

Evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos a partir del modo de nutrición (IMN) de sus macroinvertebrados. Una adaptación para la educación secundaria

Juan Rueda Sevilla

Dpto. de Microbiología y Ecología,
Facultad de CC Biológicas,
Universitat de València

Catalina López Martínez

CFPA Serrano Morales, Valencia

Ramón Hernández Villar

Dpto. de Microbiología y Ecología,
Facultad de CC Biológicas, Universitat de València

Resumen:

Tanto por las Naciones Unidas como por la Comisión Europea (COM, 1997) se insta al estudio, conservación y mejora de los sistemas acuáticos. En la Península Ibérica y hasta la fecha, los índices utilizados habitualmente para evaluar y determinar la calidad del agua basados en los macroinvertebrados tienen una aplicación restringida a los ríos, ya que, en los demás ecosistemas acuáticos (lagos, lagunas, humedales, etc.) el comportamiento de dichos índices parece que no aporta conclusiones fiables. Con el nuevo índice ecológico presentado en este trabajo, llamado "Índice del Modo de Nutrición" (IMN), se pretende evaluar la calidad de la estructura trófica de las comunidades de macroinvertebrados de todos los sistemas acuáticos continentales y acercar de manera relevante la utilización de los macroinvertebrados acuáticos en la realización de proyectos dirigidos al alumnado de enseñanza secundaria.

Palabras clave: Índices biológicos, Índice ecológico, Macroinvertebrados, Calidad biológica de las aguas, Enseñanza secundaria.

Abstract:

Both the United Nations and the European Commission (COM, 1997) urge the study, conservation and improvement of water environments. In the Iberian Peninsula so far, macroinvertebrate factors, usually used to assess and set water quality, have restricted applications to rivers since the behaviour of these factors does not give reliable conclusions in other water ecosystems (lakes, Shallow lakes, wetlands, etc.). The new ecological index presented in this work, called "Nutrition Mode Index" (IMN), aims to assess the quality of trophic structures of the macroinvertebrate communities in all the continental aquatic systems. Furthermore it attempts to bring near the use of aquatic macroinvertebrates to the achievement of projects addressed to high school students.

Key Words: Biotic indexes, Ecological index, Macroinvertebrates, Biological quality of Water, High school.

(Fecha de recepción: abril, 2005, y de aceptación: octubre, 2005)

Introducción

Han pasado varios años desde la proclamación del año internacional del agua por las Naciones Unidas en su resolución 55/196. Sin embargo se puede ver que la problemática del agua es constante y afecta a todos los países en mayor o menor medida.

Para intentar reducir el problema existente en Europa se ha creado la Directiva Marco del Agua (COM (97) 49, 1997), en la que se propone medir el estado ecológico de los sistemas acuáticos estudiados.

El desafío es importante con respecto al estudio y protección de dichos sistemas, sean ríos, lagos, humedales costeros o interiores. En este punto es donde entra la colaboración del sistema educativo, especialmente la de la enseñanza secundaria. La realización de proyectos educativos sobre el agua permite concienciar a la población estudiantil y es de suma importancia en la evaluación y control de la calidad de un recurso tan imprescindible (Rueda y López, 2003).

Los modos de alimentación de los invertebrados acuáticos y su relación con la estructura trófica de la comunidad.

El principio de nuestro estudio se basa en la heterogeneidad del punto de muestreo, en el que debe de existir *a priori* una gran diversidad de ambientes (Cummins et al, 1979). En esta última se desarrolla una comunidad impor-

tante de macroinvertebrados gracias a las diferentes disponibilidades alimenticias y según el modo de nutrición de cada cual. Según Tachet et al (1987) las diferentes agrupaciones nutricionales son las siguientes.

Los trituradores constituyen el grupo menos especializado (anatómicamente hablando). Existen trituradores herbívoros (H) que descuartizan en trozos relativamente voluminosos los macrófitos vivos. Los vegetales en vías de descomposición (a menudo de origen alóctono) serán atacados por los trituradores detritívoros (D). En la medida en que los animales muertos o heridos son ingeridos al mismo tiempo darán nombre a los trituradores omnívoros (O). Los trituradores carnívoros (P) capturan presas vivas, son depredadores que descuartizan en trozos más o menos voluminosos o tragan sus presas enteras.

