Indicadores de la calidad del agua: parámetros biológicos, químicos y físicos

Adaptado de *Healthy Water, Healthy People Educators Guide* – www.projectwet.org

Los estudiantes investigan la calidad del agua mediante evaluaciones simuladas y reales de los aspectos biológicos (macroinvertebrados), químicos (pH) y físicos (turbidez).

Índice

Resumen y objetivos ..... Página 1
Antecedentes ..... Página 2
El pH de sustancias comunes ..... Página 4
Introducción ..... Página 5
Actividad: Parte I ..... Página 6
Actividad: Parte II ..... Página 7
Actividad: Parte III ..... Página 8
Cierre ..... Página 9
Evaluación ..... Página 9
Ampliaciones ..... Página 9
Cuadro de Identificación de Macroinvertebrados – Hoja de copia para los estudiantes ... Página 11
Hoja I de Datos de Macroinvertebrados – Hoja de copia para los estudiantes ..... Página 12
Hoja II de Datos de Macroinvertebrados – Hoja de copia para los estudiantes ..... Página 13
Hoja de Datos de Indicadores Químicos – Hoja de copia para los estudiantes ..... Página 14
Prueba de Turbidez – Hoja de copia para los estudiantes ..... Página 15

Indicadores de la calidad del agua: parámetros biológicos, químicos y físicos

Resumen

Los estudiantes investigan la calidad del agua mediante evaluaciones simuladas y reales de los aspectos biológicos (macroinvertebrados), químicos (pH) y físicos (turbidez).

Vocabulario: ácido, base, béntico, mejor práctica de gestión, bioevaluación, biodiversidad, concentración, erosión, ión de hidrógeno (H+), ión de hidróxido (OH-), logaritmo, macroinvertebrado, contaminación de fuentes difusas, remediar, escorrentía, sedimento, turbidez.

Adaptado de *Healthy Water, Healthy People Educators Guide*
www.projectwet.org

Grados: 6º a 8º; edades: 11 a 14 años

Áreas temáticas: Biología, Química, Ciencias de la Tierra, Ciencias Ambientales, Matemáticas, Lenguaje, Artes.

Duración:
Preparación: Parte I: 30 minutos; Parte II: 30 minutos; Parte III: 30 minutos.
Actividad: Parte I: dos períodos de 50 minutos; Parte II: 40 minutos; Parte III: 50 minutos.

Lugar: Salón de clase, área al aire libre o gimnasio grande

Competencias: interpretación, organización, recolección, comunicación, entornos, mediciones, comparación, contraste, investigación, solución de problemas

Objetivos

Los estudiantes podrán:

- investigar el papel de los macroinvertebrados acuáticos en la determinación de la calidad del agua a través de una simulación del proceso de una bioevaluación rápida;
- comparar las diferencias de la calidad relativa del agua de diferentes muestras;
- crear soluciones ácidas y básicas agregando sustancias comunes de su casa a agua de repollo;
- interpretar los cambios de color de una solución indicadora del pH para determinar si la solución es ácida o básica;
- comparar la turbidez del agua barrosa y el agua clara.

Materiales

Introducción

- *10 hojas de papel*

Parte I: Indicadores biológicos

- *Ejemplares de la hoja de copia para los estudiantes titulada* ***Cuadro de Identificación de Macroinvertebrados*** *(uno por grupo)*

© Project WET Foundation, 2011

- *Ejemplares de la hoja de copia para los estudiantes titulada **Hoja I de Datos de Macroinvertebrados** (uno por grupo)*
- *Ejemplares de la hoja de copia para los estudiantes titulada **Hoja II de Datos de Macroinvertebrados** (uno por grupo)*

Materiales para la bioevaluación (se pueden sustituir por objetos similares)

- *Tubos o cajas de plástico (para representar el curso de agua) (3)*
- *Tubos de plástico más pequeños (como cubos de recolección) (3)*
- *Redes para peceras (se pueden usar las manos o algún objeto cóncavo) (3)*
- *Elementos para clasificar (cubeteras, platos Petri, tazas) (3)*
- *Calculadoras (3)*
- *Clips pequeños para papel (100)*
- *Clips grandes para papel (50)*
- *Cuentas de seis tamaños, formas o colores diferentes (50 de cada tamaño, color o forma)*
- *Bandas elásticas finas (50)*
- *Bandas elásticas gruesas (50)*
- *Monedas (50)*

- *Optativo: Agua (suficiente para llenar tres tubos de muestra con al menos 4 pulgadas de agua). (Optativo: colorante para el agua, para que los alumnos no vean los objetos que se encuentran en el tubo de la muestra. Las opciones para colorear incluyen colorantes oscuros para comida, leche con chocolate en polvo para simular la sedimentación, bolsas de té para oscurecer el agua, jugos de fruta preparados con concentrados en polvo, otros.)*

Parte II: Indicadores químicos

- *Un repollo colorado (de tamaño mediano) y acceso a una cocina u hornalla*
- *Frascos, jarras o vasos pequeños (4 por grupo)*
- *Agua destilada (dos litros por clase)*
- *Cuentagotas de productos para los ojos (1 por grupo)*
- *Cucharas de plástico (1 por grupo)*
- *Ejemplares de la hoja de copia para los estudiantes titulada **Hoja de Datos de Indicadores Químicos** (uno por grupo)*
- *Refrescos carbonatados de cola (15 gotas [1 ml] por grupo; no abrirlos hasta el momento del experimento)*
- *Marcadores o cinta para rotular los recipientes de la muestra*
- *Jugo de limón (15 gotas [1 ml] por grupo)*
- *Amoníaco (15 gotas [1 ml] por grupo)*
- *Polvo de hornear (1/2 cucharadita [1,3 g] por grupo)*

Parte III: Indicadores físicos

- *Una jarra de plástico (o vidrio) transparente de un cuarto de galón, llena con una mezcla de piedras, pedregullo, tierra, arena y agua*
- *Ejemplares de la hoja de copia para los estudiantes titulada Prueba de Turbidez (uno por grupo)*
- *Materiales para la prueba de turbidez*
- *Tubos de ensayo de fondo plano (preferentemente) o vasos transparentes para jugo (1 por grupo)*
- *Suelo del exterior triturado fino (por ejemplo sedimentos) o leche (para enturbiar el agua)*
- *Una muestra de agua clara (por ejemplo, agua del grifo – al menos un litro)*
- *Una muestra de agua superficial local para fines comparativos (al menos un litro)*

Ampliación

- *Kit para ensayos del Día Mundial del Control de la Calidad del Agua*

Antecedentes

Existen diversas formas de determinar la calidad del agua de los cursos de agua. La calidad del agua se puede determinar de forma relativa, mediante una comparación entre diferentes fuentes de agua, o se puede medir en términos absolutos. Los factores biológicos, químicos y físicos pueden indicar la calidad del agua.

