

APROXIMACIÓN A LOS SISTEMAS ACUÁTICOS LÓTICOS: MUESTREO, TRATAMIENTO DE DATOS E ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA. (1 Muestreo y 1 Sesión)

Muestreo

Introducción

Los sistemas de aguas continentales se clasifican de acuerdo a sus características fisico-químicas y según el eje que define su funcionalidad, es decir, por ejemplo, en los sistemas de aguas tranquilas como lagos, estanques o lagunas (sistemas lénticos o leníticos) los procesos funcionales como la producción primaria, la descomposición, el transporte de materiales, etc. se desarrollan a lo largo de un eje vertical (superficie-fondo) que viene marcado por la gravedad y la penetración de la luz. En los ambientes que fluyen como los ríos (sistemas lóticos), este eje funcional, aunque también marcado por la gravedad, es prácticamente horizontal (cabecera-desembocadura), produciéndose diferencias en su estructura física (velocidad de la corriente, transporte de materiales, turbulencias, etc.) y generándose cambios en las propiedades del agua y, por lo tanto, de las comunidades que viven en el sistema, a lo largo de su recorrido. Por este motivo, es interesante conocer algunas características fundamentales del ecosistema, como la velocidad de la corriente, la cantidad de sales disueltas (conductividad), la proporción de protones (pH), el oxígeno disuelto o la temperatura del agua.

Objetivos

- ✓ Iniciarse en las metodologías de muestreo de los sistemas acuáticos.
- ✓ Medición de algunos parámetros fundamentales en los sistemas lóticos.
- ✓ Observación de posibles cambios en las características del sistema a lo largo de su recorrido y discusión de sus causas.

Materiales y Metodología

- 2 pHmetros
- 2 Conductímetro
- 2 Oxímetros
- 6 frascos lavadores
- Papel
- Cintas métricas y metros rígidos
- 2 Cronómetros, 2 naranja
- Tubos con acetona al 90% para la extracción de clorofilas bentónicas
- Bastoncillos, cutter, reglas pequeñas, rotuladores
- Botes de litro de vidrio para recoger muestras de agua.
- Botas
- Guantes
- Duquesas para muestras de organismos.

Lugar de Muestreo

El muestreo se realizará en el río Guadalix, al NE de la CAM. A lo largo de su cauce se realizarán tres paradas para la toma de muestras (Ver Figura 1). El primer punto de muestreo se encuentra situado poco antes de San Agustín de Guadalix en una zona recreativa. El segundo punto está en la carretera entre Pedrezuela y la urbanización de Corepo. El tercer lugar de toma de muestras se encuentra situado a la salida de Guadalix de la Sierra, poco antes del comienzo del embalse de Pedrezuela. En cada punto de muestreo se medirán los mismos parámetros: conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, pH, concentración de pigmentos (de organismos planctónicos y bentónicos), velocidad de la corriente, perfil del cauce y amplitud del bosque de ribera.

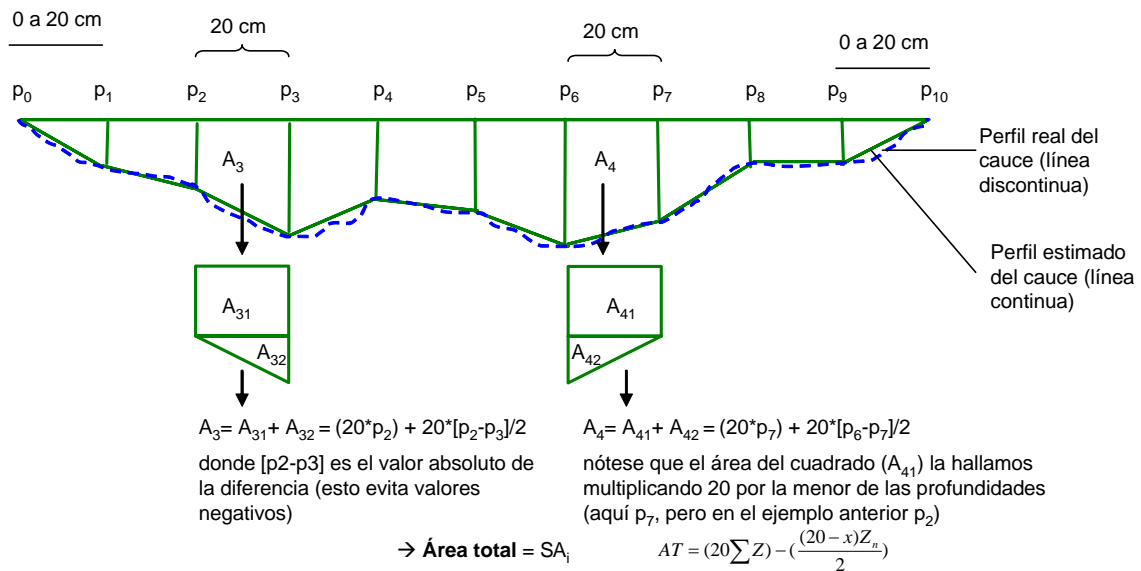
Procedimiento para la medición de los parámetros:

