

CAPÍTULO 7
LOS QUE NOS CUENTAN
CÓMO ESTÁ EL AGUA:
LOS INDICADORES
BIOLÓGICOS

Los humanos alteramos el ambiente muchísimo más que otros organismos que viven en la Tierra. Estas alteraciones pueden ser temporarias o más duraderas, y pueden tener distinta intensidad, por lo que pueden modificar los ecosistemas de diferentes formas (ver Capítulo 6). A veces las alteraciones humanas aumentan la productividad de un ecosistema (imaginemos un cultivo) o incluso su diversidad (hipótesis del “*disturbio intermedio*”), pero más frecuentemente los impactos en el ecosistema son negativos. Como “negativo” nos referimos a que disminuyen la biodiversidad y perturban los procesos ecosistémicos, incluso produciendo colapsos ambientales como, por ejemplo, la tala de selva tropical, que destruye el suelo e impide la regeneración del bosque; o la contaminación del océano con *microplásticos*, que alteran las cadenas tróficas y la productividad marina.

Las alteraciones de un ecosistema pueden ser obvias, por lo severas, o menos evidentes, pero siempre se ven reflejadas en los organismos que forman parte de él. Cuando usamos organismos para estudiar alteraciones, los estamos usando como “indicadores” del estado ecológico, y por estar vivos nos referimos a ellos como “bioindicadores” (un indicador no vivo, por ejemplo, sería un compuesto químico o un proceso erosivo). Los bioindicadores son de diferente tipo, ya que un organismo puede desaparecer de una zona alterada (por muerte o abandono del lugar) o puede sobrevivir y mostrar cambios en su cuerpo (deformaciones, enfermedades) o en su ciclo de vida (disminución de la fertilidad). A su vez, los bioindicadores pueden pertenecer a diferentes grupos taxonómicos (plantas, animales) y a diferentes ambientes (terrestres, acuáticos).

Los bioindicadores más usados en ambientes terrestres son los mamíferos, las aves y los árboles, debido a su tamaño y facilidad de observación e identificación. En el ambiente acuático, las algas, los anfibios, los peces y los invertebrados son frecuentemente utilizados para determinar cuán alterado está un ecosistema. Para esta determinación, se parte del conocimiento de “sitios de referencia” (ecosistemas en estado natural, no alterados, Fig. 1), y se los compara con los sitios que queremos evaluar. Cuanto mayor es la alteración de un sitio, mayor es la diferencia con los sitios de referencia. Así por ejemplo, un río con algo de alteración antrópica, que ocasione un aumento bajo de la materia orgánica (y consecuente disminución de oxígeno disuelto por acción microbiana) presentará menos *taxones* (Fig. 2) que un sitio limpio (Fig. 1). Si la contaminación es mayor,