Indicadores biológicos

Una forma importante de determinar la situación de los sistemas vivos del agua es la realización de una evaluación biológica (bioevaluación) que implica usar encuestas biológicas y otras mediciones directas de los sistemas vivos de una vertiente. Habitualmente, se monitorean los macroinvertebrados acuáticos (animales sin espina dorsal que viven en medios acuáticos y cuyo tamaño es lo suficientemente grande como para que se vean sin microscopio u otro sistema de ampliación), lo que conforma la base de la Parte I de esta actividad.

Los macroinvertebrados son indicadores valiosos de la salud de los medios acuáticos, en parte debido a que son organismos bénticos, lo que significa que generalmente se encuentran en el fondo de un arroyo o lago y no se desplazan grandes distancias. Por tanto, no pueden migrar fácil o rápidamente en caso de que haya contaminación o tensiones en el medio ambiente. Como las diferentes especies de macroinvertebrados reaccionan de manera diferente a factores ambientales tales como contaminación, carga de sedimentos o cambios en el hábitat, cuantificar la diversidad y densidad de los diferentes macroinvertebrados de un sitio dado puede darnos un panorama de las condiciones ambientales de una masa de agua dada.

© Project WET Foundation, 2011

Si quedan expuestos a un factor de tensión ambiental (tal como contaminación, calentamiento debido a un bajo caudal, bajo nivel de oxígeno disuelto debido a brotes de algas, etc.), es posible que mueran los macroinvertebrados que no toleran tales factores de tensión. Los macroinvertebrados tolerantes con frecuencia ocupan los espacios en los que habitaban los organismos intolerantes, con lo que se crea una población totalmente diferente de organismos. Por ejemplo, una masa de agua que no sufre ningún impacto contiene, por lo general, una mayoría de macroinvertebrados que son intolerantes a los factores de tensión ambiental, tal como moscas de mayo (*Ephemeroptera*), moscas de las piedras (*Plecoptera*) y polillas de agua (*Trichoptera*). Una masa de agua que ha sufrido estrés ambiental puede contener una mayoría de macroinvertebrados tolerantes a estas condiciones, tales como sanguijuelas (*Hirudinea*), gusanos tubifex (especies de *Tubifex*.) y caracoles (*Gastropoda*).

La bioevaluación de los macroinvertebrados es especialmente útil para los biólogos y demás personas que intentan determinar la salud de un río o arroyo. La bioevaluación de los macroinvertebrados es un procedimiento que hace uso de equipos de bajo costo, es válida científicamente si se realiza de manera correcta y puede ser llevada a cabo por estudiantes. Las bioevaluaciones pueden generar puntos de referencia con los que se puedan comparar otras aguas y también pueden usarse para definir metas de rehabilitación y controlar tendencias. El monitoreo de las tendencias es una aplicación común de las bioevaluaciones por parte de grupos de estudiantes y otras personas que participan en el monitoreo de la calidad del agua.

Indicadores químicos

Si bien las bioevaluaciones son extremadamente importantes por sí mismas, incrementan su utilidad cuando se combinan con evaluaciones químicas y del hábitat.

Como los seres humanos y los organismos acuáticos dependen de la disponibilidad de agua con niveles de pH dentro de un entorno cercano al valor neutro, el pH es un indicador crucial de la calidad del agua y es el centro de la Parte II de esta actividad. La prueba del pH, una de las pruebas de la calidad del agua más comunes y fáciles de realizar, mide la concentración de iones de hidrógeno, lo que luego permite inferir la fortaleza de los ácidos o las bases.

Se puede considerar que una molécula de agua (H_2O) es un ión de hidrógeno (H+) y un ión de hidróxido (OH-). Se define como ácido cualquier sustancia que, al disolverse en agua, aumenta la concentración de iones de hidrógeno (H+) (Ebbing, 1990).

Por tanto, un ácido es una solución que tiene más iones de hidrógeno que de hidróxido. Se define como base cualquier sustancia que, al disolverse en agua, aumenta la concentración de iones de hidróxido (OH-) (Ebbing, 1990). Por tanto, una base es una solución que tiene más iones de hidróxido que de hidrógeno. Las soluciones neutras tienen el mismo número de iones de hidrógeno e hidróxido.

En términos matemáticos, el pH es el negativo del logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno (Ebbing, 1990). Las concentraciones de iones de hidrógeno son números muy pequeños, por lo que los científicos elaboraron la escala del pH para informar e interpretar más fácilmente esos números. Como la escala del pH es logarítmica, por cada unidad de cambio de la escala del pH hay un cambio diez veces mayor en el contenido de ácido o base de las soluciones (Mitchell, 1997). La escala del pH varía entre 0 y 14, donde el pH de 7 es neutro. Una solución ácida tiene un pH inferior a 7 y una solución básica tiene un pH superior a 7. Por ejemplo, la lluvia ácida que tiene un pH de aproximadamente 5 es diez veces más acídica que la lluvia natural, cuyo pH es de aproximadamente 6. Del mismo modo, una solución con un pH de 10 es cien veces más básica que una solución con un pH de 8.

Por lo general, el pH se mide mediante un electrodo, lo que genera una lectura digital, o con una tintura indicadora de ácidos y/o bases que cambia de color a medida que aumenta o se reduce el pH. El color final se compara con un pequeño cuadro o tabla para determinar el pH.

Por lo general, las aguas naturales tienen un pH de entre 5 y 9, y dentro de ese entorno puede sobrevivir la mayor parte de los organismos acuáticos. A excepción de algunas bacterias y microbios, si el pH supera o cae por debajo de ese entorno, es muy probable que la vida acuática muera.