Los ramoneadores (Rm) constituyen un grupo intermedio entre H o D y los raspadores de substrato (Rs). Estos últimos poseen un aparato bucal ligeramente modificado que les permite raspar únicamente la capa biológica viva que cubre los macrófitos y las piedras. Tragan al mismo tiempo los finos deshechos orgánicos y minerales que se han depositado.

Los limnívoros (L) están afincados en el substrato blando en el cual se desarrollan. Tragan los sedimentos finos (el psammon) que encierra siempre una cantidad más o menos importante de deshechos orgánicos con microflora y microfauna.

Los filtradores constituyen un grupo muy especializado que, con ayuda de apéndices modificados o de construcciones muy elaboradas, capturan finos desechos orgánicos, microflora y microfauna de la corriente (el seston).

Los chupadores representan otro tipo especializado. Su aparato bucal está modificado para absorber alimento líquido. Existen algunos raros chupadores herbívoros (ChH) y numerosos chupadores predadores (ChP). Los parásitos externos que se encuentran en las aguas son a menudo un caso extremo de chupador predador.

En estrecha relación con la agrupación y la heterogeneidad del ambiente obtendremos una diversidad alta de invertebrados, de tal forma que, si el medio cambia hacia la homogeneidad obtendremos también una diversidad baja limitada, en caso extremo, a un solo tipo de nutrición. Para un río, si esta homogeneidad se debe a vertidos agrícolas o urbanos éste único grupo estará representado principalmente por limnívoros o filtradores (Rueda, 1997), sin embargo la interpretación puede ser otra en un sistema lagunar. Entre ambas situaciones obtendremos toda una serie de resultados asociados básicamente al alimento disponible en el medio y en estrecha relación al modo de nutrición de cada macroinvertebrado (Cummins et al, 1979; Tachet et al, 1987). La mejor condición en el ecosistema debería ofrecernos la presencia de todos los grupos tróficos en proporciones que oscilarían entre 5 y 15% para cada uno de ellos, valorán-

dose positivamente la existencia de un determinado grupo en el medio (superior al 0%) y negativamente si no existe o su proporción es excesivamente alta (superior al 40%). Se sabe también que los macroinvertebrados no poseen una forma estricta de nutrirse ya que pueden ingerir diferentes alimentos pero esta clasificación está basada en el tipo de aparato mandibular o de su forma de capturarlos.

El cálculo del índice IMN

Partimos de unos muestreos estandarizados, es decir que puedan ser comparables entre sí. La metodología experimentada en nuestros estudios es la que han expuesto Alba Tercedor (1996), Alba Tercedor y Pujante (2000) y Bonada et al (2002), la cual resumimos brevemente a continuación.

En nuestro punto de muestreo, sea de un río o de otro tipo de sistema acuático, seleccionamos los diferentes enclaves o hábitats. Estas distinciones son relativas a vegetación, corriente, substrato y/u otras características del lugar. La recolección de los invertebrados se realiza mediante una red de mano de sección cuadrada de 25 cm de lado y una malla de 250 μ m. En cualquier caso los muestreos deben de ser lo suficientemente efectivos para no mermar la frecuencia de aparición de los ejemplares y se da por finalizado cuando no se observa la captura de nuevas formas depositadas en una bandeja de plástico rectangular de 30 por 45 cm de lado. Otra condición imprescindible es

la captura de al menos 200 individuos para obtener una frecuencia (%) lo suficientemente fiable. Para los proyectos realizados en los centros educativos de secundaria se pueden utilizar sencillos coladores de cocina de 17 cm de diámetro, ya que, debido a su precio, puede permitir la participación de un mayor número de alumnos en la captura de organismos, observándose el correspondiente cuidado de no destruir los hábitats mencionados anteriormente.

La muestra obtenida se conservará en alcohol de 70° hasta su separación e identificación en el laboratorio. Es imprescindible la utilización de la lupa binocular para la determinación de los organismos hasta el nivel de familia. Para este cometido se puede utilizar la clave presentada por Rueda y López (2003) y complementar la información con Tachet et al (2000).

Una vez se dispone del correspondiente listado faunístico de nuestro estudio, clasificamos éste según la asignación trófica expuesta en la tabla 1. El nivel taxonómico utilizado es normalmente el de familia pero llega en muchos casos al nivel genérico o específico.