1. **El oxígeno:** Para la medición de la concentración de oxígeno se utilizará un oxímetro unido a una sonda. El oxímetro habrá sido previamente calibrado. La sonda está protegida con un capuchón que hay que retirar cuidadosamente antes de la medición. Para medir, se introduce la sonda en el agua y se mueve en círculos lentamente mientras que se enciende el aparato y se espera a que se estabilice la medida. Una vez estabilizada se anota el valor de la concentración de oxígeno en mg l^{-1} y en % de saturación así como la temperatura del agua. La medición se realizará en tres puntos distintos separados unos metros unos de otros (aguas arriba y aguas abajo), preferentemente en la zona central del río. Después de medir, el electrodo ha de ser lavado con agua destilada cuidadosamente y protegido con el capuchón.
2. **Sales disueltas (conductividad):** Para medir este parámetro se utilizará un conductivímetro unido a una sonda. El conductivímetro habrá sido previamente calibrado. Para medir, se introduce la sonda en el agua, se enciende el aparato y se espera que se estabilice la medida. Una vez estabilizada se anota el valor de la conductividad así como la temperatura del agua. La medición se realizará en tres puntos distintos separados unos metros unos de otros (aguas arriba y aguas abajo), preferentemente en la zona central del río. Después de medir, el electrodo ha de ser lavado con agua destilada cuidadosamente.
3. **Temperatura del agua:** La temperatura del agua puede ser medida con cualquiera de las sondas que se utilizarán para medir el pH, la conductividad o la concentración de oxígeno del agua.
4. **pH:** Para medir este parámetro utilizaremos un pHmetro previamente calibrado unido a una sonda. La sonda está protegida con un capuchón que hay que retirar cuidadosamente antes de la medición procurando no derramar el líquido que contiene, si esto sucediera habrá que rellenarlo con un poco de agua destilada. Para medir, se introduce la sonda en el agua, se enciende el aparato y se espera a que se estabilice la medida. Una vez estabilizada se anota el valor del pH. La medición se realizará en tres puntos distintos separados unos metros unos de otros (aguas arriba y aguas abajo), preferentemente en la

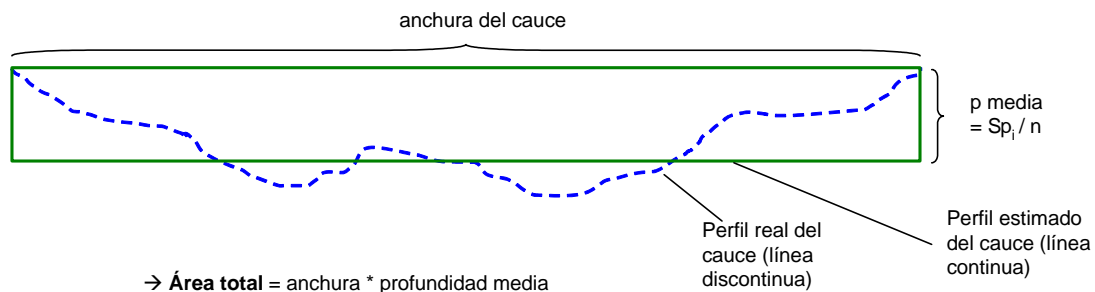
zona central del río. Después de medir, el electrodo ha de ser lavado con agua destilada cuidadosamente y protegido con el capuchón.

5. **Anchura del cauce, área y velocidad de la corriente:** La velocidad de la corriente se medirá con una naranja, un cronómetro y una cinta métrica. Una persona se pondrá aguas arriba en el punto cero del metro y dejará libre a la naranja que será recogida 10m más abajo por una segunda persona. Se medirá con un cronómetro el tiempo que tarda la naranja en recorrer 10 m. Hay que tener en cuenta que aquí estamos midiendo la velocidad solo en superficie, las velocidades del agua cambian en el fondo, en el centro y en los laterales del cauce. Por ello, para estimar más correctamente la velocidad de la corriente, la media de nuestras mediciones será multiplicada por 0.8 (Allan, 1996). También se ha de medir la anchura del cauce con una cinta métrica y la profundidad del mismo cada 20 cm en las zonas más estrechas del río en donde los errores de medida son menores. En la sesión de laboratorio ulterior se calculará el área que junto con la velocidad del agua, nos permitirá conocer el caudal en m³/s. Para ello se pueden utilizar alguna de las siguientes aproximaciones:

a) Estima de la sección del cauce como suma de los polígonos en los que lo dividimos