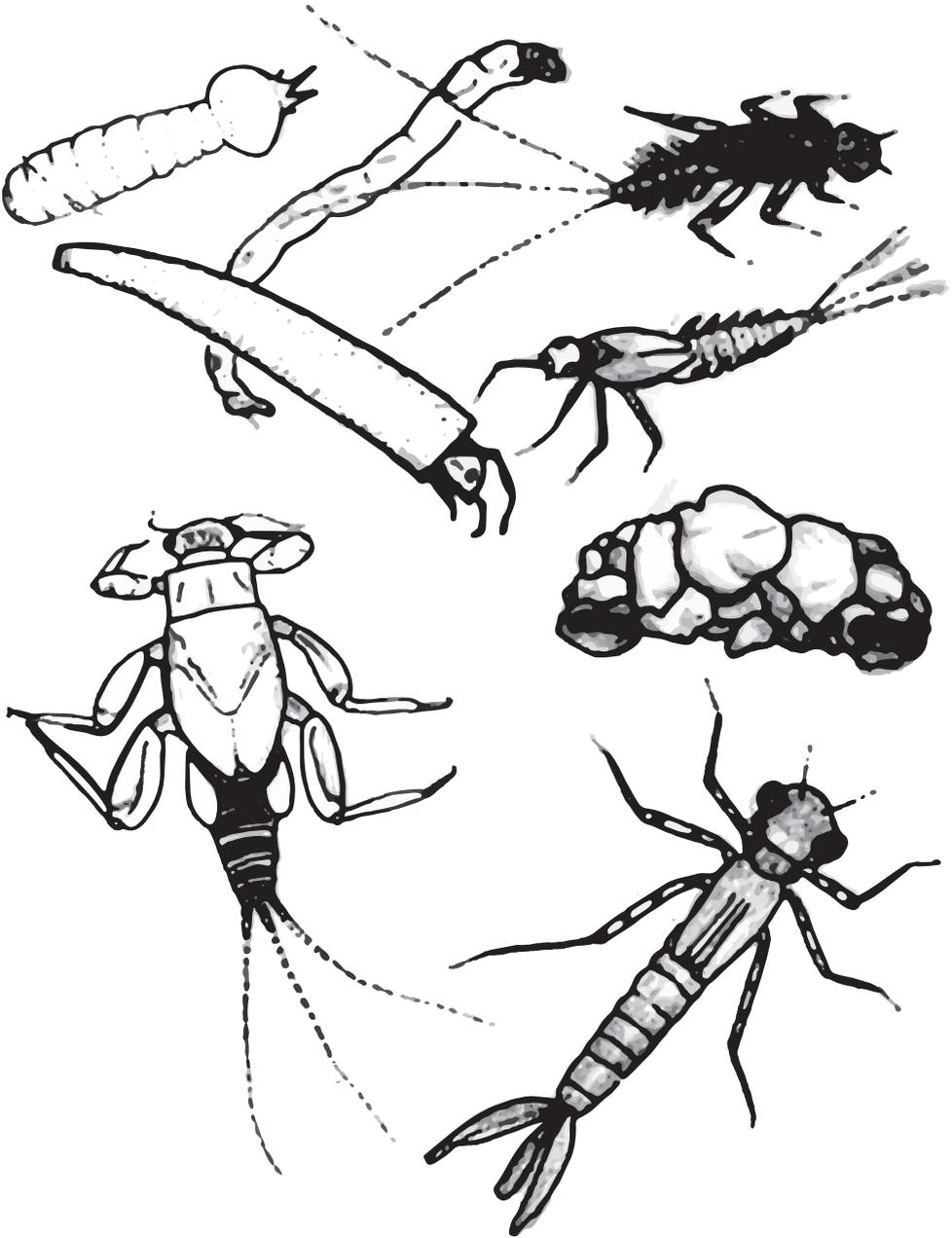


Fig. 1. Ejemplo de comunidad de macroinvertebrados en un río de referencia, no contaminado.