Facilitaremos los pasos con un ejemplo práctico (tabla 2) en el que hemos seleccionado algunas muestras (fila superior), los grupos nutricionales (segunda columna, fila 1 a 10) y los correspondientes porcentajes de aparición de los grupos en cada celda. La fila 11 nos confirma la frecuencia total que debe ser obligatoriamente de 100%. Seguidamente se procede a un recuen-

to de los grupos que superan el 15% en la fila 12. En la fila 13 los que superan el 14%, la fila 14 el 13% y así sucesivamente hasta los que superan el 0% (fila 27). Después hacemos un sumatorio de los valores positivos (fila 28). A continuación se procede al cálculo de los valores negativos: en la fila 29; la cantidad de grupos nutricionales que no han obtenido representación, en la fila 30; la cantidad de grupos nutricionales que han obtenido una frecuencia superior al 40%, en la fila 31; los que han superado el valor de 45%, en la fila 32; los que superan el 50%, en la 33; más del 60%, en la 34; más del 70% y por fin, en la fila 35 los que han superado el 80%. En la fila 36 se procede a calcular el total de negativos. Finalmente, en la fila 37 se restan los valores negativos (fila 36) de los positivos (fila 28). Este será nuestro valor IMN.

En la naturaleza existen redes tróficas cuyas estructuras suelen estar fuertemente ligadas. Un ambiente poco perturbado posee una estructura trófica compleja, rica en grupos tróficos distintos en lo que se refiere a los diferentes organismos, ya sean predadores, herbívoros, omnívoros u otros. En el mundo de los macroinvertebrados acuáticos ocurre exactamente lo mismo y esta estructura trófica es la que se ha pretendido evaluar. ¿Cuáles son las ventajas de la aplicación del IMN? Permite valorar la estructura trófica de las comunidades de macroinvertebrados de sistemas acuáticos lagunares y de los ríos, o sea, de cualquier sistema acuático continental. Se denomina

Tabla 1. Recopilación de los macroinvertebrados con sus afinidades tróficas (Tachet et al, 1987). MN = Modo de nutrición; Ad = Adultos; La = Larvas; H = Herbívoros; O = Omnívoros; D = Detritívoros; P = Predadores; Rm = Ramoneadores; Rs = Raspadores; F = Filtradores; L = Limnívoros; ChH = Chupadores herbívoros; ChP = Chupadores predadores.

Taxón	MN
PORIFERA, BRYOZOA	F
CNIDARIA, NEMERTINA: Tetrastemmatidae, Hirudidae; <i>Haemopsis</i> sp. Erpobdellidae	P
PLATHYHELMINTHA, NEMATHELMINTHA: Nematodo, Gordiacea	ChP
Aelosomatidae, Naididae	O
Branchiobdellidae, Glossiphoniidae, Piscicolidae, Hirudidae; <i>Hirudo</i> sp.	ChP
Otros anélidos	L
Acroloxidae, Ancyliidae, Bythinellidae, Ferrissiidae, Melanopsidae, Neritidae, Valvatidae	Rs
Bithyniidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Planorbidae, Physidae, Viviparidae	Rm
Bivalvia	F
Acari La.	ChP
Acari Ad.	P
Ostracoda, Triopsidae, Gammaridae, Decapoda	O
Chirocephalidae, Limnadiidae	F
Argulidae	ChP
Asellidae	D
Caenidae, Ephemerellidae: <i>Ephemerella</i> sp., Ephemeridae, Leptophlebiidae, Oligoneuriidae, Polymitarcidae,	D
Potamanthidae, Siphonuridae, Capniidae, Leuctridae, Nemouridae	Rs
Prosopistomatidae, Heptageniidae, Taeniopterygidae: <i>Brachyptera</i> sp., <i>Rhabdiopteryx</i> sp.	Rm
Baetidae (excepto <i>Raptobaetopus</i>)	P
<i>Raptobaetopus</i> sp.	H
Ephemerellidae: <i>Torleya</i> sp.	D
Taeniopterygidae: <i>Taeniopteryx</i> sp.	P
Chloroperlidae, Perlidae, Perlodidae, Odonata	ChP
Heteroptera (excepto Corixidae)	Rs
Corixidae	ChP
Agriotypidae, Sisyriidae	P
Osmyidae, Sialidae	H
Pyralidae	P
Dytiscidae: Ad., Hygrobiidae, Hydrophilidae: Larvas, Gyrinidae	ChP
Dytiscidae: La.	Rm
Elmidae, Eubriidae, Haliplidae, Helodidae, Hydraenidae, Hydrophilidae: Ad.; Limnobiidae	H
Chrysomelidae, Helophoridae: Ad., Hydrochidae	O
Helophoridae: La.	D
Dryopidae	P
Ecnomidae, Molannidae, Polycentropodidae, Rhyacophilidae	Rs
Brachycentridae, Glossosomatidae, Goeridae, Helichopsychidae, Leptoceridae, Drusinae, Stenophilacini,	ChH
Cheatopterygini, Odontoceridae, Thremmatidae,	F
Hydroptilidae	O
Hydropsychidae, Philopotamidae, Psychomyiidae	H
Phryganeidae	D
Beraeidae, Limnephilidae: Apataniinae,	Rs
Dicosmoecinae, Limnephilini, Lepidostomatidae, Sericostomatidae, Calamoceratidae,	D
Blephariceridae, Orthocladinae, Diamesinae, Corynoneurinae; Dixidae, Psychodidae	D
Tipulidae, Ephydriidae	P
Limoniidae, Chaoboridae, Chironomidae: Tanypodinae	H
Cylindrotomidae	L
Ptychopteridae, Chironomidae: Chironominae	F
Culicidae, Simuliidae, Stratiomyidae, Syrphidae	O
Ceratopogonidae	ChP
Anthomyidae, Athericidae, Dolichopodidae, Empididae, Muscidae, Rhagionidae, Scatophagidae,	
Sciomyzidae, Tabanidae,	