Los niveles altos o bajos de pH también pueden originar otros problemas para la calidad del agua. El agua con un nivel bajo de pH aumenta la solubilidad de nutrientes tales como fosfatos y nitratos. Esto hace que haya más nutrientes de este tipo a disposición de las plantas acuáticas y las algas, lo que puede promover una proliferación dañina conocida como “brotes de algas”. Cuando estos brotes de algas mueren, aumenta el número de bacterias en respuesta a la mayor oferta de alimentos. A su vez, estas bacterias consumen más oxígeno disuelto del agua, lo que con frecuencia genera problemas o mortandad en los peces y los macroinvertebrados acuáticos.

© Project WET Foundation, 2011

El agua con bajo nivel de pH puede también corroer las cañerías de los sistemas de distribución de agua potable y liberar plomo, cadmio, cobre, zinc y estaño hacia el agua potable. Las plantas de tratamiento del agua monitorean con atención el pH del agua que tratan para salvaguardarla contra tales tipos de corrosión. Asimismo, el agua cuyo pH es inferior a 5 es demasiado acídica y, por encima de 9, es demasiado básica para el consumo humano.

El pH de sustancias comunes

Sustancia	pH o entorno del pH	
Ácido clorhídrico	0.0	Ácidico
Ácido gástrico	1.0-3.0	
Jugo de limón	2.2-2.4	
Vinagre	2.4-3.4	
Refresco de cola	2.6	
Pomelo	3.0-3.2	
Lluvia ácida	4.0-5.5	
Lluvia natural	5.6-6.2	Neutro
Leche	6.3-6.7	
Agua pura desionizada	7.0	
Agua del mar	7.0-8.3	Básico
Polvo de hornear	8.4	
Leche de magnesia	10.5	
Amoníaco de uso doméstico	11.9	
Hidróxido de sodio	13.0-14.0	

Indicadores físicos

La erosión aumenta la cantidad de sedimentos (partículas de suelo) del agua, lo que influye en la turbidez, que es "una propiedad óptica del agua basada en la cantidad de luz que reflejan las partículas suspendidas" (USEPA, 1999). Así, pues, el agua muy turbia parece estar embarrada o empañada. Todas las aguas naturales son algo turbias, aunque más no sea a nivel microscópico.

Medir la turbidez, lo que da una idea del volumen de materiales suspendidos y coloidales que hay en una masa de agua en un momento dado, puede ser un indicador para evaluar la calidad del agua y es el centro de atención de la Parte III de esta actividad. Los materiales suspendidos y coloidales (partículas microscópicas que quedan suspendidas en el agua y difractan la luz) pueden ser cualquier cosa que esté suspendida en la columna de agua, desde arena, sedimentos, arcilla, plancton, desechos industriales, materias del saneamiento, plomo y asbestos, hasta bacterias y virus. Parte de las materias suspendidas son de origen natural y otra parte es resultado de las actividades humanas.

Los organismos acuáticos son especialmente susceptibles a los efectos de un aumento de los sedimentos y la turbidez. Muchos peces necesitan aguas claras para poder identificar a sus presas. Para sobrevivir, los macroinvertebrados, las huevas y las larvas requieren agua con un alto contenido de oxígeno, que circule a través de un lecho limpio de grava. Los sedimentos pueden ahogar a las huevas y los insectos acuáticos que están en el fono y pueden incluso sofocar a las almejas y ostras que filtran el agua con sus cuerpos. Los sedimentos y otras sustancias disueltas también reducen la penetración de la luz, lo que inhibe la fotosíntesis de las plantas acuáticas.

Como el agua turbia absorbe más energía del sol que el agua transparente, la elevada turbidez también genera mayores temperaturas en el agua. Esto puede afectar gravemente a los organismos acuáticos, muchos de los cuales se han adaptado para sobrevivir dentro de un entorno de temperatura muy estrecho.

Los sedimentos y la turbidez también afectan a las personas. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), los sedimentos son una de las primeras cosas que filtran de las fuentes de agua las plantas de tratamiento del agua y son uno de los pocos contaminantes de la calidad del agua que se deben controlar en forma cotidiana. Los sólidos suspendidos pueden contener bacterias nocivas y también pueden reducir la eficacia de los procedimientos de cloración utilizados para ayudar a eliminar las bacterias nocivas. El aumento de la turbidez y los sedimentos tiene también impactos económicos. La fabricación de productos comunes tales como papel, alimentos y chips para computadoras requiere agua sin sedimentos ni otros sólidos suspendidos.

La fuente natural más común de materias suspendidas son los sedimentos que arrastra la erosión y la escorrentía hacia las masas de agua. Los sedimentos transportados por tierra durante una escorrentía son la forma más común de contaminación de fuentes difusas de los Estados Unidos. La erosión causada por el ser humano se relaciona principalmente con actividades tales como la construcción de caminos y edificios, la agricultura, la extracción de madera y otros emprendimientos que eliminan o perturban la vegetación. La erosión natural y la turbidez resultante son un fenómeno habitual en algunas vertientes.

Si la erosión y la escorrentía son las principales fuentes de sedimentos de nuestras masas de agua, enlentecer las escorrentías y mitigar la erosión son actividades cruciales para mejorar la calidad del agua. A veces, la erosión

© Project WET Foundation, 2011

causada por el ser humano puede ser gestionada a efectos de reducir la turbidez de los cursos de agua. La forma más simple de hacerlo es conservar o plantar vegetación a lo largo de las orillas de los cursos de agua, para que sirva como área de amortiguación y capture los sedimentos antes de que ingresen al agua.

Las plantas reducen la velocidad del agua que fluye por la superficie de la tierra. Cuando se reduce la velocidad de la escorrentía, se reduce la erosión. Al arraigarse al suelo, las plantas impiden que el suelo sea arrastrado por la escorrentía. La vegetación también reduce la velocidad con que las gotas de lluvia golpean el suelo. Si la lluvia cae directamente en el suelo sin ninguna obstrucción, promueve una rápida escorrentía y arrastra las partículas más finas de la superficie del suelo. Estas partículas finalmente crean una barrera que impide que el agua penetre fácilmente en el suelo (Farthing y otros, 1992).