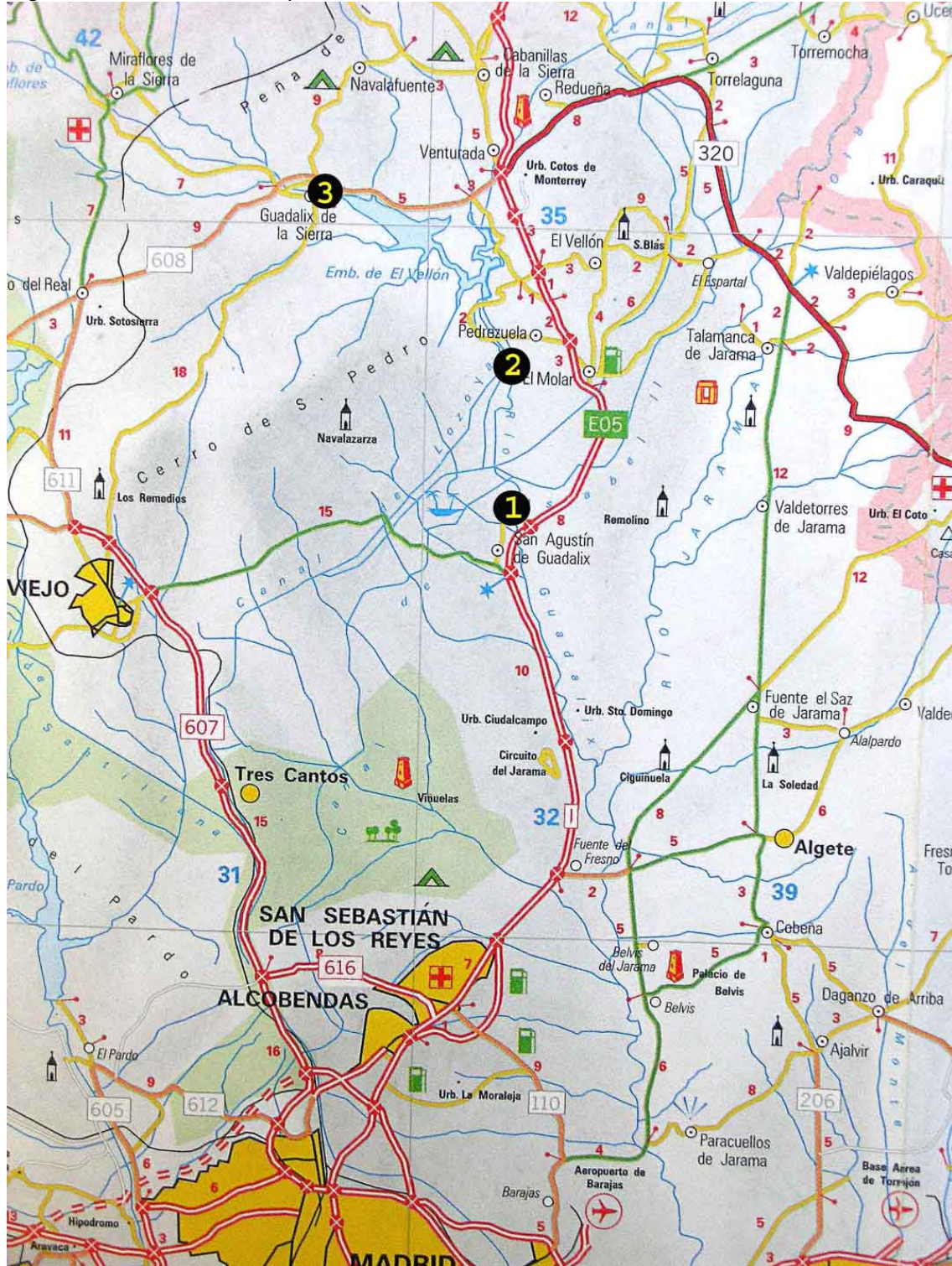
b) Estima de la sección del cauce asumiendo que corresponde a un rectángulo



6. **Extracción de clorofilas del fitobentos:** El grupo ocupado de las clorofilas tendrá tres tubos de rosca y un frasco con acetona al 90%. Deberán recoger tres piedras sumergidas en el cauce y raspar sus superficies (4 cm²) ayudándose de un *cutter*, unos

bastoncillos y la acetona. El material raspado se meterá en los tubos de rosca junto con 3 o 4 ml más de acetona. También recogerán agua del centro del cauce en una botella de litro.

Figura 1: Situación de los puntos de muestreo sobre el río Guadalix.



Sesión:

TRATAMIENTO DE DATOS E ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA

Introducción

La contaminación del agua es la causa principal de la desaparición progresiva de especies animales y vegetales. Este fenómeno discurre paralelo al crecimiento económico en los países desarrollados y se ha agudizado especialmente en nuestros ríos y lagos. Además, otra de las causas de la disminución de las comunidades acuáticas es la variación artificial del caudal de sus aguas. Las fluctuaciones inducidas por cambios en el régimen del caudal pueden modificar la composición de las especies, sus ciclos de vida y la abundancia de las poblaciones.

Para evaluar el impacto que sobre los sistemas acuáticos pueden tener los anteriores factores de perturbación, existen una serie de **índices de calidad de agua** que permiten asignar un valor a la calidad tomando como referencia un grupo de parámetros medidos. Tienen la ventaja de ser fáciles de usar y proporcionan una idea rápida de la calidad, aunque son arbitrarios y debido a su reduccionismo pueden inducir a error.