Tabla 2. Cálculo del índice IMN. En este ejemplo La1 a La5 corresponden a estudios realizados en humedales de Castilla La Mancha (Vicente et al, 1998). Río1 a Río5 corresponden a estudios realizados en el río Magro, provincia de Valencia (Rueda, 1997). Los valores son reales aunque se ha cambiado la nomenclatura en este trabajo.

	Nutrición	La1	La2	La3	La4	La5	Río1	Río2	Río3	Río4	Río5
Fila 1	H	0,00	0,00	0,00	0,00	39,09	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00
Fila 2	O	1,78	0,00	0,00	3,55	10,15	0,00	0,49	29,54	8,55	1,50
Fila 3	D	0,00	0,00	0,00	0,00	8,63	0,00	70,61	4,07	33,99	12,78
Fila 4	P	0,00	42,11	63,07	19,67	9,14	0,00	3,55	1,08	14,25	13,53
Fila 5	Rm	0,00	57,89	36,72	11,61	8,12	0,00	10,26	7,32	9,65	21,05
Fila 6	Rs	0,00	0,00	0,00	31,52	4,06	0,00	1,58	31,98	10,31	24,06
Fila 7	F	97,63	0,00	0,00	15,64	2,03	100,00	3,06	2,44	5,48	10,15
Fila 8	L	0,59	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	0,49	17,07	6,80	13,16
Fila 9	ChH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	4,61	3,07	0,38
Fila 10	ChP	0,00	0,00	0,22	18,01	13,71	0,00	9,37	1,90	7,68	3,38
Fila 11	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fila 12	Más de 15%	1	2	2	4	1	1	1	3	1	2
Fila 13	Más de 14%	1	2	2	4	1	1	1	3	2	2
Fila 14	Más de 13%	1	2	2	4	2	1	1	3	2	4
Fila 15	Más de 12%	1	2	2	4	2	1	1	3	2	5
Fila 16	Más de 11%	1	2	2	5	2	1	1	3	2	5
Fila 17	Más de 10%	1	2	2	5	3	1	2	3	3	6
Fila 18	Más de 9%	1	2	2	5	4	1	3	3	4	6
Fila 19	Más de 8%	1	2	2	5	6	1	3	3	5	6
Fila 20	Más de 7%	1	2	2	5	6	1	3	4	6	6
Fila 21	Más de 6%	1	2	2	5	6	1	3	4	7	6
Fila 22	Más de 5%	1	2	2	5	7	1	3	4	8	6
Fila 23	Más de 4%	1	2	2	5	8	1	3	6	8	6
Fila 24	Más de 3%	1	2	2	6	8	1	5	6	9	7
Fila 25	Más de 2%	1	2	2	6	9	1	5	7	9	7
Fila 26	Más de 1%	2	2	2	6	9	1	6	9	9	8
Fila 27	Más de 0%	3	2	3	6	9	1	9	9	10	9
Fila 28	Tot. positivos	19	32	33	80	83	16	50	73	87	91
Fila 29	0%	7	8	7	4	1	9	1	1	0	1
Fila 30	Más de 40%	1	2	1	0	0	1	1	0	0	0
Fila 31	Más de 45%	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
Fila 32	Más de 50%	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
Fila 33	Más de 60%	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Fila 34	Más de 70%	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Fila 35	Más de 80%	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Fila 36	Tot. negativos	13	12	11	4	1	15	6	1	0	1
Fila 37	Valor IMN	6	20	22	76	82	1	44	72	87	90

