004, 2005) y también en Portugal. No obstante, la realización de mapas de calidad biológica mediante diatomeas bentónicas es aún muy escasa. En este sentido, destaca la implementación relativamente avanzada de estos métodos en la cuenca del Ebro y en las cuencas internas de Cataluña, donde además se ha elaborado un protocolo metodológico para la recolección y tratamiento de las diatomeas, así como se ha propuesto y aceptado la utilización del índice IPS como mejor indicador de la calidad del

(*) Área de Ecología. Universidad de León. E-24071 León (España). saul.lanza@unileon.es.

(**) Área de Calidad de las Aguas. Confederación Hidrográfica del Duero. Muro, 5 E-47004 Valladolid (España).

(***) Département Environnement et Agro-biotechnologies. Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann. 41 rue du Brill. L-4422 Belvaux (Luxembourg).

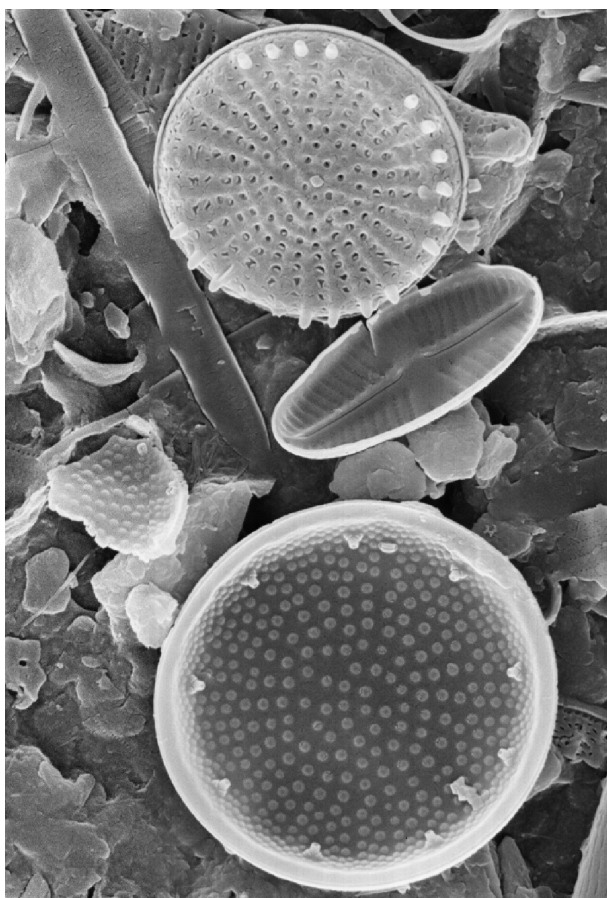


FIGURA 1. Frústulos de varias especies de diatomeas observados en la cuenca del Duero. Microscopía electrónica de barrido.

agua en los ríos catalanes. A fin de establecer las bases para la aplicación de estas algas como indicadores del estado ecológico en la cuenca del río Duero, la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD) comenzó en 2004 los trabajos relativos al establecimiento en toda la cuenca de una red de biomonitorización de la calidad del agua mediante el empleo de índices diatomológicos. El objetivo del presente estudio es el establecimiento en la cuenca hidrográfica del río Duero de una red de control de la calidad del agua basada en indicadores fitobentónicos (diatomeas).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En agosto de 2005 se realizó un muestreo biológico en 140 estaciones pertenecientes a la Red Integral de Calidad de las Aguas (ICA) de la Confederación Hidrográfica del Duero. Se recogieron y procesaron muestras de algas epilíticas conforme a los protocolos normalizados (AENOR 2004, 2005). Las muestras fueron recogidas con un cepillo sobre superficies sumergidas (piedras, pilares de puentes) en la zona eufótica y de corriente en cada cauce fluvial, y se preservaron en formaldehído (4% v/v) hasta su procesamiento en laboratorio (figura 2). Se obtuvieron suspensiones de frústulos de diatomeas mediante oxidación de la materia orgánica presente con peróxido de hidrógeno caliente (30% v/v). Se añadieron a cada muestra unas gotas de ácido clorhídrico (35% v/v) para eliminar las inclusiones de carbonato cálcico. Posteriormente se montaron preparaciones microscópicas permanentes de cada muestra usando una resina sintética (Naphrax®) con alto índice de refracción. Se contaron e identificaron taxonómicamente un mínimo de 400 valvas de diatomeas por muestra mediante microscopía óptica de campo claro y contraste de fase. La taxonomía y nomenclatura seguidas son las propuestas por las colecciones *Su?wasserflora von Mitteleuropa*, *Iconographia Diatomologica* y *Diatoms of Europe*.