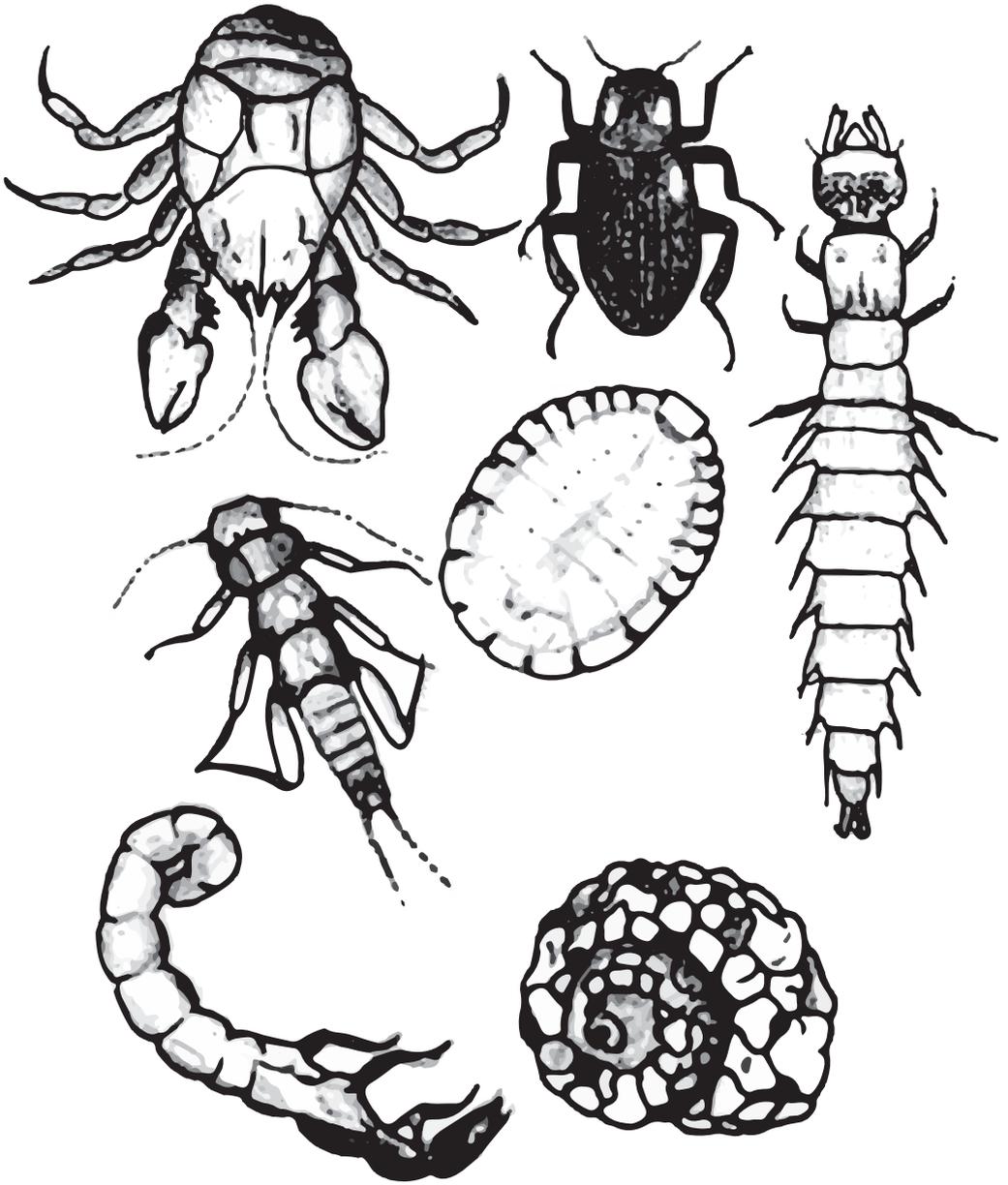




Fig. 2: Ejemplo de comunidad de macroinvertebrados en un río con contaminación media, por ejemplo, en zonas de agricultura y ganadería extensivas o con vertidos de aguas grises.