“Índice del Modo de Nutrición” (IMN) y su aplicación ya se presentó en diferentes comunicaciones durante el X Congreso de la Asociación Española de Limnología y II Congreso Ibérico de Limnología en 2000 (Rueda *et al.*;

2000a, 2000b; Hernández *et al.*, 2000). Los valores del IMN obtenidos en multitud de hábitats ibéricos nos han dado correlaciones estadísticas con el Índice de Diversidad de Shannon (H') (Shannon y Weaver, 1963) mayores que las

Tabla 3. Rangos de calidad trófica según el IMN.

Valor IMN	Clase	Color	Significado	
Más de 70	I	Azul	Red trófica muy diversificada	Medio saludable
55 a 69	II	Verde	Red trófica diversificada	Medio con tendencia al estrés
40 a 54	III	Amarillo	Red trófica poco diversificada	Medio estresado
20 a 39	IV	Naranja	Red trófica simplificada	Medio muy estresado
0 a 19	V	Rojo	Red trófica muy simplificada	Medio fuertemente estresado

apreciadas entre esta diversidad y el índice IBMWP (Alba-Tercedor, 2002) e incluso correlaciones negativas del IMN con el fósforo total, los fosfatos o la demanda biológica de oxígeno (todos ellos indicadores de eutrofia) mayores en términos absolutos que las correlaciones de estos indicadores de eutrofia con el índice IBMWP o H'. Los valores del índice IMN de una muestra nos aportarán una información que podrá ser comparada con otras muestras de una misma cuenca o entre cuencas distintas. Los resultados de nuestro estudio están basados en el análisis de más de 500 muestras.

Rangos nutricionales de la comunidad estudiada

Al igual que en el índice biológico de calidad IBMWP (Alba Tercedor et al, 1988; 2002), el IBGN (AFNOR, 1992), el TV (Verneaux y Tuffery, 1967), el QBR (Munné et al, 1998) y el IHF (Pardo et al, 2002) y siguiendo las normas y recomendaciones del III Seminario técnico organizado por la Comunidad Europea sobre "Métodos biológicos de evaluación de la calidad del agua" (Ghetti et al, 1980) así como de las sugerencias de la directiva marco en el ámbito de la

política de aguas (COM (97) 49, 1997), hemos establecido los colores y los rangos de complejidad trófica para su oportuna representación gráfica (tabla 3).

Otro tipo de información derivada del IMN

Podemos calcular un IMN máximo (IMN Máx) que corresponderá, como bien dice su nombre, al máximo valor del índice IMN potencialmente factible en el medio estudiado, por ejemplo; diferentes puntos de un mismo río, diferentes puntos de una misma cuenca, diferentes puntos de un mismo lago, diferentes charcas de un mismo humedal costero. El valor de "IMN Máx" nos permitirá calcular la distancia (frecuencia relativa) entre un punto de muestreo y el conjunto del sistema acuático estudiado al dividir $IMN / IMN \text{ Máx}$, denominando Equitabilidad IMN (E-IMN) a este último cálculo.

El IMN Máx se calcula desde nuestra tabla 2, añadiendo dos columnas a su derecha (tabla 4). La primera columna añadida se denomina "Potencialidad máxima" (Pot. Máx.). En esta columna situaremos los porcentajes máximos que corresponden a cada modo de nutrición de las diferentes muestras y proce-

Tabla 4. Cálculo de la Potencialidad y Equitabilidad. Pot. Máx = Potencialidad Máxima; Pot. = Potencialidad; IMN-Máx = IMN Máximo; E-IMN = Equitabilidad IMN. En este ejemplo se supone que las muestras son de diferentes puntos de un mismo lago.