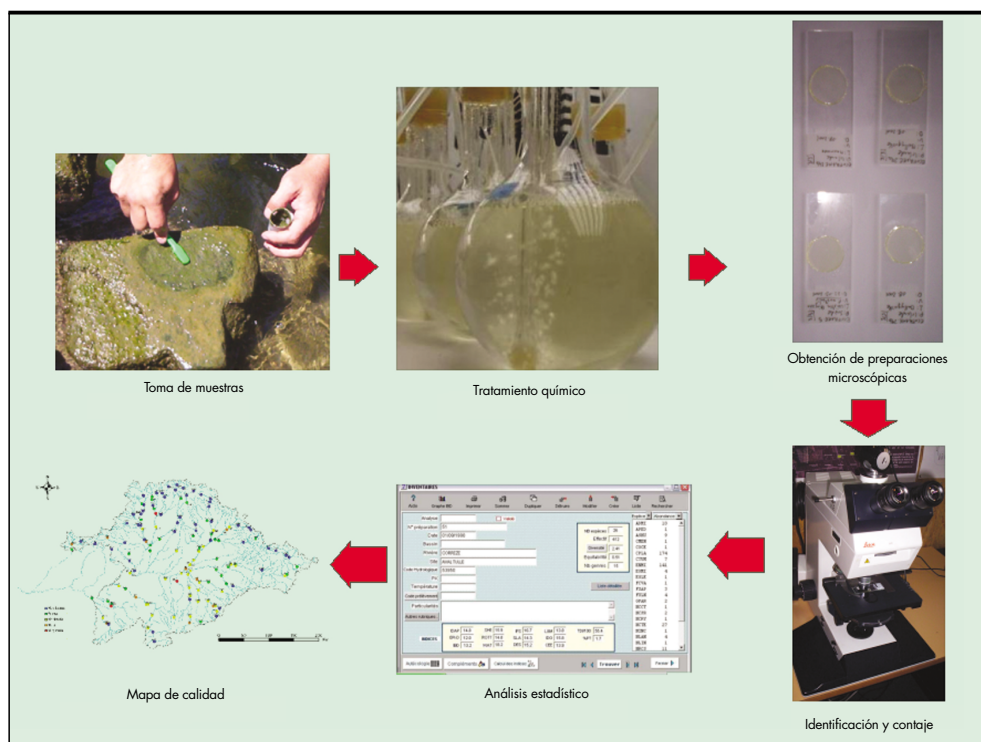


FIGURA 2. Esquema de trabajo aplicado para la determinación de la calidad del agua en la cuenca del Duero mediante índices diatomológicos.

Con los datos obtenidos se calcularon los principales índices diatomológicos mediante el programa informático OMNIDIA: el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS), el Índice Biológico de Diatomeas (IBD) y el Índice Europeo (CEE). El IPS considera todos los taxones presentes en la muestra y está considerado como índice de referencia. El IBD se basa en una selección de 209 taxones frecuentes en las aguas dulces europeas, y es el método estándar en Francia. El IPS está basado en el método de Zelinka y Marvan (1961). Por su parte, el CEE se basa en una matriz de calidad de doble entrada, y tiene en cuenta la presencia de 250 taxones. El resultado de estos índices es un valor numérico estandarizado entre 1 y 20, de forma que estos valores representan respectivamente los estados de calidad ecológica mínimo y máximo teóricos. Estos valores se clasificaron en cinco categorías de calidad ecológica: muy mala calidad, según los siguientes intervalos: [1-5], mala calidad: [5-9], calidad moderada: [9-13], calidad buena: [13-17] y calidad muy buena: [17-20].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron un total de 476 taxones de diatomeas (especies, subespecies, variedades o formas) en el conjunto de muestras analizadas, 238 de ellas alcanzaron una abundancia superior al 1% en, por lo menos, uno de los inventarios. La diversidad florística de la cuenca del Duero es inusualmente elevada, en comparación con los resultados reportados en otros estudios similares. Esta diversidad es atribuible a la considerable extensión de la cuenca hidrográfica estudiada (la más extensa la Región Ibérico-macaronésica definida según la Directiva Marco del Agua) y a la elevada heterogeneidad geológica, hidrodinámica y ecológica de sus cursos fluviales.