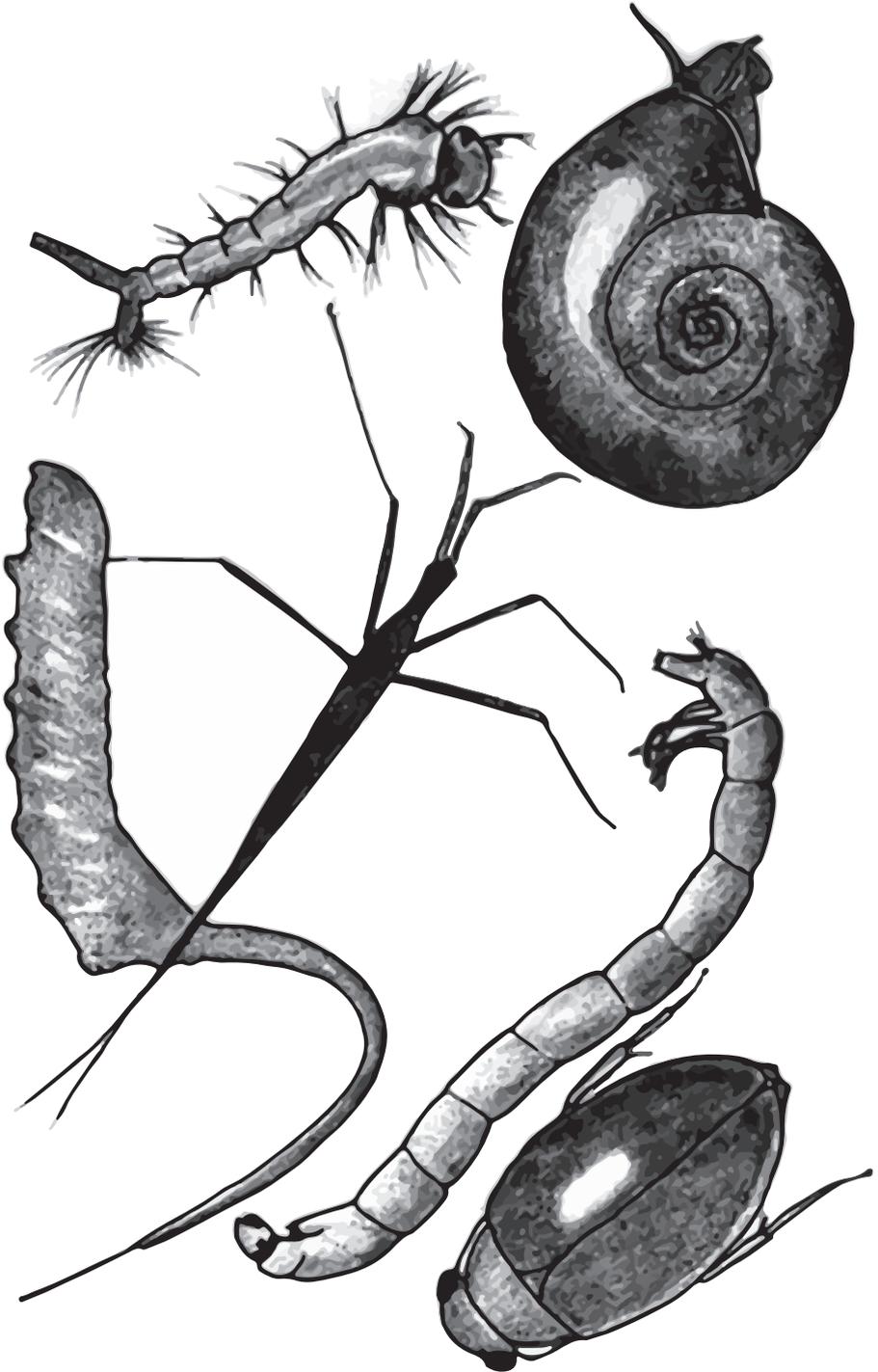


Fig. 3: Ejemplo de comunidad de macroinvertebrados en un río contaminado, con algo de **aguas negras** o industriales pretratadas.

serán solo unas pocas especies tolerantes las que estén presentes (Fig. 3). Y ante mayores alteraciones, como vertidos cloacales o industriales sin tratar, no encontraremos animales en el río. En este capítulo ejemplificamos el tema con dos grupos, los invertebrados acuáticos y los anfibios. Ambos grupos son muy sensibles a cambios ambientales, tanto en el agua como en las márgenes de ríos y arroyos, y tienen especies muy sensibles que desaparecen ante pequeñas alteraciones, y otras que resisten diferentes intensidades de impactos.

El estudio de los cambios en los seres vivos frente a presiones ambientales, puede brindarnos herramientas confiables para monitorear el estado de un ecosistema y reconocer señales de alarma (Dos Santos & Reynaga 2020). Los índices de bioindicación se basan en respuestas observables de los organismos y sirven para medir impactos ambientales. Estos índices varían según el nivel de organización considerado (desde índices cifrados en marcadores moleculares hasta índices basados sobre aspectos *estructurales* de la comunidad biológica), el tipo de bioindicador y el espacio físico de interés (marinos, continentales, de ríos y lagunas, de suelo y aire, etc.).

En general, para que un organismo sea usado como indicador biológico debe ser sensible a las condiciones del medio, los estados inmaduros (*larvas*) y/o adultos deben estar presentes a lo largo del año, deben ser abundantes, fáciles de coleccionar y deben poder ser identificados con razonable certeza.

Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la condición ambiental

Entre los invertebrados acuáticos se encuentran los cangrejos, caracoles, algunas lombrices y muchos insectos (ver Capítulo 4). Los invertebrados más pequeños son difíciles de identificar en campo y por eso usaremos en esta propuesta a los macroinvertebrados, o sea los que presentan más de 5 mm de longitud.

Los índices bióticos basados en macroinvertebrados

Tal vez el índice biótico más simple para usar en ríos serranos (ecorrecciones Yungas y Chaco Serrano del NOA) sea el IBY-4, el "índice biótico de la Yungas" basado en la presencia de 4 taxones. En su cálculo interviene 4 grupos de insectos fáciles de identificar en campo y muy comunes en am-

bientes en buen estado: los plecópteros, los tricópteros, los élmidos y los megalópteros (ver al final del Capítulo, Fig. 4). Estos organismos son sensibles a las alteraciones del ecosistema, y van desapareciendo a medida que la calidad del hábitat empeora. Los ríos en buen estado (sitios de referencia) presentan los cuatro grupos de insectos, además de otros organismos menos sensibles. Cuando el nivel de alteraciones sobre el río sobrepasa cierto umbral, y encontramos sólo dos (o menos) de estos cuatro grupos (cualesquiera de ellos), el IBY-4 señala mala calidad ambiental. En el peor de los escenarios el IBY-4 dará un resultado de cero, cuando ninguno de los grupos esté presente.

Adaptación del IBY-4 a otras ecorregiones: los ríos de ecorregiones como el Chaco Seco, el Monte, los Altos Andes y la Puna son naturalmente menos diversos que las Yungas y el Chaco Serrano. Puesto que la implementación del IBY-4 resultaría en valores bajos que no representan la realidad ecológica de esos ríos, deben usarse otros índices bióticos. En estos ambientes se pueden usar índices que cuentan todas las familias de macroinvertebrados presentes, y les asignan un puntaje de "sensibilidad" (Tabla 1).