Las plantas ayudan a almacenar agua, pues incorporan materia orgánica al suelo, que eventualmente se descompone y forma un humus con elevado valor absorbente. Las hojas y ramas caídas pueden enlentecer la escorrentía del agua y permitir que haya más tiempo para que el agua penetre el suelo. Las raíces también ayudan a las plantas a almacenar agua, pues la alejan de la superficie y la hacen penetrar en el suelo.

Procedimiento

Introducción

Debido a la complejidad del tema del pH y las frecuentes ideas erróneas que se difunden cuando se explica la escala del pH, esta actividad de introducción se centra en el parámetro químico del pH.

1. Repase la escala del pH, que varía entre 0 y 14, donde el pH de 7 es neutro. La mayoría de las aguas naturales tienen, por lo general, un pH de 5 a 9. Las soluciones con un pH superior a 7 son básicas y las soluciones con un pH inferior a 7 son acídicas.

2. Explique a los estudiantes que se puede considerar que una molécula de agua (H_2O) es un ión de hidrógeno (H+) y un ión de hidróxido (OH-). Para determinar el pH de una solución, se examina su concentración de iones de hidrógeno (H+). Se define como ácido cualquier sustancia que, al disolverse en agua, aumenta la concentración de iones de hidrógeno (H+) (Ebbing, 1990). Por tanto, un ácido es una solución que tiene más iones de hidrógeno que de hidróxido. Se define como base cualquier sustancia que, al disolverse en agua, aumenta la concentración de iones de hidróxido (OH-) (Ebbing, 1990). Por tanto, una base es una solución que tiene más iones de hidróxido que de hidrógeno. Las soluciones neutras tienen el mismo número de iones de hidrógeno e hidróxido.

3. Pida a los estudiantes que le ayuden a demostrar el concepto de pH en la siguiente actividad.

4. Escriba “H+” con caracteres grandes en diez hojas de papel de un color y “OH-“ con caracteres grandes en diez hojas de papel de otro color.

5. Pida a diez alumnos que pasen al frente del salón. Dele a un alumno una hoja de papel que diga H+ y otra que diga OH-.

6. Pida a los demás estudiantes que identifiquen a estos iones (hidrógeno, H+, e hidróxido, OH-). Pregúnteles si la solución creada por los estudiantes (H+ y OH-) es acídica, básica o neutra. (Es una molécula neutra, porque H+ tiene una carga de +1 y OH- tiene una carga de –1).

7. Pida a otros dos estudiantes que se unan a los dos primeros al frente del salón. Dele a uno de ellos una hoja que diga H+ y al otro una que diga OH-. Ahora, pídale a uno de los alumnos OH- que se separe del grupo por un instante. ¿Es todavía neutra la solución? (Como tiene un solo OH-, tiene una carga neta de +1, lo que hace que sea acídica.)

8. ¿Cómo se hace para que la solución sea neutra? (El estudiante OH- debe volver a unirse al grupo.)

9. A continuación, pídale a uno de los alumnos H+ que se separe del grupo. ¿Es ahora neutra la solución? (Como tiene un solo H+, la carga neta es –1, por lo que es una base.)

10. ¿Cómo se hace para que la solución OH- sea neutra? (Tiene que volver el alumno H+.)

11. Continúe experimentando con este modelo, agregando y quitando iones de hidrógeno e hidróxido, hasta que sienta que los alumnos identifican fácilmente las soluciones acídicas y básicas.

12. Pregunte a los estudiantes qué pasaría si los arroyos o lagos tuvieran un pH de menos de 5 (por ejemplo, los peces y los organismos acuáticos deberían luchar para sobrevivir; los animales del campo no podrían beber el agua; etc.). Explíqueles que en la siguiente actividad van a manipular varias soluciones para determinar si son acídicas o básicas.

© Project WET Foundation, 2011

Ampliación de la Introducción de nivel superior o matemático

Para demostrar los conceptos matemáticos de las relaciones logarítmicas de la escala del pH, lleve a cabo un último paso (especialmente apropiado para los alumnos de nivel superior o matemáticas). Comience por llamar a dos alumnos al frente del salón, uno con una tarjeta H+ y otro con una tarjeta OH-. Pida a la clase que identifique si la solución es acídica, básica o neutra. (La respuesta es que es neutra.) Pida a diez alumnos que se unan a los dos anteriores en el frente del salón, todos ellos con una tarjeta H+. Pregunte nuevamente a la clase si la solución que se representa es acídica, básica o neutra. (La respuesta es que es acídica.) Luego, pregúnteles qué número de la escala del pH representa la solución. Si necesitan ayuda para responder, dígales que los dos estudiantes originales representaban una solución neutra, representada por un 7 en la escala del pH. Un cambio de una unidad en la escala, en más o en menos, requiere que la solución sea diez veces más acídica o básica que la solución anterior. Los estudiantes representan una solución que es diez veces más acídica que la solución neutra (10 iones H+ adicionales), por lo que la unidad resultante en la escala del pH es 6 (una unidad más acídica que la solución neutra 7). Si quiere darles una calificación adicional, pregúnteles a los alumnos cuántos estudiantes H+ se necesitan para llevar a 5 el pH de la solución (10 x 10 o 100). Para un pH de 4, se requieren 10 x 100 o 1000 iones H+, y así sucesivamente.

Actividad

Parte I: Indicadores biológicos

1. Informe a los estudiantes que van a simular una bioevaluación de un arroyo usando objetos comunes para representar a los macroinvertebrados.

2. Forme tres conjuntos de estaciones de recolección (ver la ilustración que sigue), con los siguientes elementos en cada una de ellas:

- sitio de muestreo del arroyo (ver instrucciones en el Paso 3).
- cubo de recolección
- bandejas de clasificación
- ***Cuadro de Identificación de Macroinvertebrados***
- ***Hojas I y II de Datos de Macroinvertebrados***

3. Optativo: Para los sitios de muestreo del arroyo: poner en tres cajas de almacenamiento de plástico grandes cuatro pulgadas de agua y rotularlas: Arroyo 1, 2 y 3. (Optativamente, puede agregar colorante al agua hasta que los objetos del fondo no se vean claramente).