Objetivos

- ✓ Conocer la calidad de distintas muestras de agua utilizando diferentes índices.
- ✓ Discutir y contrastar los resultados obtenidos, analizando las ventajas e inconvenientes del uso de las distintas técnicas.

Materiales y Metodología

- Hojas cuadrículadas para realizar las gráficas.
- Calculadora.
- Mapas
- Pinturas de colores o rotuladores para pintar los diferentes tramos del río según la calidad del agua.

Existen diferentes índices de calidad de agua, a continuación se muestran los que se han de calcular: el ISQA y el de los Saprobios.

Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

A partir de los datos facilitados en la Tabla 1 se ha de calcular el índice ISQA. Este estimador de la calidad del agua es un índice físico-químico que se establece a partir de cinco parámetros según la fórmula:

$$ISQA = T (A+B+C+D)$$

Prácticas de Ecología. 3º de Biología, UAM

T se deduce de la temperatura en °C del agua del sistema acuático estudiado (t), toma valores de 1 a 0,8. Si $t \leq 20$ °C, T vale 1; si $t > 20$ °C, T se calcula como $T=1-(t-20)*0.0125$.

A se deduce del consumo de permanganato (DQO)¹ =(a) expresado en mg/l, toma valores de 0 a 30. Si $a \leq 10$, $A=30-a$; si $60 > a > 10$, $A=21-(0.35*a)$; si $a > 60$, $A=0$.

B se deduce a partir de la materia en suspensión (MES) en mg/l, toma valores de 0 a 25. Si $MES \leq 100$, $B=25-(0.15*MES)$; si $250 > MES > 100$, $B=17-(0.07*MES)$; si $MES > 250$, $B=0$.

C se deduce a partir del oxígeno disuelto (O₂) en mg/l, toma valores de 0 a 25. Si $O_2 \geq 10$, $C=25$, para valores más bajos $C=2.5*O_2$.¹

D se deduce de la conductividad expresada en $\mu S/cm$ (d) a 18 °C, toma valores de 0 a 20. Si $d \leq 4000$, $D=(3.6-\log d)*15.4$; Si $d > 4000$, $D=0$. *La conductividad ha sido medida a 25 °C, por lo que hay que convertirla a 18 °C multiplicándola por 0.86.*

Este índice tiene valores máximos de 100 para una agua de excelente calidad y de 0 para una de calidad pésima. La clasificación del agua se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1: Parámetros medidos en el río Guadalix en el año 2000

Punto de muestreo	Temperatura °C	DQO ₅ (a) mg O ₂ /l	MES mg/l	O ₂ disuelto mg/l	Conductividad $\mu S/cm$	I SQA
1	13	9.7	80	9.5	267	
2	17	68	228	5.2	1635	
3	15	27	100	9.2	996	

Tabla 2: Clasificación de la calidad del agua según el Índice I SQA.

Valor del Índice	Tipo de agua	Color
76-100	Aguas claras sin aparente contaminación.	Azul
51-75	Ligero color del agua, con espumas y ligera turbidez del agua, no natural.	Verde
26-50	Apariencia de aguas contaminadas y de fuerte olor	Amarillo
0-25	Aguas negras , con procesos de fermentación y olor	rojo

¹ Demanda Química de Oxígeno (DQO): Cantidad de oxidante enérgico (dicromato o permanganato) consumido en la oxidación de todas las sustancias reducidas presentes en una muestra de agua, medido en condiciones estandarizadas. Se expresa en mg por litro de oxígeno equivalente a la cantidad de oxidante empleado. Un valor DQO elevado indica un agua con muchas sustancias oxidables.

Índices biológicos

Son índices que miden la calidad del medio basándose en los organismos indicadores que lo pueblan. Dependiendo de la sensibilidad de cada organismo a la contaminación, el índice biológico le asigna un valor.

En la vigilancia y control de la contaminación en base a organismos como “bioindicadores”, existen multitud de metodologías que utilizan una amplia variedad de organismos: bacterias, protozoos, algas, macrófitos, macroinvertebrados, peces, etc. La mayoría de los índices bióticos se han elaborado para usarlos en un área geográfica concreta, y posteriormente, se han adaptado a otras zonas adecuando las listas de taxones y los valores de sensibilidad.

Desde su introducción han mostrado ser buenos instrumentos de control de los ecosistemas acuáticos y han complementado la información dada por los parámetros físico-químicos clásicos. De hecho, para poder aplicar la Directiva Marco del Agua (DMA 2000/60/CE) en su Anexo V, se requiere, entre otras cosas, poder identificar los elementos de calidad biológica (fitobentos, macrófitos, fitoplancton, fauna de invertebrados y peces), con el objetivo de establecer el estado ecológico de los sistemas acuáticos.