Vertebrados indicadores de la condición ambiental, tomando como ejemplo a los anfibios

Los anfibios presentan varias características fisiológicas, ecológicas y de comportamiento que los convierten en excelentes indicadores de la condición general de un ambiente: 1) se encuentran presentes en la mayor parte de los ecosistemas y cumplen un papel clave en la transferencia de nutrientes y energía entre los medios acuático y terrestre; 2) su piel delgada, desnuda y semipermeable los hace sensibles a cambios en las condiciones fisicoquímicas del medio y facilita la absorción de tóxicos y contaminantes, especialmente cuando esas sustancias están disueltas en agua; 3) los huevos carecen de cáscara y de membranas extraembrionarias, por lo que son sensibles a cambios de temperatura, humedad y a la presencia de contaminantes; 4) en general, presentan un ciclo de vida con una fase larval acuática y una fase juvenil-adulta menos ligada al agua; el uso de múltiples hábitats a lo largo de su vida los expone a una mayor variedad de tensiones ambientales de lo que se esperaría para organismos que utilizan únicamente hábitats terrestres o acuáticos; 5) presentan un área de actividad aco-

Índice	Descripción	Región donde se lo emplea
Riqueza	Número de diferentes organismos registrados en un sitio dado.	 Noroeste/Centro
BMWP (<i>Biological Monitoring Working Party</i>)	Suma de los valores de tolerancia de todas las familias reconocidas en una muestra	 Noroeste/Centro
ASPT (<i>Average Score Per Taxon</i>)	Total del BMWP dividido por el número de familias encontradas	 Noroeste/Centro
EPT (Efemeróptero Plecóptero Tricóptero)	Número de especies de estos grupos (Klemm y col. 1990)	 Noroeste
EIPT (Élmido Plecóptero Tricóptero)	Número de especies de estos grupos (Von Ellenrieder 2007)	 Noroeste
IBY-4	VER EN ESTE CAPÍTULO	 Noroeste
IBC (Índice Biótico Carcaraña)	Considera el valor tabulado de cada taxón de acuerdo a algunas características ecológicas de los grupos observadas (Gualdoni y Corigliano 1991)	 Centro
IBSSL (Índice Biótico para las Sierras de San Luis)	Combina la riqueza total de taxones presentes y el grado de sensibilidad de los mismos (Vallania y col. 1996)	 Centro

Tabla 1. Índices bióticos más usados en la región centro - norte de Argentina. Modificado de Domínguez y col. 2022

tada, es decir que no se desplazan grandes distancias y suelen permanecer en el mismo lugar de eclosión. Diferentes agentes fisicoquímicos (como temperatura, radiación UV, pH; metales como mercurio, cromo, aluminio; herbicidas, insecticidas, fungicidas y residuos de medicamentos) pueden influir en el desarrollo, metabolismo, comportamiento, morfología, supervivencia y otros aspectos de los anfibios, ya sea en *estadios premetamórficos, metamórficos y postmetamórficos*. En particular, la etapa larval constituye uno de los períodos más vulnerables y críticos del ciclo de vida de los anfibios, ya que allí se desarrollan y diferencian tejidos y sistemas de órganos. Cualquier cambio relativamente pequeño en el desarrollo temprano y la exposición a determinados agentes nocivos en la etapa larval puede generar efectos profundos en la expresión del *fenotipo*, generando cambios en la tasa de crecimiento y desarrollo de anomalías.

Una *anormalidad* es una desviación de la morfología considerada "normal". Dependiendo de la gravedad y del sistema que se vea comprometido, estas anomalías pueden revertirse o desaparecer luego de la metamorfosis, mientras que otras pueden generar problemas fisiológicos e incluso ocasionar la muerte. El registro de anomalías constituye una herramienta útil para determinar la respuesta de los anfibios frente a estresores ambientales. A grandes rasgos, podemos distinguir dos tipos de metodologías de determinación de anomalías: de campo (mediante inspecciones visuales) y de laboratorio (mediante el uso de lupas estereoscópicas, radiografías, *diafanización* y tinción diferencial de esqueletos, disección e histología de órganos). A su vez, la determinación de anomalías puede realizarse en diferentes etapas del ciclo de vida, ya sea en estadios larvales o en estadios adultos, registrando modificaciones en el tegumento (como cambios en la pigmentación), modificación o ausencia de determinadas estructuras (como modificación en la cola de la larva o ausencia de ojos, miembros o dedos en adultos) y cambios en el número de ciertos elementos (como cantidad de *queratodontes* en larvas y cantidad de dedos en adultos).

En condiciones naturales, es esperable que en una población ocurran anomalías debido a defectos genéticos, a defectos durante el desarrollo, a traumas (pérdida de alguna parte del cuerpo por acción mecánica) o depredación. En anfibios se considera que el nivel basal o normal de ocurrencia de anomalías (calculado como el cociente entre la cantidad de

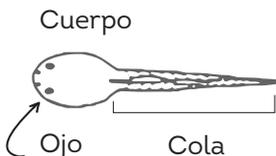
alteraciones de determinado tipo sobre el total de individuos analizados) se encuentra por debajo del 5%. Por encima de ese valor, se considera que la frecuencia de anomalías es alta y se la puede asociar con el efecto provocado por diferentes factores de estrés (ej.: agentes infecciosos, factores ambientales o exposición a contaminantes).