Arroyo 1: Sitio de muestreo del arroyo (recolectar durante 20 segundos)	→	Cubo de recolección (vaciar la red)	→	Bandejas de clasificación (clasificar/identificar)	→	Hoja I de Datos (presentar en forma de tabla)	→	Hoja II de Datos (calcular)	→	(analizar)
Arroyo 2: Sitio de muestreo del arroyo (recolectar durante 20 segundos)	→	Cubo de recolección (vaciar la red)	→	Bandejas de clasificación (clasificar/identificar)	→	Hoja I de Datos (presentar en forma de tabla)	→	Hoja II de Datos (calcular)	→	(analizar)
Arroyo 3: Sitio de muestreo del arroyo (recolectar durante 20 segundos)	→	Cubo de recolección (vaciar la red)	→	Bandejas de clasificación (clasificar/identificar)	→	Hoja I de Datos (presentar en forma de tabla)	→	Hoja II de Datos (calcular)	→	(analizar)

© Project WET Foundation, 2011

4. Colocar en los tres tubos objetos que representen macroinvertebrados según el siguiente cuadro:

Macroinvertebrado	Representado por:	Número de objetos por muestra			Total de objetos
		Muestra del Arroyo 1	Muestra del Arroyo 2	Muestra del Arroyo 3	
Moscas de mayo	Cuentas amarillas	35	15	0	50 cuentas
Moscas de las piedras	Clips pequeños para papel	65	35	0	100 clips
Polillas de agua	Cuentas azules	30	20	0	50 cuentas
Coridálidos	Clips grandes para papel	30	20	0	50 clips
Moscas de los lagos	Cuentas rojas	0	20	30	50 cuentas
Moscas zancudas	Cuentas blancas	25	13	12	50 cuentas
Libélulas	Cuentas verdes	20	20	10	50 cuentas
Camarones scud	Cuentas negras	5	15	30	50 cuentas
Caracoles	Monedas	0	15	35	50 monedas
Gusanos tubifex	Bandas elásticas finas	0	15	35	50 bandas elásticas
Sanguijuelas	Bandas elásticas gruesas	0	15	35	50 bandas elásticas

5. Divida a los alumnos en tres grupos. Reparta las siguientes tareas entre los alumnos de cada grupo: muestrear el arroyo, clasificar en el cubo de recolección, contar/registrar en la **Hoja I de Datos de Macroinvertebrados** y calcular/evaluar en la **Hoja II de Datos de Macroinvertebrados**.

6. Explique a los alumnos que van a simular una bioevaluación rápida en su sitio de muestreo del arroyo según se describe a continuación:

a. Con una red de pecera, los alumnos del sitio tendrán 20 segundos para recolectar la mayor cantidad posible de macroinvertebrados (clips para papel, cuentas, etc.) de los recipientes que representan el arroyo. Deben colocar los macroinvertebrados en los cubos de recolección.

b. Los estudiantes que se encuentran en el cubo de recolección deben, entonces, clasificar los macroinvertebrados recolectados según el Cuadro de Identificación de *Macroinvertebrados y colocarlos en cubetas o tazas*. Por ejemplo, deben colocar todas las moscas de mayo en un cubo, las polillas de agua en otro cubo, etc.

c. Los alumnos que están usando la *Hoja I de Datos de Macroinvertebrados* deben preparar una tabla con los resultados de la clasificación en la hoja de datos y calcular la composición porcentual de cada macroinvertebrado en el sitio de muestreo.

d. Los alumnos que tienen la *Hoja II de Datos de Macroinvertebrados* usan los datos de la Hoja I para completar el Índice de Tolerancia a la Contaminación y determinar el puntaje de la Evaluación de la Calidad del Agua que asignan a su sitio de muestreo del arroyo.

7. Pida a los alumnos que comparen sus resultados con los de los demás grupos. ¿Cuáles son las similitudes y diferencias entre los tres sitios? ¿Qué arroyo tenía agua de mejor calidad? ¿Cuál tenía la peor calidad?

Parte II: Indicadores químicos

Se va a usar agua de repollo porque cambia de color al cambiar el pH, lo que hace que sea un indicador de ácidos y bases. El agua de repollo neutra es de color púrpura, mientras que el agua de repollo acídica es rojiza y el agua de repollo básica es azul/verde.

© Project WET Foundation, 2011

Nota: Es importante usar agua de repollo recién preparada, pues de lo contrario será un indicador inestable. De ser posible, preparar el agua de repollo el mismo día que se va a usar y mantenerla en el refrigerador hasta el momento en que se use. Asimismo, puede ser útil preparar un conjunto de niveles de referencia donde los cambios de color representen diversos entornos de pH (por ejemplo, 2, 4, 6, 8, 10, 12). Los alumnos podrán, entonces, comparar sus cambios de color con estos niveles para determinar aproximadamente en qué lugar de la escala de pH se sitúan sus respectivas soluciones. Otra opción consiste en medir y registrar los valores de pH de la solución, para que los alumnos puedan luego usarlos para otras comparaciones.

1. En primer lugar, prepare una solución de agua de repollo haciendo hervir un repollo colorado en dos litros de agua destilada (más para las clases grandes o los experimentos realizados a la vez con varias clases), hasta que el agua se vuelva de un color púrpura profundo (aproximadamente 20-30 minutos). Filtre o cuele el repollo y guarde en el refrigerador el líquido púrpura.

2. Divida la clase en grupos de tres o cuatro estudiantes. Dele a cada grupo cuatro recipientes transparentes (con 25 mililitros de agua de repollo en cada uno), cuentagotas, cucharas y un ejemplar de la ***Hoja de Datos de Indicadores Químicos*.**

3. Dígales a los grupos que agreguen 15 gotas (1 ml) de refresco de cola a uno de los jarros de agua de repollo y lo revuelvan. Registre el cambio de color y las conclusiones en la ***Hoja de Datos de Indicadores Químicos*.** Rotule esta muestra como Nº 1.

4. Tome otra muestra de 25 ml de agua de repollo; agregue 15 gotas (1 ml) de jugo de limón y revuelva. Registre el cambio de color y las conclusiones en la ***Hoja de Datos de Indicadores Químicos***. Rotule esta muestra como Nº 2.

5. Siga el mismo procedimiento, usando 15 gotas (1 ml) de amoníaco y una cucharadita (1,3 g) de polvo de hornear respectivamente en dos muestras de 25 ml de agua de repollo. Revuelva y registre los cambios en la ***Hoja de Datos de Indicadores Químicos***. Rotule estas muestras como Nº 3 y 4.