Entre los taxones más frecuentes cabe citar *Achnantheidum atomoides* Monnier, Lange-Bertalot & Ector, *A. minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *A. pyrenaicum* (Hustedt) Kobayasi, *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow ex A. Schmidt, *Cocconeis euglypta* Ehrenberg s.l., *Eolimna mi-*

nima (Grunow) Lange-Bertalot, *Fragilaria rumpens* (Kützing) Carlson, *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot, *Nitzschia inconspicua* Grunow y *N. fonticola* Grunow. La aplicación de los distintos índices biológicos a los resultados numéricos obtenidos ofreció evaluaciones de la calidad del agua sensiblemente diferentes (figura 3).

El índice CEE ofrece resultados bastante similares al IPS en cuanto a la distribución de las estaciones analizadas en las diferentes clases de calidad. El IBD, sin embargo, ofrece valores discrepantes en cuanto a la evaluación de la calidad biológica en ciertas estaciones, con respecto a los resultados proporcionados por los otros dos índices empleados. Estas diferencias se deben a que el cálculo del IPS se basa en los valores autoecológicos de todos los taxones presentes en cada una de las muestras, mientras que el resto de los índices se basan en una selección de taxones. Por lo tanto, únicamente el IPS considera la ecología de todos los taxones de diatomeas hallados en las estaciones de muestreo de la cuenca del Duero y permite así una evaluación del estado ecológico más representativa. Adicionalmente, nuestros resultados señalan que los ríos de la cuenca del Duero presentan particularidades florísticas comparando con los ríos de otras grandes cuencas europeas, que se traducen en la presencia, en ocasiones con frecuencias significativas, de especies no incluidas dentro de los listados considerados por los índices IBD y CEE. Así, el índice que más puntos de muestreo valora con la categoría extrema de "Muy buena" calidad biológica es el IPS (48 estaciones, 34,3%), seguido del CEE (35 estaciones; 25,5%). La clase de calidad mayoritaria en la cuenca del Duero es, según los resultados proporcionados por el IPS, la de "Muy buena" calidad ecológica, mientras que para el IBD y el CEE la clase mayoritaria (un 36,4 y 32,1%, respectivamente, de las estaciones analizadas) se corresponde con una calidad "Buena". Según el IPS, la mayoría de las estaciones analizadas (61,4%) se corresponde con un estado ecológico de sus aguas "Bueno" o "Muy Bueno", cumpliendo por lo tanto con los objetivos de calidad ecológica determinados por la Directiva Marco del Agua. Este número se reduce a un 55,7% de estaciones si consideramos el