Determinación de anomalías morfológicas en larvas de anuros en campo mediante inspecciones visuales

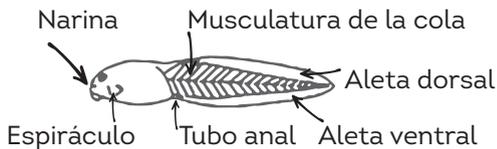
Con esta metodología se determinará la presencia y frecuencia de anomalías morfológicas en larvas de anuros, generadas por estresores ambientales. Es importante tener en cuenta que el hallazgo de larvas anormales suele ser poco frecuente debido a la baja probabilidad de supervivencia de los organismos, pero tiene gran relevancia ecológica, ya que puede indicar la ocurrencia de determinado factor de estrés que haya influido en el desarrollo. Se seleccionarán sitios con cuerpos de agua donde se hayan identificado larvas de anuros. El número de individuos capturados y analizados debe ser representativo para obtener valores significativos: en cada sitio se pasará el colador o red 3 veces contabilizando el número de larvas colectadas, si el número de larvas es menor a 20 se continuará pasando el copo hasta llegar por lo menos a 20 individuos. Se registrará el lugar, fecha y ambiente donde se encontraron los especímenes. Las larvas se colocarán en un recipiente transparente y se inspeccionará a cada una en vistas dorsal, ventral y lateral. Se registrará la presencia de características físicas anormales, utilizando una lupa de mano y fotografías en caso de ser necesario. En caso de encontrar anomalías, se las describirá utilizando la planilla de registro de anomalías (ver Planilla de Registro de Anomalías). Se calculará el porcentaje de individuos con anomalías (número de individuos con anomalías respecto al total de individuos examinados). Además, se calculará el porcentaje de individuos con cada tipo de anomalía (número de individuos con cierta anomalía respecto al número total de especímenes con anomalías). Luego se liberarán los ejemplares en el lugar de origen. Como ejercicio opcional, la actividad planteada puede ser realizada en ambientes con diferente grado de disturbio (ej.: en ambiente agrícola, suburbano, de bosque) para luego calcular el porcentaje de individuos con anomalías en cada tipo de ambiente y comparar los resultados entre sí.

FORMA GENERAL DEL CUERPO DE UNA LARVA DE ANURO

Vista dorsal



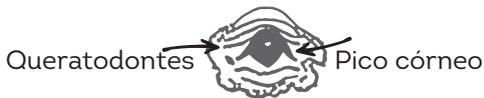
Vista lateral



Vista ventral



Disco oral



Planilla de Registro de Anormalidades

Anormalidades de la cola

- Flexión de la cola (se observa desde la base de la cola) (A)
- Curvatura de la cola (se observa principalmente en la región central de la cola) (B)
- Ondulación de la cola. (C)
- Pliegue de la cola. (D)

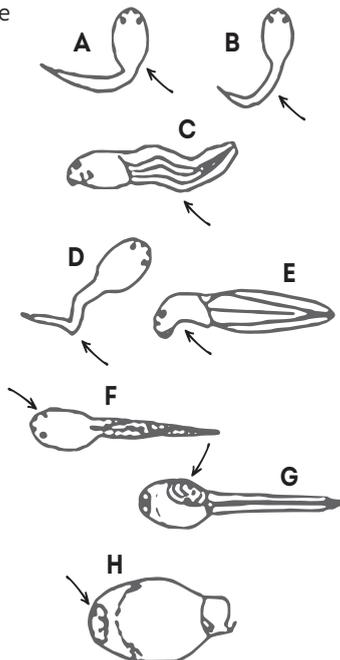
Anormalidades en el cuerpo

- Cuerpo cóncavo ventralmente. (E)
- Cuerpo asimétrico. (F)
- Intestino desplazado. (G)
- Intestino reducido.
- Hipo o hiperpigmentación.
- Edemas (exceso de líquido)
- Hinchazón corporal.

Anormalidades en la región oral

- Ausencia de queratodontes.
- Disposición anormal de queratodontes.
- Ausencia de pico córneo.