Nutrición	La1	La2	La3	La4	La5	La6	La7	La8	La9	La10	Pot. Máx	Pot.
H	0,00	0,00	0,00	0,00	39,09	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	39,09	9,05
O	1,78	0,00	0,00	3,55	10,15	0,00	0,49	29,54	8,55	1,50	29,54	6,84
D	0,00	0,00	0,00	0,00	8,63	0,00	70,61	4,07	33,99	12,78	70,61	16,35
P	0,00	42,11	63,07	19,67	9,14	0,00	3,55	1,08	14,25	13,53	63,07	14,60
Rm	0,00	57,89	36,72	11,61	8,12	0,00	10,26	7,32	9,65	21,05	57,89	13,41
Rs	0,00	0,00	0,00	31,52	4,06	0,00	1,58	31,98	10,31	24,06	31,98	7,40
F	97,63	0,00	0,00	15,64	2,03	100,00	3,06	2,44	5,48	10,15	100,00	23,16
L	0,59	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	0,49	17,07	6,80	13,16	17,07	3,95
ChH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	4,61	3,07	0,38	4,61	1,07
ChP	0,00	0,00	0,22	18,01	13,71	0,00	9,37	1,90	7,68	3,38	18,01	4,17
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	431,87	100
Más de 15%												2
Más de 14%												3
Más de 13%												4
Más de 12%												4
Más de 11%												4
Más de 10%												4
Más de 9%												5
Más de 8%												5
Más de 7%												6
Más de 6%												7
Más de 5%												7
Más de 4%												8
Más de 3%												9
Más de 2%												9
Más de 1%												10
Más de 0%												10
Tot. positivos												97
0%												0
Más de 40%												0
Más de 45%												0
Más de 50%												0
Más de 60%												0
Más de 70%												0
Más de 80%												0
Tot. negativos												0
Valor IMN	6	20	22	76	82	1	44	72	87	90	IMN Máx	97
E-IMN	0,06	0,21	0,23	0,78	0,85	0,01	0,45	0,74	0,90	0,93		

deremos a sumar los valores de dichos porcentajes tal y como si fuese una nueva muestra obtenida en el campo. La segunda columna, llamada Potencialidad (Pot.), pasa a ser el cálculo del porcentaje de la columna anterior (Pot.

Máx.). Ahora podemos calcular el IMN de la columna denominada Pot., tal y como se hizo en las muestras de campo, éste será el IMN Máx.

Por último, cuando tenemos un seguimiento periódico en un estudio trófico,

disponemos de suficiente información para calcular el valor IMN medio y el IMN conjunto. El IMN medio se calcula con la media del valor IMN obtenido en el punto de muestreo que corresponde pero en diferente periodo. Por ejemplo si nuestro estudio fue de 5 campañas de muestreo durante un año (Por ejemplo; La1 01 a La1 05), entonces, el IMN medio del punto será:

$$\text{IMN medio de La1} = (\text{IMN La1 01} + \text{IMN La1 02} + \text{IMN La1 03} + \text{IMN La1 04} + \text{IMN La1 05}) / 5.$$

Sin embargo el "IMN conjunto" se obtiene calculando las medias de todos los porcentajes de los grupos nutricionales de las muestras implicadas (de ahí la importancia de estandarizar los muestreos), obteniéndose una nueva muestra (tabla 5). El siguiente paso es

Tabla 5. Cálculo del IMN medio y del IMN conjunto.

Nutrición	La1 01	La1 02	La1 03	La1 04	La1 05	IMN Medio	IMN conjunto
H	0,00	0,00	0,00	0,00	39,09		39,09 / 5 = 7,82
O	1,78	0,00	0,00	3,55	10,15		15,48 / 5 = 3,10
D	0,00	0,00	0,00	0,00	8,63		8,63 / 5 = 1,73
P	0,00	42,11	63,07	19,67	9,14		133,99 / 5 = 26,80
Rm	0,00	57,89	36,72	11,61	8,12		114,34 / 5 = 22,87
Rs	0,00	0,00	0,00	31,52	4,06		35,58 / 5 = 7,12
F	97,63	0,00	0,00	15,64	2,03		115,3 / 5 = 23,06
L	0,59	0,00	0,00	0,00	5,08		5,67 / 5 = 1,13
ChH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0 / 5 = 0,00
ChP	0,00	0,00	0,22	18,01	13,71		31,94 / 5 = 6,39
Total	100	100	100	100	100		500 / 5 = 100
Más de 15%	1	2	2	4	1		3
Más de 14%	1	2	2	4	1		3
Más de 13%	1	2	2	4	2		3
Más de 12%	1	2	2	4	2		3
Más de 11%	1	2	2	5	2		3
Más de 10%	1	2	2	5	3		3
Más de 9%	1	2	2	5	4		3
Más de 8%	1	2	2	5	6		3
Más de 7%	1	2	2	5	6		5
Más de 6%	1	2	2	5	6		6
Más de 5%	1	2	2	5	7		6
Más de 4%	1	2	2	5	8		6
Más de 3%	1	2	2	6	8		7
Más de 2%	1	2	2	6	9		7
Más de 1%	2	2	2	6	9		9
Más de 0%	3	2	3	6	9		9
Total positivos	19	32	33	80	83		79
0%	7	8	7	4	1		1
Más de 40%	1	2	1	0	0		0
Más de 45%	1	1	1	0	0		0
Más de 50%	1	1	1	0	0		0
Más de 60%	1	0	1	0	0		0
Más de 70%	1	0	0	0	0		0
Más de 80%	1	0	0	0	0		0
Total negativos	13	12	11	4	1		1
Valor IMN	6	20	22	76	82	54,2	78

