

BIOINDICADORES

Señales para comprender el lenguaje del agua





Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Fernando Balcázar
Especialista senior de sostenibilidad división de recursos naturales
Colombia, 2017- 2020

Carlos Salazar
Especialista senior de sostenibilidad división de recursos naturales
Colombia, 2020- 2022

Josué Ávila Murillo
Especialista GEF, 2017- 2019

Olga Lucia Bautista Martínez
Especialista GEF, 2019- 2022



Fundación Natura Colombia

Clara Ligia Solano
Directora ejecutiva

Nancy Vargas Tovar
Subdirectora técnica

Claudia Lorena Franco
Subdirectora técnica

Sandra Galán
Subdirectora técnica

Mauricio Rosas
Jefe financiero y contable

Andrea Gutiérrez de Piñeros
Jefe administrativa y de gestión humana

Eliana Garzón
Jefe de comunicaciones

Juan Carlos Alonso
Coordinador proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, 2017-2021

Carlos Vieira Betancourt
Coordinador proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, 2022

Carolina Rincón Villafrade
Coordinadora áreas prioritarias de conservación, 2019-2021

Beatriz Hernández Castillo
Coordinadora gestión de la salud de los ecosistemas, 2017-2021

Ana Cevalyn León
Coordinadora monitoreo y evaluación, 2020-2021

Equipo técnico Componente monitoreo y evaluación

Lyda Amparo Cruz Méndez
Gabriel Antonio Pinilla Agudelo
Mónica Tatiana López Muñoz
Juan David Serna Arbeláez
Sharel Alexa Charry Ocampo
Astrid Tatiana Romero
Yesid Fernando Rondón Martínez
Camilo Ernesto Andrade Sossa
Denisse Viviana Cortés Castillo
Yennifer García Murcia
Mayra Camila Guerrero Lizarazo



MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Susana Muhamad González
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Luis Gilberto Murillo
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016- 2018

Ricardo Lozano Picón
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018- 2020

Carlos Eduardo Correa
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020- 2022



IDEAM
Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam)

Yolanda González
Directora general

Nelson Omar Vargas
Subdirector de hidrología



Fondo Adaptación

Fondo Adaptación

Raquel Garavito
Gerente



Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena)

Pedro Pablo Jurado
Director ejecutivo

Apoyo de sabedores locales

Arbenis Carpio
Danilson Segovia Zambrano
Genaro Madrid
Oladys gutierrez Cantillo
Omaida Rangel
Soila Segobia
Teobaldo Cervantes
Yoel Palomino
Yomira García

Autores

Ana Cevalyn León Rincón
Lyda Amparo Cruz Méndez
Mónica Tatiana López Muñoz
Luis Carlos Peña

Coordinación editorial

Ana Cevalyn León Rincón
Maura Alejandra C. Callejas

Impresión

1a edición: Enero de 2023
Bogotá D.C., Colombia

ISBN

978-958-8753-93-5

© Fundación Natura Colombia

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión del contenido de esta cartilla para fines educativos u otros fines no comerciales, con previa autorización de los titulares de los derechos de autor y citando la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.

Cómo citar:

León Rincón, A. C., Cruz Méndez, L. A., López Muñoz, M. T., Peña, L. C. (2022). *Bioindicadores: señales para comprender el lenguaje del agua*. Fundación Natura Colombia.

Edición de textos

Luis Carlos Peña

Curaduría técnica

Ana Isabel Sanabria Ochoa

Corrección de estilo

Carlos Andrés Jurado Vásquez

Diseño y diagramación

Ayleen N. Escobar

Ilustraciones

Gabriela Otálora

Fotografías

Equipo técnico Gestión de la Salud de los Ecosistemas
Programa de Modelación Ecohidrológica proyecto GEF
Magdalena Cauca Vive

BIOINDICADORES

Así es tu cartilla



*Mi nombre es Sie...
Soy una investigadora, aventurera y
conocedora de los ríos y ciénagas de
Colombia. Te acompañaré en esta
cartilla, para que juntos interpretemos
el mundo de los bioindicadores.*

Objetivo

En esta cartilla haremos un recorrido a través del cual aprenderás a comprender mejor a los organismos que habitan los ecosistemas acuáticos y la forma en la que nos brindan señales que podemos interpretar para saber el estado en el que se encuentran los cuerpos de agua.

Estas son las partes de tu cartilla

Bioindicadores: una forma de entender el lenguaje del agua	Pág 4
Escalas temporales y espaciales	Pág 17
Tipos de bioindicadores	Pág 22
Grupos de organismos usados como bioindicadores en agua dulce	Pág 26

Envidéate y aprende



Al final de la cartilla en el recuadro naranja encontrarás un video complementario que te permitirá conocer el uso de bioindicadores.