Otras anomalías (especificar):



CALIDAD AMBIENTAL

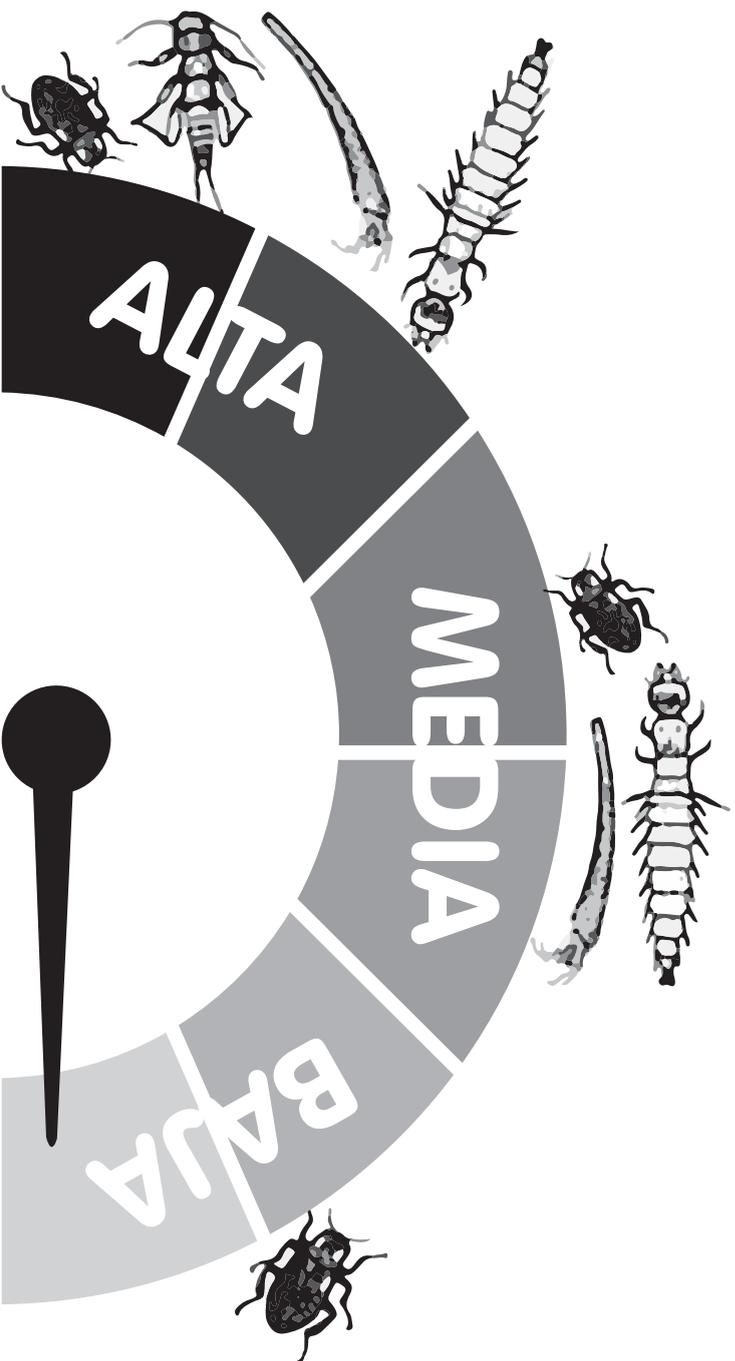


Fig. 4: Índice biótico de las Yungas basado en cuatro taxones (IBY-4).

Materiales

Colador de cocina de malla fina, bandeja plástica blanca, pinzas, lupa de mano.

¿Dónde y cómo buscar los organismos?

En las zonas de corriente de agua y fondo pedregoso. Colocar el colador bajo el agua y mover algunas piedras aguas arriba de manera que toda la "suciedad" que se suelta sea retirada por el colador. Ésta se forma por restos de hojas y sedimentos, además de los organismos acuáticos que viven en ellos. Colocar el contenido del colador en una bandeja blanca con un poco de agua y observar los animales capturados . Repetir el procedimiento unas 10 veces (aproximadamente 30 minutos de búsqueda) o hasta haber reconocido los cuatro grupos de insectos.

¡ATENCIÓN!

Este método no asegura que el agua sea potable, sino que indica el estado general de salud del ecosistema.