el de volver a calcular el valor del IMN (en este caso será el IMN conjunto de La1).

Al comparar estos dos últimos conceptos entre sí (IMN medio e IMN conjunto) sabremos que un punto de muestreo posee una fuerte heterogeneidad nutricional durante el periodo estudiado (en el tiempo) si el IMN medio es muy inferior al valor del IMN conjunto. Por el contrario si sus valores son similares existirá una homogeneidad nutricional en el tiempo.

Discusión

Desde hace varios años se utiliza un interesante índice biológico como es el IBMWP de Alba Tercedor et al (2002), denominado anteriormente BMWP' (Alba Tercedor et al, 1988), lo que ha permitido comparar los ríos entre sí, e incluso diferentes cuencas de la Península Ibérica separadas por cientos de kilómetros. Recientemente se han incorporado otros dos índices; el QBR (Munné et al, 1998) para el bosque de ribera y el IHF (Pardo et al, 2002) para el hábitat fluvial, cuya aportación al procesamiento de la información de los ríos ha sido importante. El objetivo del presente estudio es aportar un índice ecológico que pueda ser utilizado en todo tipo de proyecto sobre el agua, sea para ríos, lagos, lagunas o cualquier otro ambiente acuático continental. Para su uso es imprescindible la identificación de los macroinvertebrados acuáticos al igual que en la aplicación del índice IBMWP, posteriormente se ordenan los

organismos según su modo de nutrición para obtener el valor IMN y poder determinar el grado de complejidad de la estructura trófica. Para facilitar la identificación de los organismos en la enseñanza secundaria se proporcionaron unas sencillas claves dicotómicas (Rueda y López, 2003) que pueden complementarse con otra publicación (Tachet et al, 2000) muy necesaria en los proyectos sobre las aguas continentales.

A modo de conclusión se puede decir que la utilización del índice IMN permite valorar el estado trófico de cualquier medio acuático y detectar cualquier alteración en su medio, sea por cuestiones naturales (por ejemplo con respecto a la estacionalidad del agua en dicho medio) o debido a los aportes de diferentes vertidos en el sistema. Incluir la participación de la enseñanza secundaria en los estudios sobre el agua puede aportar un mayor conocimiento sobre la estructura y función de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, y también aumentar la concienciación estudiantil sobre un tema tan importante como el mantenimiento y protección de los diferentes sistemas acuáticos, una base para la sostenibilidad mundial del agua.

Referencias bibliográficas

- AFNOR. 1992. *Essais des Eaux. Détermination de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)*. Association Française de

Normalization, Norme Homologuée T90-350.