Recuerda que:



En los cuadros verdes encontrarás definiciones de algunas palabras importantes.

Bioindicadores:

una forma de entender el lenguaje del agua

Mi familia y yo vivimos cerca al río, en un pueblo pequeño y cálido que subsiste de la pesca y el trabajo de la tierra. Mis tatarabuelos fueron los primeros en llegar hace muchos años. Venían buscando un lugar tranquilo, con árboles que siempre dieran frutos; donde se consiguiera buena tierra para sembrar plátano y yuca, y, sobretodo, donde se encontrara agua en abundancia o, como decía el abuelo, la mayor riqueza que nos regala el planeta.



Desde aquella época, y a lo largo de las generaciones, mi familia y yo fuimos creando un lazo muy fuerte con el río: por décadas hemos sacado el pescado para comer, el agua para tomar, cocinar y asear la casa... hemos aprendido desde niños a nadar... y nos ha servido como medio de transporte para ir a la ciudad y a otros pueblos cercanos.

A partir de esa relación con el río y el agua, hemos aprendido a interpretarlos, conocerlos y saber si algo les pasa. Por ejemplo, sabemos que cuando sube el agua en el río y en las ciénagas se aproxima la subienda de bocachico. Con solo ver el color y sentir el olor del agua podemos saber si es buena para beberla y dársela a los animales.

Así, poco a poco, a lo largo de los años, familias como la mía y otras personas que investigan y observan ríos, quebradas y ciénagas, se han dado cuenta cómo el agua

y los seres vivos que habitan en ella brindan muchas señales que podemos aprender a interpretar; a usar para nuestro bienestar y el de nuestro entorno. Es como si el agua y los organismos que la habitan nos hablaran; solo tenemos que aprender a entender su lenguaje.

Cuando logramos interpretar las señales que nos brindan seres vivos como peces, insectos, plantas acuáticas o microorganismos, podemos tener indicaciones acerca de los niveles de contaminación, el efecto de nuestras acciones en los ecosistemas... y con ello tomar decisiones para cambiar lo que estamos haciendo mal.

Por eso, te invito a que me acompañes en esta cartilla, para conocer más acerca de las señales e indicaciones que nos dan los organismos vivos, a los que llamaremos de ahora en adelante bioindicadores.

Los organismos que habitan el agua

Conozcamos la biodiversidad acuática

El primer paso para entender los bioindicadores es poder distinguir y reconocer los seres vivos que están en el agua. Por eso te invito a que empecemos nuestro recorrido y veamos algunos de estos maravillosos organismos:

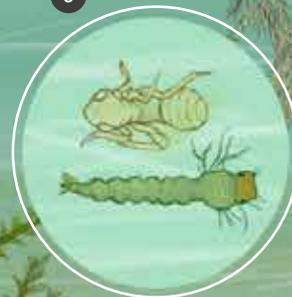
Existen otros organismos que habitan el agua, como los mamíferos (nutrias, delfines y manatíes), reptiles (tortugas, caimanes, lagartos y serpientes), anfibios (ranas, sapos, salamandras y cecilias), bacterias y hongos. En esta cartilla nos enfocaremos en los seis grupos de organismos descritos en esta imagen, por ser los grupos trabajados desde la Fundación Natura, en el desarrollo del proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive.



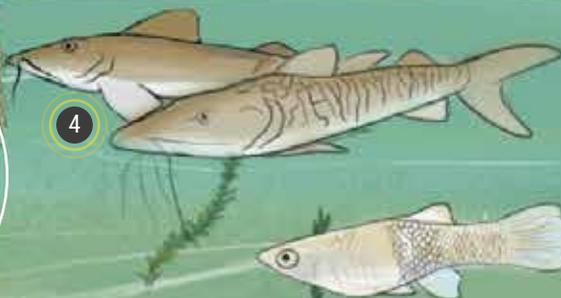
1



2



3



4

5

6

1 Fitoplancton y Ficoperifiton:

Organismos que absorben luz y nutrientes para alimentarse, crecer y vivir (al igual que las plantas). Son muy pequeños, solo pueden ser observados con una lupa muy potente o microscopio. Cuando están flotando o siendo arrastrados por la corriente del agua se les denomina **fitoplancton**; cuando están pegados a troncos, rocas o cualquier otra superficie se les denomina **ficoperifiton**.

2 Zooplancton

Animales muy pequeños, que viven flotando o siendo arrastrados por la corriente del agua. Usualmente pueden ser observados únicamente con lupas y microscopios.

3 Macroinvertebrados acuáticos

Invertebrados (animales sin esqueleto) observables a simple vista, entre ellos se encuentran insectos, moluscos (caracoles y babosas) y crustáceos (camarones y cangrejos).