6. Haga que cada grupo organice sus muestras en orden, de la más acídica a la más básica (del color rojo más claro al azul/verde más oscuro).

7. Pídales a los alumnos que completen las Partes II y III de la *Hoja de Datos de Indicadores Químicos*.

8. Haga que cada grupo presente sus resultados a la clase y los analice antes de pasar a la Parte III y la actividad de *Cierre*.

Parte III: Indicadores físicos

1. Llene una tercera parte de una jarra transparente de un cuarto de galón con una mezcla de piedras, pedregullo, barro, arena y suelo. Agregue agua hasta que la jarra esté llena. Agite el recipiente para mover las piedras, el agua y el suelo hasta que el agua esté barrosa.

2. Pídales a los alumnos que observen la muestra de agua barrosa y pregúnteles si pueden ver a través del agua. ¿Beberían el agua barrosa? ¿Por qué no? ¿Cómo afecta el agua turbia a los organismos acuáticos?

3. A medida que se asiente el barro o sedimento en la jarra, las piedras más pesadas quedarán en el fondo, las más pequeñas encima de aquellas y las partículas de suelo más finas, o sedimento, encima de las piedras, cubriéndolas como un manto.

4. **Pídales a los estudiantes que sugieran posibles impactos de este sedimento que cubre las piedras (por ejemplo, puede sofocar a las huevas y a los insectos y plantas acuáticos, y desgastar las agallas de los peces y moluscos).** Muchos peces se han adaptado a vivir en aguas sumamente turbias, tales como el pez espátula y el bagre. ¿Qué adaptaciones sufrieron estos peces para poder desarrollarse en aguas túrbidas? Como la claridad del agua afecta a los organismos vivos, los científicos han desarrollado una prueba de la turbidez para medir la transparencia del agua.

5. Explique a los alumnos que van a llevar a cabo una prueba de turbidez relativa con materiales comunes.

6. Premezcle una solución turbia (agua barrosa) con suelo de partículas finas (por ejemplo, sedimento) para que las partículas queden suspendidas (como sustituto, la leche crea una solución turbia de diferente color con fines comparativos). Lleve a cabo la prueba de turbidez en la hoja de copia para los estudiantes titulada Prueba de Turbidez con antelación, para asegurarse de que su solución no sea ni demasiado barrosa ni demasiado transparente; la prueba debería dar resultados en los círculos de la escala de grises D o E, con aproximadamente una pulgada de

© Project WET Foundation, 2011

solución en el tubo o vaso. Si se usa barro o suelo pesado, pase la muestra por un filtro de café para eliminar las partículas más grandes que podrían asentarse y cubrir el fondo del tubo de ensayo, lo que generaría un resultado impreciso. De ser posible, distribuya la solución entre los alumnos con un cuentagotas, pues esto garantizará que se usen partículas suspendidas que no sean las más pesadas.

7. Haga que los alumnos trabajen en grupos y distribuya a cada grupo un tubo de ensayo o vaso de jugo y una hoja de copia para los estudiantes titulada *Prueba de Turbidez*.

8. Haga que los alumnos sigan los procedimientos de prueba que figuran en la hoja de la prueba y registren la letra correspondiente a su lectura de la turbidez relativa y su interpretación. Haga que los alumnos agiten continuamente sus muestras para asegurarse de que el sedimento quede suspendido y no se asiente en el fondo.

9. Repita la prueba de turbidez con agua clara.

10. Repita la prueba de turbidez con la muestra de agua de superficie local. Pídales a los alumnos que comparen sus resultados. ¿Qué puede explicar las diferencias entre la turbidez de las diferentes soluciones?

Cierre

Pregunte a los alumnos por qué una solución es más acídica que otra. (Consulte el ejercicio de la Introducción.)

¿Qué le ocurriría a una solución ácida si se le agregara una base tal como amoníaco? (Al agregar OH, la solución se aproximará a un valor neutro y en última instancia pasará el estado neutro y se convertirá en una solución básica. Quizás usted decida demostrarle este resultado a la clase.) Del mismo modo, un único OH- hace que la solución sea básica. ¿Qué le ocurriría a una solución básica si se le agregara un ácido (vinagre)? La solución se aproximará a un valor neutro (pH = 7) y en última instancia lo superará. Es posible que los alumnos deseen realizar experimentos con sus soluciones ácidas y básicas, agregándoles una solución neutralizadora a sus muestras para lograr un pH neutro en cada una de las muestras.

Haga que los grupos de alumnos preparen listados de las razones por las que el pH, las bioevaluaciones y la turbidez son importantes en su vida (por ejemplo, la digestión de los alimentos en nuestro estómago, el agua potable, la lluvia ácida, etc.). Haga que cada grupo presente su listado a la clase y cree un listado maestro de cada tipo de indicador en la pizarra.

Evaluación

Haga que los estudiantes:

Parte I: Indicadores biológicos

- simulen el proceso de una evaluación rápida de los macroinvertebrados acuáticos **(Pasos 5 y 6)**;
- recolecten, separen, clasifiquen, identifiquen, analicen y evalúen una muestra de materiales que representen macroinvertebrados acuáticos **(Paso 6)**;
- determinen la calidad del agua de un arroyo usando un Índice de Tolerancia a la Contaminación basado en una muestra de macroinvertebrados acuáticos **(Paso 6)**;
- comparen las diferencias de la calidad relativa del agua de diferentes muestras **(Paso 7)**;

Parte II: Indicadores químicos

- creen soluciones ácidas y básicas mediante la incorporación de elementos comunes de su casa a agua de repollo **(Actividad)**;
- relacionen el cambio de color de una solución indicadora del pH para determinar si la solución es ácida o básica **(Actividad)**.

Parte III: Indicadores físicos

- exploren la relación entre la erosión del suelo y la turbidez de los cursos de agua **(Pasos 1 a 6)**;
- comparen muestras de agua con mayor y menor turbidez **(Pasos 7 a 10)**;
- cuantifiquen la turbidez de muestras de agua mediante una prueba de turbidez **(Pasos 7 a 10)**.