Aquí sólo veremos y aplicaremos dos de estos índices biológicos, el IBMWP y el IBD

El índice IBMWP

El índice IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party) (Alba-Tecedor et al., 2004) antes nombrado BMWP' (Alba-Tecedor y Sánchez Ortega, 1988), es una adaptación a las aguas de los ríos de la Península a partir del original (BMWP) creado para ríos de Gran Bretaña. Existe también una versión adaptada a los ríos de Cataluña llamada IBMWPC (Benito de Santos y Puig García, 1999). El uso de este índice requiere identificar los macroinvertebrados acuáticos a nivel de familia, tras la identificación se elabora una lista con las familias presentes y se busca la puntuación que se da a cada una según unas tablas estandarizadas por áreas geográficas (ver Tabla 3). Finalmente, el valor del índice se obtiene mediante la suma de las puntuaciones de cada familia.

Este valor se hace corresponder con una determinada clase de calidad de agua según la Tabla 4. Así, un valor de 50 para IBMWP, correspondería a un agua contaminada de clase III, con una calidad o estado ecológico “aceptable o moderado”. Y ese punto se representaría en la red hidrográfica con color amarillo (véase la última columna en la Tabla 4). El establecimiento de colores para cada categoría de calidad del agua viene determinado por la DMA en su Anexo V en donde se expone un código de colores para el estado ecológico de las masas de agua, común para todos los Estados miembros de la Unión Europea.

Prácticas de Ecología. 3º de Biología, UAM

Tabla 3: Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del IBMWP

ARÁCNIDOS	<i>Punt.</i>	EFEMERÓPTEROS	<i>Punt.</i>	ODONATOS	<i>Punt.</i>
<i>Hidracarina</i>	4	<i>Baetidae</i>	4	<i>Aeshnidae</i>	8
COLEÓPTEROS		<i>Caenidae</i>	4	<i>Calopterygidae</i>	8
<i>Chrysomelidae</i>	4	<i>Ephemerellidae</i>	7	<i>Coenagrionidae</i>	6
<i>Clambidae</i>	5	<i>Ephemeridae</i>	10	<i>Cordulegasteridae</i>	8
<i>Curculionidae</i>	4	<i>Heptageniidae</i>	10	<i>Corduliidae</i>	8
<i>Dryopidae</i>	5	<i>Leptophlebiidae</i>	10	<i>Gomphidae</i>	8
<i>Dytiscidae</i>	3	<i>Oligoneuriidae</i>	5	<i>Lestidae</i>	8
<i>Elmidae</i>	5	<i>Polymitarcidae</i>	5	<i>Libellulidae</i>	8
<i>Gyrinidae</i>	3	<i>Potamanthidae</i>	10	<i>Platycnemididae</i>	6
<i>Haliplidae</i>	4	<i>Prosopistomatidae</i>	7	OLIGOQUETOS	
<i>Helophoridae</i>	5	<i>Siphonuridae</i>	10	Todos	1
<i>Hydraenidae</i>	5	HETERÓPTEROS		PLECÓPTEROS	
<i>Hydrochidae</i>	5	<i>Aphelocheiridae</i>	10	<i>Capniidae</i>	10
<i>Hydrophilidae</i>	3	<i>Corixidae</i>	3	<i>Chloroperlidae</i>	10
<i>Hygrobiidae</i>	3	<i>Gerridae</i>	3	<i>Leuctridae</i>	10
<i>Noteridae</i>	3	<i>Hydrometridae</i>	3	<i>Nemouridae</i>	7
<i>Psephenidae</i>	3	<i>Mesoveliidae</i>	3	<i>Perlidae</i>	10
<i>Scirtidae</i>	3	<i>Naucoridae</i>	3	<i>Perlodidae</i>	10
(=Helodidae)	3	<i>Nepidae</i>	3	<i>Taeniopterygidae</i>	10
CRUSTÁCEOS		<i>Notonectidae</i>	3	TRICÓPTEROS	
<i>Asellidae</i>	3	<i>Pleidae</i>	3	<i>Beraeidae</i>	10
<i>Astacidae</i>	8	<i>Veliidae</i>	3	<i>Brachycentridae</i>	10
<i>Atyidae</i>	6	HIRUDÍNEOS		<i>Calamoceratidae</i>	10
<i>Corophiidae</i>	6	<i>Erpobdellidae</i>	3	<i>Ecnomidae</i>	7
<i>Gammaridae</i>	6	<i>Glossiphoniidae</i>	3	<i>Glossosomatidae</i>	8
<i>Ostracoda</i>	3	<i>Hirudidae</i>	3	<i>Goeridae</i>	10
<i>Palaemonidae</i>	6	<i>Piscicolidae</i>	4	<i>Hydropsychidae</i>	5
DÍPTEROS		NEURÓPTEROS		<i>Hydroptilidae</i>	6
<i>Anthomyiidae</i> (*)	4	<i>Sialidae</i>	4	<i>Lepidostomatidae</i>	10
<i>Athericidae</i>	10	LEPIDÓPTEROS		<i>Leptoceridae</i>	10
<i>Blephariceridae</i>	10	<i>Crambidae</i> (=Pyrallidae)	4	<i>Limnephilidae</i>	7
<i>Ceratopogonidae</i>	4	MOLUSCOS		<i>Molannidae</i>	10
<i>Chironomidae</i>	2	<i>Ancylidae</i>	6	<i>Odontoceridae</i>	10
<i>Culicidae</i>	2	<i>Bithyniidae</i>	3	<i>Philopotamidae</i>	8
<i>Dixidae</i>	4	<i>Ferrissidae</i>	6	<i>Phryganeidae</i>	10
<i>Dolichopodidae</i>	4	<i>Hydrobiidae</i>	3	<i>Polycentropodidae</i>	7
<i>Empididae</i>	4	<i>Lymnaeidae</i>	3	<i>Psychomyiidae</i>	8
<i>Ephydriidae</i>	2	<i>Neritidae</i>	6	<i>Rhyacophilidae</i>	7
<i>Limoniidae</i>	4	<i>Physidae</i>	3	<i>Sericostomatidae</i>	10
<i>Psychodidae</i>	4	<i>Planorbidae</i>	3	<i>Uenoidae</i> (=Thremmatidae)	10
<i>Ptychopteridae</i>	4	<i>Sphaeriidae</i>	3	TURBELARIOS	
<i>Rhagionidae</i>	4	<i>Thiaridae</i>	6	<i>Dendrocoelidae</i>	5
<i>Scatophagidae</i> (*)	4	<i>Unionidae</i>	6	<i>Dugesidae</i>	5
<i>Sciomyzidae</i>	4	<i>Valvatidae</i>	3	<i>Planariidae</i>	5
<i>Simuliidae</i>	5	<i>Viviparidae</i>	6		
<i>Stratiomyidae</i>	4				
<i>Syrphidae</i>	1				
<i>Tabanidae</i>	4				
<i>Thaumaleidae</i>	2				
<i>Tipulidae</i>	5				