4 Peces

Grupo de vertebrados (animales con esqueleto) diverso, que permanecen todo su ciclo de vida en el agua. Están en su mayoría cubiertos por escamas y tienen aletas, gracias a las cuales pueden movilizarse en los ecosistemas acuáticos.

5 Macrófitas

Plantas que habitan parte o todo su ciclo de vida en ambientes permanente o periódicamente inundados. Adaptan su forma y tamaño a las condiciones del ecosistema.

6 Vegetación ribereña

Plantas que se encuentran a la orilla de los ríos, quebradas, embalses y ciénagas. Toleran las crecidas y desbordes de agua.

¿Por qué los organismos pueden ser indicadores del estado de su ambiente?

Alguna vez te has preguntado ¿por qué hay ciertos animales y plantas que únicamente habitan algunos lugares?, ¿por qué el bocachico únicamente está en agua dulce y cálida? o ¿por qué el buchón o la taruya crece más en algunos meses del año y forma tapones en las ciénagas?



Como te lo habrás imaginado, los animales, plantas y todos los seres vivos, tienen preferencias por ciertas condiciones para escoger las zonas donde viven. Algunos se desarrollan mejor en climas cálidos y húmedos; otros prefieren las temperaturas frías y secas; unos responden a los cambios

en la cantidad de alimento disponible (nutrientes); en otros casos son muy intolerantes ante ciertos contaminantes... y así cada uno tiene requerimientos propios para poder vivir y desarrollarse.

Cuando comprendemos las condiciones ecológicas requeridas por cada organismo, es decir, las condiciones de su hábitat, su alimentación, su relación con otros organismos y con su medio ambiente, podemos comenzar a identificar la información que nos puede brindar cada ser vivo sobre el lugar donde se encuentra.

A modo de ejemplo: supongamos que en la quebrada donde está la bocatomía del acueducto de la vereda siempre ves un insecto en el agua. Cuando investigas sobre él descubres que le gusta vivir en aguas limpias y que no tolera la contaminación.

Ahora imaginemos que ves menos insectos, hasta que un día desaparecen. Seguro te preguntarías: ¿qué habrá pasado? ¿Qué los hizo desaparecer?

Recuerda que:



Los **bioindicadores** pueden ser organismos, comunidades de varios organismos o procesos de la vida de los organismos, que pueden ser usados e interpretados para evaluar la calidad del ambiente y los cambios que pueda tener a lo largo del tiempo.

Fuente: Morais, Palau y Silva (2009).

Es probable que la desaparición de los insectos esté relacionada con cambios en su ambiente. Dichos cambios trajeron nuevas condiciones en el agua, por lo cual los insectos huyeron o murieron.

Esto puede ser un indicador que nos da señales respecto a algún tipo de contaminación o alteración en el agua. Con ello podríamos revisar si es seguro seguir usándola para nuestro consumo. La presencia o ausencia de un organismo puede ser una señal de alerta.

Teorías de indicación biológica

A lo largo de muchos años de observación, experimentación y análisis en varias partes del mundo, se han pensado algunas teorías que nos ayudan a comprender e interpretar los bioindicadores.

*Veamos
de qué se trata:*

Teoría de los factores limitantes

Para entender esta teoría, ayúdame a resolver los siguientes tres ejercicios. No leas las letras **amarillas** hasta que hayas pensado bien tu respuesta:



Ejercicio N° 1



Imagina un barril construido con láminas de madera de diferente tamaño, algunas más cortas que otras.

Ahora supón que debes llenar el barril con agua. ¿Hasta qué altura crees que podrás llenarlo?

¡Es correcto! Solo podrás llenarlo hasta la altura de la lámina de madera más corta, debido a que a partir de allí comenzará a derramarse el líquido.

El factor limitante para llenar el barril es la lámina más corta.

Ejercicio N° 2



Piensa que las láminas de madera del barril representan nutrientes que están en el suelo, y cada nutriente va a estar representado por un color.

¿Cuál nutriente (color) será el factor limitante para llenar el barril?

¡Exacto! El nutriente rojo es el factor limitante para llenar el barril.

Ejercicio N° 3



Ahora imagina que los nutrientes que representamos con colores en el barril (ejercicio 2), son nutrientes del suelo que necesita una planta para su crecimiento.

¿Crees que exista algún factor que limite el crecimiento de la planta?

¡Muy bien! Si el nutriente rojo es el factor limitante, es este nutriente el que establecerá cuánto puede crecer la planta (así como estableció cuánto puede llenarse el barril).

¿Cómo se relacionan los factores limitantes con la bioindicación?