Más información:

www.ibn.conicet.gov.ar

El presente material didáctico forma parte del libro:
"Cuidando el agua, aprendemos a cuidar a toda la Vida"

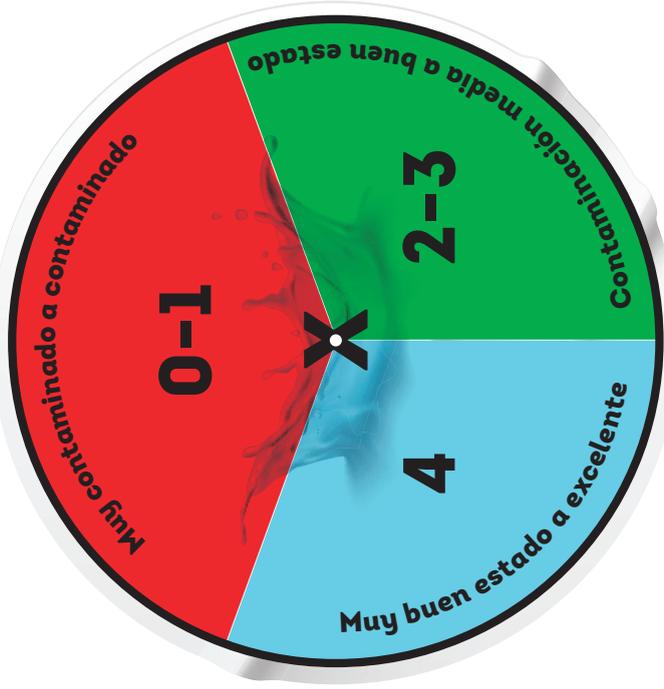
INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA IBY - 4



HERMANOS
DE LA TIERRA



Usando la Ruedita deberás hacer coincidir los números de acuerdo al valor obtenido, según la presencia de los organismos encontrados en el río.



Recorta la flecha e **insertala** en la **X** usando un **clip** de dos patitas.

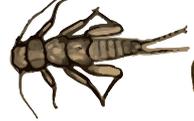


¿Cómo calculamos el IBY - 4?

La presencia de cada uno de estos insectos sumará 1 punto, pudiendo alcanzar un máximo de 4 (todos los grupos están en el río) y un mínimo de 0 (ninguno está presente).



Megalópteros (patudos): muy activos y grandes (hasta 7 cm), mandíbulas fuertes y muchas "patas" (3 pares de patas verdaderas en el tórax y 8 de filamentos respiratorios en el abdomen)



Plecopteros: caminan rápido, medianos (2-3 cm), chatos, con dos largas antenas y dos largas "colas". Tórax formado por tres placas grandes.

No confundir con las efímeras que en general tienen tres "colas" y solo 2 placas pequeñas en el tórax.



Tricópteros: parecen orugas (1 - 3 cm) muchas especies construyen casitas con arena o palitos.



Élmidos: pequeños escarabajos de menos de 1 cm. Oscuros caminan lentamente y no nadan. Sus larvas son alargadas, cilíndricas o chatas (con un mechón de "pelos" en la cola). No confundir con escarabajos "buceadores" que son nadadores rápidos, con cuerpo lustroso o brillante.



TÍTULO/TEMA

Bioindicadores de calidad de agua y ambiente acuático.

OBJETIVO/INTENCIÓN PEDAGÓGICA

Conocer el estado ecológico de un arroyo a través de su fauna.

CONTENIDOS

■ Ecosistema. Ambiente acuático. Contaminación. Tramas tróficas. Productores, consumidores, descomponedores. Relaciones simbióticas y coevolución.

MATERIALES NECESARIOS

- Botas o calzado de reemplazo.
- Coladores plásticos de cocina.
- Bandejas de plástico o telgopor.
- Lupa.
- Cartilla de identificación de macroinvertebrados acuáticos.
- Planilla de anormalidades de larvas de anuros.

DESARROLLO SECUENCIAL, PROCEDIMENTAL Y TIEMPO ESTIMADO

Tiempo estimado total: 2 hs en campo. Actividades:

- 1-** Planteo del problema a investigar y acceso al arroyo
- 2-** Observación de las características físicas del ambiente y vegetación de ribera.
- 3-** Muestreo de macroinvertebrados y renacuajos con coladores y su observación *in vivo* en bandejas y lupas.
- 4-** Identificación de los principales grupos de animales encontrados y de posibles deformidades en renacuajos.
- 5-** Cálculo de índice biológico de calidad ambiental (por ej. índice biótico de las yungas para macroinvertebrados) y de frecuencia de anormalidades en anfibios.

EVALUACIÓN

■ Dibujos sobre la actividad son útiles para ver en qué grado los estudiantes incorporaron nuevos elementos o relaciones en sus saberes. Usar la Ruedita desplegable adjunta.

PROPUESTAS-SUGERENCIAS PARA LA CONTINUIDAD DE ESTOS “APRENDERES” (Y POSIBLE ARTICULACIÓN CON OTROS ESPACIOS CURRICULARES)

- Elaboración de material de divulgación: redacción de nota periodística, videos, historias, etc.
- Elaboración de propuestas para mejorar o mantener el estado del sitio visitado.
- Propuesta de contenidos para cartelera en el sitio visitado.