Ampliaciones

Elabore su propio papel de tornasol sumergiendo toallas de papel o filtros de café en agua de repollo. Deje que el papel se seque y luego córtelo en tiras. Use su propio papel de tornasol como indicador de ácidos y/o bases sumergiendo una tira de papel en diversos productos domésticos.

Use el papel de tornasol para verificar el pH de diversos productos domésticos. Prepare un cuadro con los resultados, organizando las tiras de papel por color o según la concentración de ácidos y/o bases.

Invite a un científico de la planta de tratamiento de agua más cercana a hablar con la clase sobre cómo y qué se mide cuando se realiza un examen de las aguas de desecho.

© Project WET Foundation, 2011

Use un kit para ensayos del Día Mundial del Control de la Calidad del Agua para verificar los parámetros biológicos, químicos y físicos de un lago, río o arroyo de su zona. Ingrese sus resultados al sitio www.worldwatermonitoringday.org.

Recursos

Barzilay, J.I., J.W. Eley y W.G.Weinberg, 1999, The Water We Drink, New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.

Ebbing, D., 1990, General Chemistry, 3ª edición, Boston, MA: Houghton Mifflin Co.

Farthing, P., B. Hastie, S. Weston y D. Wolf, 1992, The Stream Scene, Portland, OR: Programa de Educación Acuática.

Fore, L., 1998, Field Guide to Freshwater Invertebrates, http://www.seanet.com/~leska/Online/about_guide.html.

Freedman, B., 1989, Environmental Ecology, San Diego, CA: Academic Press, Inc.

Página de inicio de Ecología Béntica y Entomología Acuática del Agua Dulce, 1999, http://www.chebucto.ns.ca/Science/SWCS/ZOOBENTH/BENTHOS/benthos.html.

Hill, M., fecha desconocida, Determining Acids and Bases, http://www.col-ed.org/cur/sci/sci119.txt. Important Water Quality Factors, descargado el 4 de septiembre de 2001 del sitio web de Hach Company: http://www.hach.com/h20u/h2wtrqual.html.

Karr, J. y E. Chu, 1998, Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring, Washington, D.C.: Island Press.

Mitchell, M. y W. Stapp, 1997, Field Manual for Water Quality Monitoring: An Environmental Education Program for Schools, Dubuque, IA: Kendall/Hunt Publishing Co.

Murdock, T. y M. Cheo, 1996, Streamkeepers Field Guide, Everett , WA: Fundación Adopte un Arroyo.

Estudio de arroyos Salvemos Nuestros Arroyos (Save Our Streams, SOS), 1999, http://www.people.virginia.edu/~sos-iwla/Stream-Study/StreamStudyHomePage/Stream-Study.html.

Tillery, B., 1996, Physical Science, 3ª edición, Dubuque, IA: Wm. C. Brown Publishers.

Torgerson, J., fecha desconocida, Academia OFCN, Curricular Exchange- Science, http://ofcn.org/cyber.serv/academy/ace/sci/cecsci/cecsci181.html.

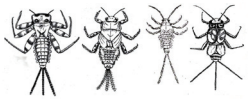
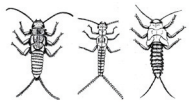
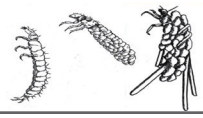
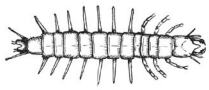
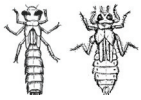
EPA, 1999, Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions, descargado el 3 de diciembre de 2001 del sitio web http://www.epa.gov/safewater/mdbp/mdbptg.html.

EPA, 1991, Rapid Bioassessment Protocols (RBPs) for use in Streams and Wadeable Rivers, http://www.epa/gov/owow/monitoring/rbp/

Water Quality Index: Turbidity, 1999, descargado el 8 de octubre de 2001 del sitio web de la Red de Investigación en Colaboración de Kansas (Kansas Collaborative Research Network, KanCRN): http://www.kancrn.org/stream/.

© Project WET Foundation, 2011

Cuadro de Identificación de Macroinvertebrados

Macroinvertebrado	**Parece...**	**Representado por…** (por ejemplo, cuentas, monedas, etc.)
Moscas de mayo (*Orden Ephemeroptera*)		
Moscas de las piedras (*Orden Plecoptera*)		
Polillas de agua (*Orden Trichoptera*)		
Coridálidos (*Orden Megaloptera*)		
Moscas de los lagos (*Orden Chironomidae*)		
Moscas zancudas (*Orden Diptera*)		
Libélulas (*Orden Odonata*)		
Camarones scud (*Orden Amphipoda*)		
Caracoles (*Clase Gastropoda*)		
Gusanos tubifex (*Clase Oligochaeta*)		
Sanguijuelas (*Clase Hirudinea*)		

Nuestro especial agradecimiento a Joann Y. Wheeler, del Departamento de Recursos Naturales de Maryland.

© Project WET Foundation, 2011

Hoja I de Datos de Macroinvertebrados

Nº de arroyo:
Registrado por:
Fecha del muestreo:

Composición porcentual de los principales grupos:

Después de clasificar los macroinvertebrados, prepare una tabla con el número de organismos de cada uno de los principales grupos enumerados más adelante y calcule su composición porcentual. Esta medición permite obtener la abundancia relativa de los macroinvertebrados de su muestra.

$$\text{Composición porcentual} = \frac{\text{Número de organismos de cada grupo}}{\text{Número total de organismos}}$$

Macroinvertebrado	**Número de organismos de cada grupo**	**Composición porcentual**
Moscas de mayo (Orden *Ephemeroptera*)		
Moscas de las piedras (Orden *Plecoptera*)		
Polillas de agua (Orden *Trichoptera*)		
Coridálidos (Orden *Megaloptera*)		
Moscas de los lagos (Orden *Chironomidae*)		
Moscas zancudas (Orden *Diptera*)		
Libélulas (Orden *Odonata*)		
Camarones scud (Orden *Amphipoda*)		
Caracoles (Clase *Gastropoda*)		
Gusanos tubifex (Clase *Oligochaeta*)		
Sanguijuelas (Clase *Hirudinea*)		
Número total de organismos		

(Adaptado de Mitchell, 1997)

© Project WET Foundation, 2011

Hoja II de Datos de Macroinvertebrados

Índice de Tolerancia a la Contaminación

1. Haga un tilde al lado de cada grupo de macroinvertebrados presente en su muestra. Por ejemplo, ya sea que haya encontrado una mosca de mayo o 50, haga un tilde en la línea de las moscas de mayo del grupo.
2. Complete el cuadro respecto de todos los grupos de macroinvertebrados.
3. Calcule el puntaje de los grupos mediante los multiplicadores que se le proporcionarán.
4. Sume el puntaje de todos los grupos para obtener su Puntaje Total.
5. Compare el Puntaje Total con los puntajes del Cuadro de Evaluación de la Calidad del Agua y registre la calificación relativa de la calidad del agua de su muestra del arroyo.