Variables del ambiente como luz, humedad y nutrientes, entre muchas otras, pueden ser factores limitantes que condicionan la abundancia y tamaño de algunos grupos de organismos.

Es decir, si conocemos la abundancia o el tamaño de un organismo en un ambiente, podemos intuir qué tanta disponibilidad de nutrientes existe en dicho lugar.

Veámoslo en un ejemplo: con frecuencia en estanques, o donde hay agua empozada, el agua se torna de color verde intenso. Este color se debe a una gran abundancia de organismos diminutos llamados fitoplancton. El aumento repentino de la abundancia de estos organismos significa que hay una sobrecarga de nutrientes como fósforo o nitrógeno que posiblemente provienen del uso inadecuado de fertilizantes en cultivos cercanos, cuyos residuos caen en el cuerpo de agua provocando cambios en sus características naturales (cambio en su calidad).

Fuente: adaptado de Lampert & Sommer 2007

Teoría del nicho ecológico



Para comprender la teoría del nicho ecológico veamos un ejemplo de una especie muy común en las aguas de la macrocuenca del Magdalena - Cauca: El bocachico.

¿De qué me alimento?

Vivo raspando con mis labios la superficie de troncos, plantas y rocas, donde como materia orgánica y perifiton.

¿Dónde vivo?

Principalmente en las ciénagas y canales de los ríos.



¿Quién se alimenta de mí?

Otros peces más grandes, como el bagre rayado.

¿Cómo me reproduzco?

Debo migrar para reproducirme. Desovo en las quebradas y los ríos. Los huevos y peces pequeños (mis hijos) son arrastrados por el agua hasta las ciénagas, donde encuentran refugio y alimento para crecer.

¿A qué temperatura prefiero estar?

Prefiero las aguas cálidas que estén entre 22 y 34°C.

El **bocachico**, así como otras especies de peces, aves, mamíferos, insectos, plantas o cualquier tipo de organismo vivo, se relaciona de una forma particular con el ambiente que lo rodea y con otros organismos. A estas relaciones las llamamos funciones ecológicas.

Estas funciones ecológicas pueden ser la forma en la que se alimenta, el tipo de alimento que consume, el sitio donde vive, la manera en la que se comporta, el horario del día en que es más activo, la manera en la que se reproduce y, en general, cada aspecto de su modo de vida.

La teoría del nicho ecológico dice que el conjunto de estas características o funciones ecológicas es único y exclusivo para cada especie y por lo general no se comparte con otras.

¿Cómo se relaciona el nicho ecológico con la bioindicación?

Como señalan los autores Townsend y Harper (2006), para la bioindicación las funciones ecológicas son importantes porque, al conocer cómo es el nicho o las condiciones ecológicas de una especie indicadora, es posible saber muchas características de un ambiente, con solo ver o capturar dicha especie indicadora.

Veamos un ejemplo: tenemos un pez al que llamaremos "A". El nicho del pez "A"

es de agua cálida y transparente; no tolera la contaminación y no soporta el agua estancada. Si en una quebrada encontramos el pez "A", tendremos un indicador que nos señala las características del agua de la quebrada, las cuales serán iguales o parecidas al nicho que describimos para el pez: agua cálida, transparente, sin contaminación y con corrientes que hacen que fluya.

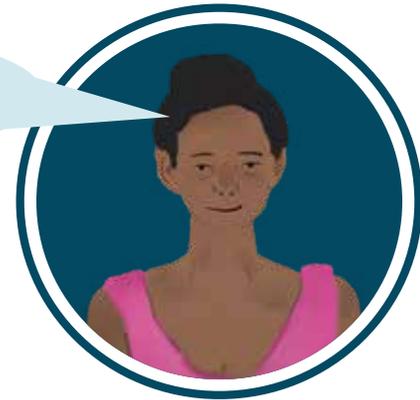
Recuerda que:



El **nicho ecológico**, de acuerdo con la definición de Townsend y Harper (2006), corresponde a las características propias de un organismo en un ecosistema. Por ejemplo: qué come, a qué hora es más activo, si prefiere la temperatura alta o baja, etc.

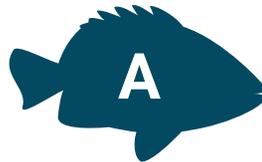
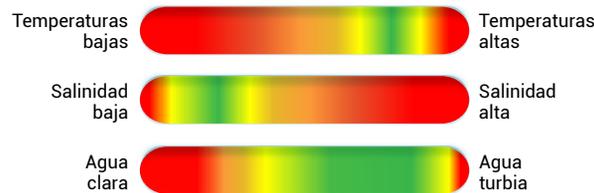
Teoría de los límites de tolerancia

Imagina dos especies acuáticas.
A la primera la llamaremos "A" y a la segunda "B".