- ALBA-TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*, Almería, España: 203-213.
- ALBA-TERCEDOR, J. y PUJANTE, A. 2000. Running water biomonitoring in Spain. Opportunities for a predictive approach. In: RIVPACS and similar techniques. JF. WRIGHT, SUTCLIFFE, DW. y FURSE, M. (Eds.): 207-216. Freshwater Biological Association.
- ALBA-TERCEDOR, J. y SÁNCHEZ-ORTEGA, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56.
- ALBA-TERCEDOR, J., JÁIMEZ, P., ALVAREZ, M., AVILÉS, J., BONADA, N., CASAS, J., MELLADO, A., ORTEGA, M., PARDO, I., PRAT, N., RIERADEVALL, M^a., ROBLES, S., SÁINZ, C E., SÁNCHEZ, A., SUÁREZ, M^a L., TORO, M., VIDAL, M^a R., VIVAS, S., y ZAMORA, C. 2002. Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica* 21 (3-4): 175-185.
- BONADA, N., PRAT, N., MUNNÉ, M., RIERADEVALL, M^a., ALBA-TERCEDOR, J., ALVAREZ, M., CASAS, J., JÁIMEZ, P., MELLADO, A., PARDO, I., ROBLES, S., RAMÓN, ML., SUÁREZ, M^a L., TORO, M., VIDAL, M^a R., VIVAS, S., y ZAMORA, C. 2002. Criterios para la selección de condiciones de referencia en los ríos mediterráneos. *Limnetica* 21: 99-114.
- COM (97) 49. 1997. *Propuesta de directive al consejo por la que se establece un marco comunitario en el ámbito de la política de aguas*. CCE final: 73 pp.
- CUMMINS, FW. y KLUG, MJ. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10: 147-172.
- GHETTI, P.F., y BONAZZI, G., 1980. *I macroinvertebrati nella sorveglianza ecologica dei corsi d'acqua. Promozione della qualità dell'ambiente*, AQ/1/127. Roma.
- HERNÁNDEZ, R., RUEDA, J. y LÓPEZ, C. 2000. Biología, ecología y caracterización de los macroinvertebrados del río Júcar en la provincia de Albacete. *Libro de actas del X Congreso de la Asociación Española de Limnología y II Congreso Ibérico de Limnología*. P87.
- MUNNÉ, A., SOLÁ, C. y PRAT, N. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.
- PARDO, I., ALVAREZ, M., CASAS, J., MORENO, JL., VIVAS, S., BONADA, N., ALBA-TERCEDOR, J., JÁIMEZ, P., MOYÀ, G., PRAT, N., ROBLES, S., SUÁREZ, M^a L., TORO, M., y VIDAL-ABARCA, M^aR. 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un

- índice de hábitat. *Limnetica* 21 (3-4): 115-133.
- RUEDA, J. 1997. *Biodiversidad, calidad biológica y caracterización de las aguas del río Magro (NW de Valencia)*. Universidad de Valencia. Tesis de licenciatura. 168 pp.
- RUEDA, J. HERNÁNDEZ, R., LÓPEZ, C. y MARTÍNEZ, F. 2000a. Ecología y biología de los macroinvertebrados del río Magro (desde su origen en Utiel hasta el embalse de Forata al NW de la provincia de Valencia). *Libro de actas del X Congreso de la Asociación Española de Limnología y II Congreso Ibérico de Limnología*. P94.
- RUEDA, J. y LÓPEZ, C. 2003. Valoración de la calidad biológica de los ríos. Claves de identificación para la enseñanza secundaria. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 17: 107-123.
- RUEDA, J., LÓPEZ, C. y HERNÁNDEZ, R. 2000b. Estudio preliminar de los invertebrados acuáticos del Marjal dels Moros, Sagunto (Valencia). *Libro de actas del X Congreso de la Asociación Española de Limnología y II Congreso Ibérico de Limnología*. P133.
- SHANNON, C.E., y WEAVER, W. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois.
- TACHET, H., BOURNAUD, M. y RICHOUX, P. 1987. *Introduction à l'étude des invertébrés des eaux douces, systématique élémentaire et aperçu écologique*. Université de Lyon. Association Française de Limnologie. 155 pp.
- TACHET, H., RICHOUX, P., BOURNAUD, M. y USSEGLIO-POLATERA, P. 2000. *Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie*. CNRS Éditions. 588 pp.
- VERNEAUX, J. y TUFFERY, G. 1967. Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. *Ann.Sci. Univ. Besançon, Zool.*, 3: 79-90.
- VICENTE, E., MIRACLE, RM., ARMENGOL, J., CAMACHO, A., ROCA, J., SORIA, JM., SENDRA, MD., SANCHIS, D., ROJO, C., BORONAT, MD., ORTEGA, E., RICO, E., GARCÍA-AVILÉS, J. y RUEDA, J. 1998. *Estudio limnológico de 28 humedales de Castilla-La Mancha como base para la elaboración del Plan de Ordenación de Recursos Naturales*. Universitat de València. Unidad de Investigación de Limnología. 447 pp.