Nº de arroyo:
Registrado por:
Fecha del muestreo:

Grupo 1 de macroinvertebrados: Muy tolerantes	Grupo 2 de macroinvertebrados: Intolerantes	Grupo 3 de macroinvertebrados: Tolerantes	Grupo 4 de macroinvertebrados: Muy intolerantes
___Moscas de las piedras ___Moscas de mayo ___Polillas de agua ___Coridálidos	___Libélulas ___Camarones scud ___Moscas zancudas	___Moscas de los lagos ___Sanguijuelas	___Caracoles ___Gusanos tubifex
Número de tildes = ___ x4 Puntaje del grupo = ___	Número de tildes = ___ x3 Puntaje del grupo = ___	Número de tildes = ___ x2 Puntaje del grupo = ___	Número de tildes = ___ x1 Puntaje del grupo = ___
Puntaje Total = _____ Evaluación de la calidad del agua:		Cuadro de Evaluación de la Calidad del Agua: ≥23 Calidad de agua potencialmente excelente ≥17 Calidad de agua potencialmente buena ≥11 Calidad de agua potencialmente regular ≥10 Calidad de agua potencialmente mala	

(Adaptado de Mitchell, 1997)

© Project WET Foundation, 2011

Hoja de Datos de Indicadores Químicos

I. Luego de agregar una sustancia doméstica común al agua de repollo, revuelva brevemente y registre sus conclusiones en la siguiente tabla.

Sustancia doméstica común	Color de la solución
Agua de repollo sin ningún agregado	
Muestra Nº 1 – Con 15 gotas (1 ml) de refresco de cola	
Muestra Nº 2 – Con 15 gotas (1 ml) de jugo de limón	
Muestra Nº 3 – Con 1 cucharadita (1,3 g) de polvo de hornear	
Muestra Nº 4 – Con 15 gotas (1 ml) de amoníaco	

II. Observe el cambio de color de las muestras y determine si indica que la solución es un ácido, una base o una solución neutra. Analice con su grupo a qué parte de la escala pertenece cada muestra. Por ejemplo, el pH del agua de repollo púrpura sin ningún agregado es 7. Escriba “agua de repollo púrpura” debajo del valor neutro (7) de la escala. Escriba el número de la muestra en la escala, en el lugar al que usted cree que pertenece la muestra según su pH.

Ácido **Neutro** **Base**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

III. Luego de completar el experimento, responda a las siguientes preguntas.

1. ¿Por qué cambia de color el agua de repollo cuando se le agrega jugo de limón?

2. ¿Por qué cambia de color el agua de repollo cuando se le agrega amoníaco?

3. ¿Qué cree que ocurriría si se mezclara una solución de jugo de limón con una solución de amoníaco?

© Project WET Foundation, 2011

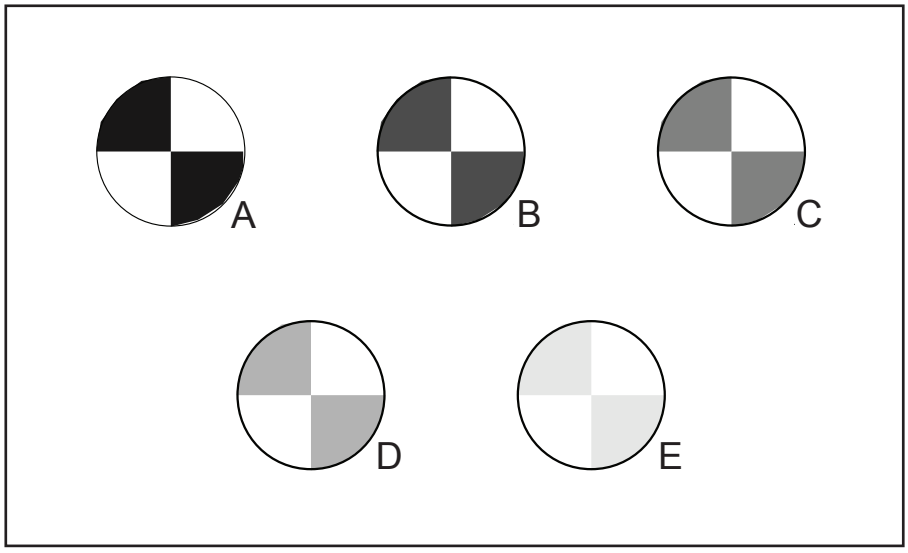
Prueba de Turbidez

1. Llene el tubo de ensayo o vaso con la muestra. Agite en forma continua el recipiente para asegurarse de que el sedimento se mantenga suspendido.

2. Coloque el tubo de ensayo/vaso encima de cada círculo, comenzando por el círculo A. Mire hacia abajo a través del tubo de ensayo/vaso. Si puede distinguir la parte oscura de la parte clara, pase al siguiente círculo B.

3. El primer círculo en el que usted no pueda distinguir la parte oscura de la parte clara indicará el valor de la turbidez.

4. Si puede distinguir la parte oscura de la parte clara en todos los círculos, la muestra es de agua mayormente clara, con muy poca turbidez.



A–Motivo de estrés para algunos peces debido a la falta de producción de alimentos
B–Producción más lenta de insectos acuáticos
C–Menor producción de algas y zooplancton
D–Menos luz para las plantas; fotosíntesis más lenta
E–Pocos efectos sobre las plantas y los animales acuáticos

Hoja de Datos de la Prueba de Turbidez

Muestra de agua 1: Letra: Interpretación:
Muestra de agua 2: Letra: Interpretación:
Muestra de agua 3: Letra: Interpretación:

© Project WET Foundation, 2011