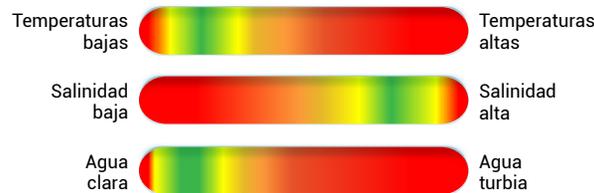


Los organismos requieren ciertas condiciones específicas del medio en donde habitan para poder vivir, crecer, nutrirse y reproducirse, como señalan los autores Lampert y Sommer (2007) y Smith y Smith (2007). Por ejemplo, un árbol de mango necesita tener radiación solar potente y un ambiente con temperaturas cálidas para poder crecer y dar frutos. En otras condiciones, donde la temperatura sea baja y la radiación solar sea menor, el árbol no podrá crecer igual y posiblemente nunca dará frutos.

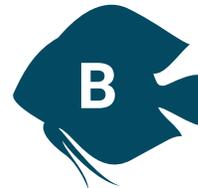
De acuerdo con lo anterior, para cada tipo de organismo existen rangos óptimos de factores del medio ambiente, como temperatura, humedad, radiación solar y salinidad, entre muchos otros, para poder vivir exitosamente; es decir, por fuera de los límites de esos rangos, dichos organismo no pueden vivir, ni desarrollarse de manera óptima.



La **especie A** se desarrolla en agua cálida, no tolera la salinidad alta y puede desarrollarse en agua con media o alta turbidez.



La **especie B** se desarrolla en agua fría, vive en ambientes con alta salinidad y únicamente tolera el agua clara.



 Rango **óptimo** para la especie

 Rango **adecuado** para la especie

 Rango **mortal** para la especie

¿Cómo se relacionan los límites de tolerancia con la bioindicación?

Al conocer el detalle de los límites de tolerancia de una especie se pueden inferir las condiciones de una zona con tan solo verificar la presencia y abundancia de dicho organismo.

Volvamos a nuestro ejemplo: si en una quebrada encuentro una gran abundancia de la especie A, puedo pensar que las condiciones predominantes de dicho sitio son: temperatura cálida, salinidad baja y turbidez media o alta.

Teoría de las perturbaciones

(Primera parte)

Las perturbaciones o disturbios, como lo definen autores como Levine y Peine (1974), son eventos que pueden darse por causas naturales o por actividades humanas. Estos eventos provocan un cambio drástico en el ecosistema, bien sea por la mortalidad de algunos organismos o por alteraciones en su comportamiento, salud y funcionamiento.

Pensemos en un ejemplo para entenderlo mejor. Imaginemos tres tipos de perturbaciones: un incendio en un bosque, el taponamiento de un caño que comunica una ciénaga con el río y el derrame accidental de petróleo sobre una quebrada. Ahora relacionemos las tres perturbaciones con algunos impactos que podrían desencadenar en el ecosistema.



Perturbaciones



Impactos sobre el ecosistema

- Mortandad de organismos
- Pérdida de conectividad entre ecosistemas
- Alteración en la salud de los organismos
- Pérdida de biodiversidad
- Acumulación de contaminantes en los tejidos
- Alteraciones en la reproducción de los organismos

¿Qué pasa en un ecosistema después de una perturbación?

Tras una perturbación los ecosistemas pueden responder de diferentes maneras. En ocasiones los impactos son tan fuertes que los cambios resultan permanentes. Otras veces, tras una recuperación, se reconfigura de nuevo el ecosistema. Veamos un ejemplo en un bosque ribereño derribado por una avalancha:

En el ejemplo se observa que, tras la perturbación, en este caso una avalancha, casi toda la vegetación desapareció. Después de una perturbación como esta comienzan a llegar especies colonizadoras, o aquellas capaces de crecer rápidamente en ambientes como los que quedaron después de la avalancha.

Una vez las especies colonizadoras se establecen en la zona, cambian la configuración del terreno y facilitan la llegada de especies competidoras que, poco a poco, dominan el ecosistema y forman un nuevo bosque.

Veamos un ejemplo en un bosque ribereño derribado por una avalancha:



1. Bosque ribereño en buen estado de conservación.



2. Por causas naturales hay una avalancha de lodo, rocas y agua.



3. La avalancha arrastra toda la vegetación, incluyendo árboles, arbustos y casi todas las hierbas.



4. Donde antes había bosque, solo queda el suelo desnudo.



5. Al pasar el tiempo, comienzan a crecer diferentes tipos de hierbas en el suelo (especies colonizadoras).



6. Más adelante, ya no solo las hierbas crecen, sino que comienzan a crecer arbustos y pequeños árboles (especies competidoras).