(*) *Anthomyiidae* y *Scatophagidae* se agrupaban antes como *Muscidae*

Prácticas de Ecología. 3º de Biología, UAM

El problema de establecer límites estrictos de calidad de aguas implica la necesidad de reconocer situaciones intermedias entre unos y otros. Es por ello que aquellos valores que queden 5 unidades por exceso o defecto de los límites en la Tabla 4, han de considerarse entre 2 clases de calidad, alternando los colores representativos de las clases de calidad correspondientes. Por ejemplo, un valor de 103, quedaría intermedio entre las clases I y II (al sumarle o restarle 5 unidades) y por lo tanto correspondería a un agua de clase I-II, y a la estación de muestreo se la representaría en el mapa con colores azul y verde.

Este índice, por tanto, es de tipo cualitativo y no tiene en cuenta las distintas abundancias en que pueden aparecer las diferentes familias. Es decir, basta con que un solo ejemplar de una familia aparezca en la muestra para que se sume su contribución al índice, mientras que los posteriores ejemplares de esa familia que puedan encontrarse ya no serán tenidos en consideración.

Tabla 4:

Clase	Calidad	Valor	Significado	Color
I	Muy Buena	>100	Cursos de aguas no contaminados o no alterados de forma sensible	Azul
II	Aceptable	61-100	Cursos de aguas con leves signos de contaminación o alteración	Verde
III	Dudosa	36-60	Cursos de aguas contaminados o alterados en situación dudosa (sistema alterado)	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Cursos de aguas muy contaminados en situación crítica (sistema muy alterado)	Naranja
V	Muy Crítica	<15	Cursos de aguas fuertemente contaminados, en situación muy crítica (sistema fuertemente alterado)	Rojo

Para calcular los índices IBMWP de cada uno de los puntos de muestreo que tomamos durante la salida de campo al río Guadalix, se han de utilizar los datos taxonómicos de las Tablas 5, 6 y 7 y calcular el índice conforme a las anteriores directrices.

Tabla 5: Punto de muestreo 1

Familia	Valor
Ancylidae	
Athericidae	
Baetidae	
Caenidae	
Simuliidae	
Chironomidae	
Elmidae	
Heptageniidae	
Leuctridae	
Hydraenidae	
Chloroperlidae	
Limnephilidae	
Rhyacophilidae	
Oligochaeta	
Sericostomatidae	

IBMWP	
-------	--

Tabla 6: Punto de muestreo 2

Familia	Valor
Chironomidae	
Erpobdellidae	
Hydrophilidae	
Oligochaeta	
Sialidae	

IBMWP	
-------	--

Tabla 7: Punto de muestreo 3

Familia	Valor
Ancylidae	
Coenagrionidae	
Baetidae	
Chironomidae	
Hydropsychidae	
Elmidae	
Hydrophilidae	
Gerridae	
Rhyacophilidae	
Oligochaeta	

IBMWP	
-------	--

Índice Biológico Diatómico (IBD)

Este índice puede servir para todos los ecosistemas de agua dulce ya que las diatomeas se caracterizan por ser cosmopolitas. Son además el grupo más diverso de microalgas bentónicas y sus requerimientos ecológicos son conocidos para muchas de sus especies. Los índices que usan diatomeas poseen la ventaja de que la toma de muestras es un proceso fácil y son muestras pequeñas (no necesitan mucho espacio); por el contrario, la identificación de especies de diatomeas requiere de un proceso de preparación de muestras algo complicado y largo y la clasificación ha de llevarla a cabo un especialista experimentado.