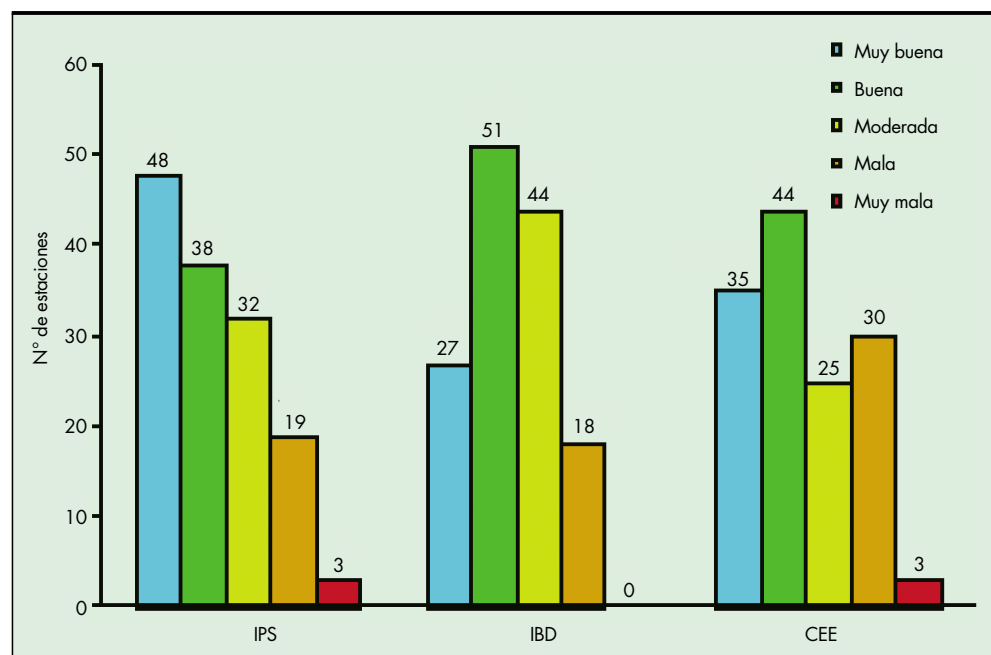
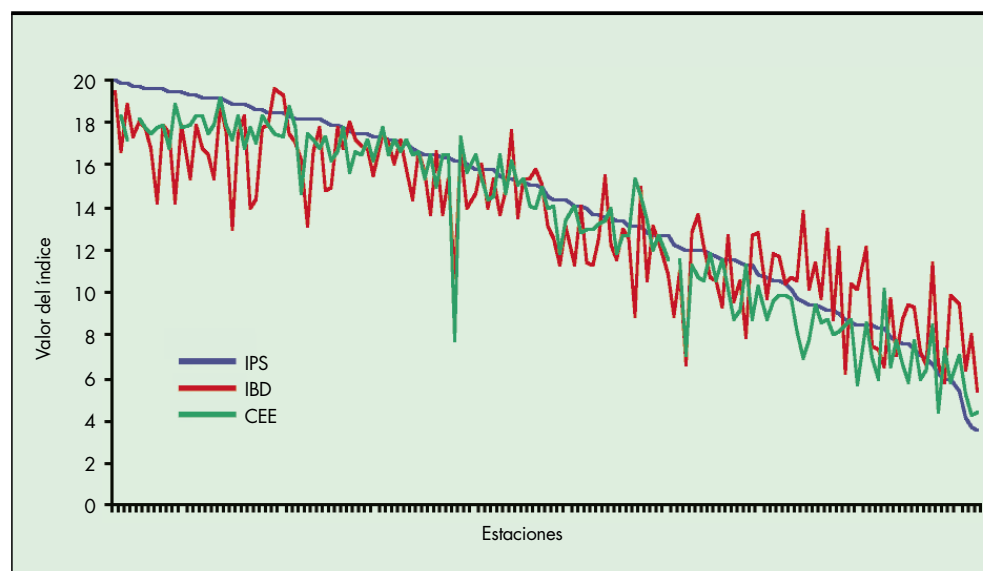


FIGURA 3. Histograma de distribución de las diferentes estaciones analizadas en la cuenca del Duero en las cinco clases de calidad, según los índices diatomológicos IPS, IBD y CEE.

FIGURA 4. Perfil de los valores de los tres índices IPS, IBD y CEE en el total de las 140 estaciones de la cuenca del Duero estudiadas durante el verano 2005, siguiendo el orden decreciente de los valores del IPS.



Índice Biológico de Diatomeas. Según el IPS, un 15,7% de los 140 sitios investigados son de “Mala” (19 estaciones) o “Muy mala” calidad (3 estaciones).