7. Después, algunos árboles comienzan a crecer lentamente y a sobresalir entre el resto de vegetación (especies competidoras).



8. Finalmente, tras todo el proceso, se configura un bosque nuevamente.

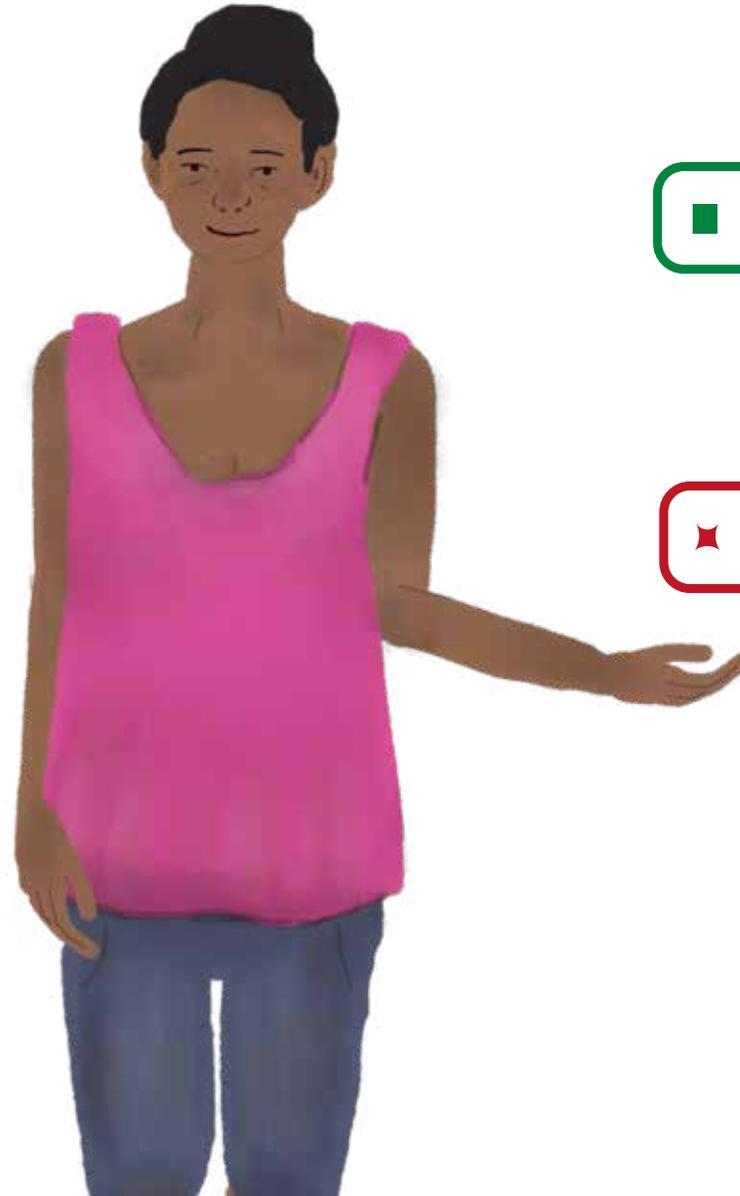
Todo este proceso en el que se produce una secuencia de cambios en un ecosistema a lo largo del tiempo, después de una perturbación, lo llamamos **sucesión ecológica**.

Teoría de las perturbaciones

(Segunda parte)

La teoría del disturbio intermedio

Para entender esta teoría imaginemos que tenemos las especies competidoras en figuras verdes y las colonizadoras en figuras rojas.



Especies competidoras



Especies colonizadoras



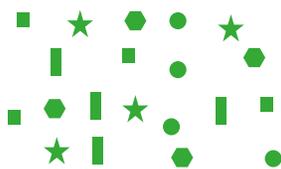


Ahora pensemos tres escenarios, con tres diferentes grados de disturbio o perturbación:

Escenario N° 1

En este ecosistema hay pocos disturbios o perturbaciones de magnitud muy leve.

Los organismos dominantes son las especies competidoras (como los árboles de un bosque).

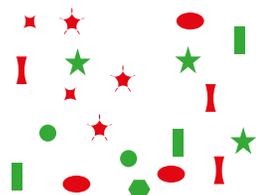


Cuando los disturbios son leves y poco frecuentes las especies competidoras dominan el ecosistema.

Escenario N° 2

En este ecosistema se presentan disturbios o perturbaciones intermedias.

Acá existen tanto especies competidoras (como los árboles) y especies colonizadoras (como las hierbas).