Las diatomeas son organismos sensibles a la eutrofización, a la contaminación orgánica y mineral y la estimación del índice es fiable para un rango de contaminación bajo, donde los otros métodos son menos fiables. Además, los índices diatómicos están basados en datos cuantitativos y la estimación es más acertada y más sensible que los métodos estrictamente cualitativos. Las diatomeas reaccionan de manera muy rápida a las modificaciones de la calidad del agua y pueden detectar las poluciones producidas de una manera discontinua. Son indicadores de calidad a corto plazo porque las poblaciones de diatomeas se reconstituyen rápidamente después de la desaparición de la contaminación. La estructura de las distintas poblaciones de diatomeas está determinada por las características químicas del agua, independientemente de sus características morfodinámicas.

Determinación de las diatomeas: Éste método tiene como finalidad la identificación de las diatomeas a nivel de especie. Puesto que la preparación de las muestras es bastante laboriosa y la identificación es complicada, lo que nos llevaría mucho tiempo, para el cálculo del índice se usarán los datos ya elaborados ofrecidos en las Tablas 8, 9 y 10.

Para realizar el cálculo del índice se ha de seguir los siguientes pasos:

- Cálculo de la abundancia relativa (representada por "A") de los taxones que aparecen. Los taxones están englobados en grupos que pertenecen a estados de calidad de agua distintos, representado cada uno por un taxon tipo. De esta manera cada taxon (denominado taxon asociado) se asocia con un taxon representativo de unas determinadas condiciones de calidad del agua.
- Todos los taxones que aparezcan con una frecuencia "A" menor que $7,5 \text{ }^{\circ}/_{\text{OO}}$ (es decir, 7,5 por mil o tres diatomeas de 400), serán despreciadas. Se considera que hacen falta más de tres individuos de un taxon asociado para que su presencia no sea debida al azar, a la deriva o a una eventual contaminación de la muestra.
- Cálculo de la probabilidad de la presencia de cada taxón y del total de taxones observados en la muestra para cada una de las clases de calidad de agua, que para este índice son siete (ver más abajo), utilizando la siguiente fórmula:

$$F(i) = \frac{\sum_{x=1}^n A_x P_x(i) V_x}{\sum_{x=1}^n A_x V_x}$$

"n" es el número de taxones distintos.

A_x es la abundancia relativa del taxón "x" (expresado en $^0/_{00}$).

$P_x(i)$ es la probabilidad de presencia del taxón "x" en la clase de calidad "i"².

V_x es el valor ecológico del taxón "x" (Ver Anexo II).

- El IBD define siete clases de calidad de agua por lo que existen siete valores de F (i)
- Cálculo de "B", que corresponde al valor del IBD.

$$B = 1 \cdot F(1) + 2 \cdot F(2) + 3 \cdot F(3) + 4 \cdot F(4) + 5 \cdot F(5) + 6 \cdot F(6) + 7 \cdot F(7)$$

El índice se calcula como sigue:

$$IBD = 4.75 \cdot B - 8.5$$

El índice toma valores de 1 (con B=2) a 20 (con B=6). Para valores de B=1, con los que la fórmula resultaría en un número negativo, se le asigna al índice el valor de 1. De forma similar, si B>6 se asigna al IBD el valor máximo de 20.

COLOR	INTERPRETACIÓN
Azul	IBD >17 calidad excelente
Verde	17 > IBD > 13 calidad buena
Amarillo	13 > IBD > 9 moderada
Naranja	9 > IBD > 5 mediocre
Rojo	IBD < 5 mala calidad

Para calcular el índice usaremos un fichero Excel en donde ya está introducida la fórmula y los valores de P_x y V_x . Este fichero tiene varias hojas con las tablas de valores de $P_x(i)$ (hoja $P_x(i)$) y con los taxones asociados a cada especie tipo (hoja Asociados). En las Tablas 6 a 8 siguientes hay que rellenar las columnas en blanco con los datos extraídos del fichero así como el valor del IBD para cada punto de muestreo. En la primera columna se ha de escribir la abreviatura de cada taxon observado, en la columna cuatro la abreviatura del taxon tipo al que se asocia cada especie; en la quinta, puesto que podemos encontrarnos con

² La probabilidad de la aparición de un taxón P(i) en cada clase de agua es distinta según sus requerimientos ambientales. Así, un determinado taxón que prefiere aguas de buena calidad aparecerá mucho más frecuentemente en este tipo de aguas que en otras de calidad inferior, por lo que la probabilidad de encontrar a esta clase de diatomea en un agua de alta calidad es mayor. La probabilidad de aparición en cada clase de agua para cada taxón representativo está ya calculada y se muestra en la hoja "Associées" de Excel que se usa en la práctica.