El diferente comportamiento de los índices empleados se aprecia igualmente en la figura 4. Se observa que tanto el IBD como el CEE tienden a infravalorar la nota de calidad con respecto a los resultados que ofrece el IPS en las estaciones de “Muy buena” calidad biológica, ocurriendo lo opuesto en los puntos de calidad “Mala” o “Muy mala”. La sobreestimación característica del IBD –pero también del CEE– de la calidad biológica en puntos muy contaminados se debe a una valoración imprecisa de los parámetros autoecológicos asignados a ciertas especies de pequeño tamaño, que pueden además pasar desapercibidas en el análisis microscópicos si no se emplean métodos de iluminación adecuados. Tal es el caso de las pequeñas Naviculáceas *Eolimna minima*, *Fistulifera saprophila* (Lange-Bertalot et Bonik) Lange-Bertalot, *Mayamaea atomus* var. *permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot o *Sellaphora seminulum* (Grunow) D.G. Mann. En general, las diferencias existentes entre las valoraciones de calidad efectuadas por estos índices se deben a los diferentes conjuntos de especies en que se basan y en los parámetros autoecológicos que se asignan en cada taxón. Así, por ejemplo son frecuentes en los puntos de alta calidad biológica de la cuenca del Duero especies como *Achnanthydium pyrenaicum*, *Achnanthes subhudsonis* Hustedt, *Achnanthydium atomoides*, *Fragilaria rumpensis* o *Gomphonema rhombicum* M. Schmidt, cuyas abundancias no son consideradas en el cálculo del resultado del índice CEE, resultando un valor sesgado hacia rangos que indican una mayor contaminación. Resultados similares se han reportado en los estudios diatomológicos llevados a cabo en la Cuenca del Norte, donde estas especies son también abundantes. En el caso del IBD, también son frecuentes en los ríos de la cuenca del Duero especies que, por haberse descrito recientemente en las aguas europeas o por ser raras en los ríos de Francia, no son consideradas dentro del conjunto de especies utilizadas en el cálculo del índice. Tal es el caso de *Achnanthes subhudsonis*, *Achnanthydium atomoides*, *Diatoma ehrenbergii* Kützing o *G. rhombicum*.

Según el índice CEE, hasta un 24,1% de las estaciones muestreadas presentan una calidad biológica “Mala” o “Muy mala”. Esta cifra se reduce a un 12,9% de estaciones según

los resultados que aporta el IBD y a un 15,7% de puntos si se consideran los resultados del IPS. Las estaciones de calidad “Muy mala” son, según el valor del IPS, las de Alija de la Ribera (Río Bernesga, aguas abajo de la ciudad de León, IPS = 4,0), Medina del Campo (Río Zapardiel, aguas debajo de la ciudad de Medina del Campo, IPS = 2,4) y Megeces (Río Cega, IPS = 4,1). Tales estaciones presentan comunidades diatomológicas caracterizadas por la presencia de muy pocas especies, todas típicas de aguas hipereutróficas y con un alto grado de actividad sapróbica, como *Fistulifera saprophila*, *Nitzschia capitellata* Hustedt o *N. palea* (Kützing) W. Smith. Obsérvese que la estación de muestreo de Medina del alcanza además el valor mínimo absoluto de calidad ecológica según el resultado del IPS dentro del conjunto de estaciones analizadas.

La figura 5 refleja visualmente el estado de calidad ecológica del conjunto de la cuenca hidrográfica del Duero. Se observa que los puntos de “Buena” y “Muy buena” calidad se concentran en las zonas de alta montaña, mientras que las estaciones de peor calidad biológica aparecen asociadas a grandes núcleos urbanos, áreas industriales o zonas dedicadas a una agricultura intensiva. No obstante, la existencia de una red de más de 80 grandes embalses en la cuenca contribuye al mantenimiento de una buena calidad química del agua en general a lo largo del año. Atendiendo a las diferentes provincias, se observan asimismo diferencias en cuanto a la calidad ecológica de sus aguas. Por ejemplo, más del 80% de las estaciones muestreadas en las provincias de León y Palencia presentan una calidad biológica “Buena” o “Muy Buena”, sin embargo estas proporciones se reducen a menos del 50% en los casos de las provincias de Salamanca y Valladolid, respectivamente.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- Se ha constatado la elevada diversidad florística de las comunidades de diatomeas bentónicas presentes en el conjunto de la cuenca, con un total de 472 taxones, que pone de manifiesto la singularidad ecológica y biogeográfica de esta cuenca fluvial.