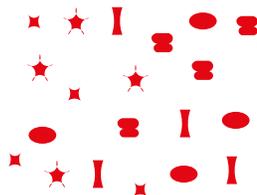


Cuando los disturbios son intermedios algunas especies competidoras sobreviven y algunas especies colonizadoras se establecen en el ecosistema. En este tipo de disturbio el número total de especies aumenta.

Escenario N° 3

En este ecosistema se presentan fuertes disturbios o perturbaciones de manera frecuente.

Acá existen principalmente especies colonizadoras.



Cuando los disturbios son fuertes y frecuentes las especies competidoras desaparecen, o disminuye su abundancia, y las especies colonizadoras dominan el ecosistema. Disminuye el número de especies.

Mayor diversidad

Menor diversidad

Disturbios leves y poco frecuentes

Disturbios fuertes y frecuentes

Teoría del disturbio intermedio: en situaciones de disturbios o perturbaciones moderados, la diversidad se incrementa (Connell, 1978)

¿Cómo se relaciona la teoría de las perturbaciones con la bioindicación?

Cuando tenemos el conocimiento suficiente de un ecosistema podemos relacionar el tipo de especies que se encuentran allí (colonizadoras y competidoras), su abundancia y diversidad, con el nivel de disturbio que ha tenido. Con ello sabremos qué ha pasado en el área.

Especies competidoras



Especies colonizadoras



Escalas temporales y espaciales

Hasta este punto hemos aprendido que los bioindicadores corresponden a organismos que, de manera individual o en comunidades, nos proporcionan señales de lo que está pasando y ha pasado en el ecosistema acuático.

Si los pudiéramos comparar, son parecidos a herramientas: nos permiten medir el estado y los cambios de los ecosistemas. Por ese motivo, como cualquier herramienta que usamos, los bioindicadores son útiles siempre y cuando se usen en la escala de tiempo y espacio adecuada.

La escala espacial

Pensemos en algunos ejemplos con herramientas que todos conocemos:

Primer caso



Si te encargan medir la distancia que hay entre Bogotá y Santa Marta, cuál de las siguientes herramientas escogerías:

- A. Un metro de costura,
- B. Una regla escolar,
- C. Un vehículo que tenga un contador de kilometraje.

Para ambos casos tenemos las mismas tres herramientas que sirven para tomar medidas de distancia. Sin embargo, para el primer caso, seguramente escogiste la opción **c) Un vehículo que tenga un contador de kilometraje**, dado que es el que permite medir grandes distancias, como las que hay entre Bogotá y Santa Marta.

Por el contrario, para el segundo caso, es posible que hayas escogido la opción **a) Un metro de costura**, porque es la

Segundo caso



Si ahora te encargan medir la estatura de cada uno de los integrantes de tu familia, cuál de las siguientes herramientas te funcionará mejor:

- A. Un metro de costura,
- B. Una regla escolar,
- C. Un vehículo que tenga un contador de kilometraje.

herramienta más sencilla de emplear para medir la distancia desde el suelo hasta la coronilla de la cabeza de una persona, a fin de saber su estatura.

Adicionalmente, en ambos casos se está midiendo una distancia: en el primero se mide en kilómetros y en el segundo en metros. Esto se debe a que los dos casos tienen escalas espaciales diferentes, que requieren ser medidas con herramientas y unidades diferentes.

La escala **temporal**

Imaginemos dos casos donde debemos medir el tiempo:



Primer caso

Debes escoger con cuál de las siguientes unidades de medida puedes contabilizar el tiempo que se demora crecer un árbol de mango para alcanzar una altura de varios metros y dar frutos abundantes:



- A. Minutos
- B. Semanas
- C. Años

Segundo caso



Debes escoger con cuál de las siguientes unidades de medida puedes contabilizar el tiempo que te demoras en ir desde tu casa hasta la plaza de mercado más cercana:

- A. Minutos
- B. Semanas
- C. Años

En estos dos casos tenemos las mismas tres unidades de medida: minutos, semanas y años, sin embargo, para cada uno usamos diferentes unidades.

Para el primer caso seguramente escogiste la opción **c) Años**, dado que un árbol de mango toma varios años para alcanzar una altura de unos cuantos metros y dar frutos abundantes. Para el segundo caso probablemente escogiste

la opción **a) Minutos**, dado que con esta unidad puedes contabilizar fácilmente el tiempo que te demoras en ir desde tu casa hasta la plaza de mercado.

Entonces, pese a que las tres unidades de medida contabilizan el tiempo, para cada caso se emplea una diferente. Esto se debe a que los dos casos tienen escalas temporales diferentes, que deben ser medidas con unidades específicas para cada caso.