Prácticas de Ecología. 3º de Biología, UAM

varias especies que se asocian a la misma especie tipo, se anotarán dichas especies sin repeticiones sumando en la última columna el ‰ del total de las abundancias de los taxones asociados a la misma especie tipo. Por ejemplo, en el punto de muestreo 2 se detectaron 8 ejemplares de *Navicula arvensis* y 7 de *Navicula difficillima*. Ambas están dentro del grupo cuyo representante es la propia *Navicula arvensis* (NARV) por lo que sus abundancias relativas deben sumarse para calcular la abundancia acumulada del taxon tipo NARV. Puesto que la abundancia de todos los taxones observados es 403, la abundancia acumulada de NARV es $[(7+8)/403]*1000 = 37,22$.

Tabla 8: Punto de muestreo 1

Abreviatura ³	TAXON OBSERVADO (taxon asociado)	Abundancia real	Taxon tipo	Taxones Retenidos	Abundancia acumulada ‰
	<i>Achnanthes minutissima</i>	6			
	<i>Amphora ovalis</i>	3			
	<i>Cymbella affinis</i>	247			
	<i>Cymbella lanceolata</i>	3			
	<i>Cymbella tumidula</i>	6			
	<i>Diatoma tenue</i>	3			
	<i>Encyonema silesiacum</i>	45			
	<i>Fragilaria capucina</i>	6			
	<i>Gomphonema acuminatum</i>	6			
	<i>Gomphonema angustum</i>	6			
	<i>Gomphonema constrictum</i>	3			
	<i>Gomphonema lanceolatum</i>	48			
	<i>Navicula lanceolata</i>	6			
	<i>Nitzschia umbonata</i>	10			

IBD	
-----	--

Tabla 9: Punto de muestreo 2

Abreviatura ⁴	TAXON OBSERVADO	Abundancia real	Taxon tipo	Taxones Retenidos	Abundancia acumulada ‰
	<i>Achnanthes clevei</i>	10			
	<i>Achnanthes helvetica</i>	8			
	<i>Amphora veneta</i>	48			
	<i>Bacillaria paxillifer</i>	38			
	<i>Cyclotella atomus</i>	34			
	<i>Eunotia minor</i>	8			
	<i>Gomphonema augur</i>	10			
	<i>Gomphonema dichotomum</i>	12			
	<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	20			
	<i>Navicula arvensis</i>	8			
	<i>Navicula contenta</i>	12			
	<i>Navicula decussis</i>	8			
	<i>Navicula difficillima</i>	7			
	<i>Navicula fluens</i>	2			
	<i>Navicula longicephala</i>	13			
	<i>Navicula nyassensis</i>	13			
	<i>Navicula tenelloides</i>	8			
	<i>Navicula simplex</i>	83			
	<i>Nitzschia graciliformis</i>	15			
	<i>Nitzschia microcephala</i>	30			
	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	16			

IBD	
-----	--

³ Las columnas con datos en naranja son las que han de rellenar los alumnos

Tabla 10: Punto de muestreo 3

Abreviatura ⁵	TAXON OBSERVADO	Abundancia real	Taxon tipo	Taxones Retenidos	Abundancia acumulada ‰
	<i>Achnanthes lanceolata</i>	300			
	<i>Cymatopleura solea</i>	8			
	<i>Cymbella aspera</i>	8			
	<i>Diatoma vulgare</i>	8			
	<i>Gomphonema angustatum</i>	8			
	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	8			
	<i>Hantzschia amphioxys</i>	20			
	<i>Navicula cryptocephala</i>	8			
	<i>Navicula cryptotenella</i>	8			
	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	16			
	<i>Fragilaria ulna</i>	8			

IBD	
-----	--

BIBLIOGRAFÍA

- Alba-Tercedor, J. (1996). *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*. Vol. II: 203-213.
- Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Mellado, A., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Robles, S., Sáinz-Cantero, C. E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M. L., Toro, M., Vidal-Abarca, M. R., Vivas, S. y Zamora-Muñoz, C. (2002). *Caracterización del estado ecológico de los ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP)*. *Limnética* 21: 175-185.
- Alba-Tercedor, J. & Sánchez-Ortega, A., (1988). *Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hallawell (1978)*. *Limnética*, 4: 51 - 56.
- Allan, J.D. (1996). *Stream Ecology*. ED. Chapman and may. Oxford. UK.
- Benito de Santos y Puig García, (1999). *BMWPC un índice biológico para la calidad de las aguas adaptado a las características de los ríos catalanes*. En: *Tecnología del agua, ISSN 0211-8173*, N° 191, pags. 43-56.
- Prygiel, J. y Coste, M. Coordinadores. *Guide Méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatoées*. NF T 90-354.
- <http://www.chduero.es/webcorp/Calidad/calicg.html>

⁵ Las columnas con datos en naranja son las que han de rellenar los alumnos