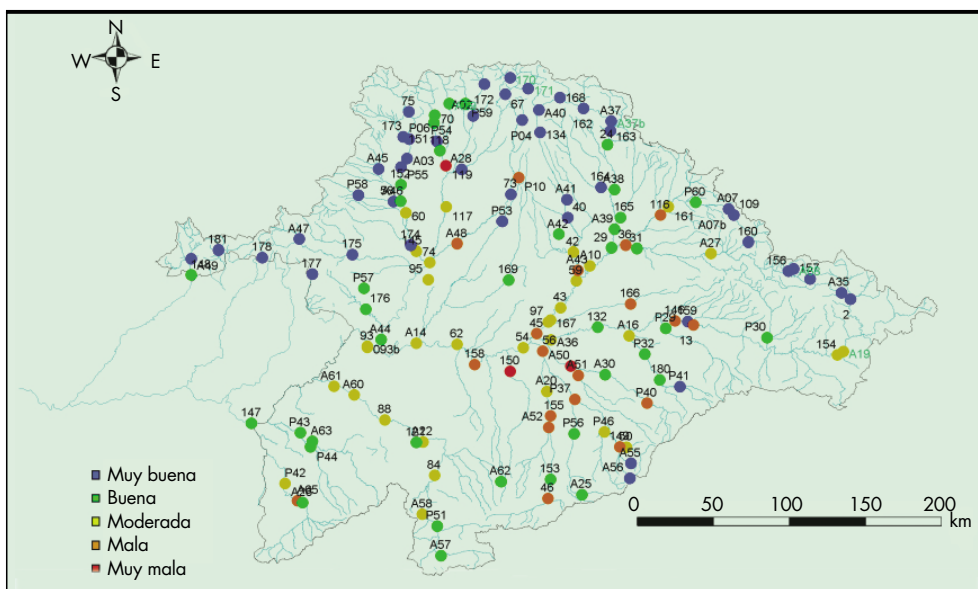


FIGURA 5. Calidad biológica del agua en las estaciones ICA de la cuenca del Duero según los resultados del Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS).

- Conforme a los requisitos de la Directiva Marco del Agua (DMA), el empleo de diatomeas fitobentónicas como bioindicadores se ha confirmado como un método eficaz y muy útil para la evaluación de la calidad biológica del agua en todos los ríos de la cuenca hidrográfica del Duero.
- En comparación con los otros índices empleados IBD y CEE, el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) es el índice más adecuado para la determinación del estado ecológico del agua en esta cuenca fluvial mediterránea y se propone como índice de referencia; en un futuro próximo, el índice global de polución IPS podrá ser comparado con otros índices de polución orgánica (SI) o de eutrofización (TI, TDI) para poder comprobar su eficacia y aplicabilidad en la cuenca del Duero.
- Según el resultado ofrecido por este índice IPS, la calidad biológica del agua en las estaciones de muestreo estudiadas puede calificarse en general de buen estado ecológico. El 61,4% de los puntos se corresponden con un estado ecológico de sus aguas "Bueno" o "Muy Bueno", cumpliendo por lo tanto con los objetivos de calidad ecológica determinados por la Directiva Marco del Agua. Sin embargo, el 38,6% de los puntos no llegan a un nivel de calidad aceptable según este criterio.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el convenio establecido entre la Universidad de León y la Confederación Hidrográfica del Duero. S. Blanco ha obtenido financiación adicional del Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann de Luxemburgo. Los autores agradecen la colaboración técnica de C. Bouillon y P. Albaladejo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AENOR 2004. Norma española UNE-EN 13946:2004 Calidad del agua. Guía para el muestreo en rutina y el pretratamiento de diatomeas bentónicas de ríos. 20 pp.
- AENOR 2005. Norma española UNE-EN 14407:2005 Calidad del agua. Guía para la identificación, recuento e interpretación de muestras de diatomeas bentónicas de ríos. 16 pp.
- 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.
- ECTOR, L. & F. RIMET, 2005. Using bioindicators to assess rivers in Europe: An overview. En: Lek S, Scardi M., Verdonschot PFM, Descy JP, Park Y-S eds, Modelling Community Structure in Freshwater Ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 7-19.
- GOMÀ, J., R. ORTIZ, J. CAMBRA & L. ECTOR, 2004. Water quality evaluation in Catalonian Mediterranean rivers using epilithic diatoms as bioindicators. Vie Milieu 54: 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.
- ZELINKA, M. & P. MARVAN, 1961. Zur prazisierung der biologischen klassifikation des Reinheit fließender gewässer. Arch. Hydrobiol. 57:389-407.