Bioindicadores y escalas temporales - espaciales

Los procesos ecológicos suceden a escalas temporales y espaciales diferentes. Algunos pueden tardar millones de años y abarcar continentes enteros, como la formación de la cordillera de los Andes, y otros pueden suceder en cuestión de días y abarcar un pequeño espacio, como el crecimiento de taruya o buchón en una ciénaga.

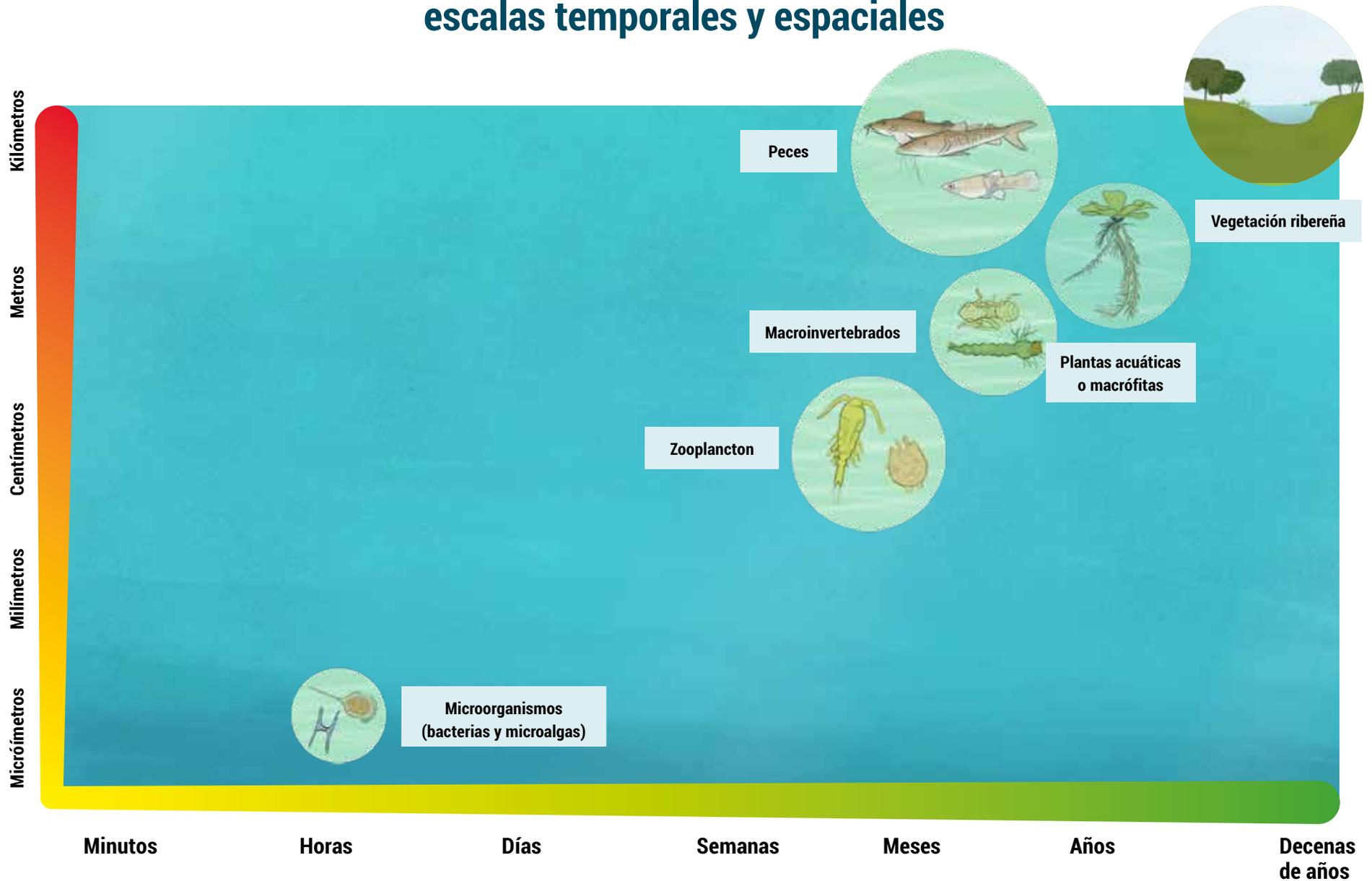
Por ese motivo, los diferentes tipos de organismos brindan información a escalas temporales y espaciales diferentes. Los

microorganismos (virus, algas, bacterias) viven en escalas espaciales de unas pocas micras y en lapsos de tiempo de horas a días, por lo que pueden brindar información a escalas temporales y espaciales pequeñas.

El zooplancton se desarrolla a escala de centímetros o metros, en tiempos que van desde semanas, hasta meses. Los macroinvertebrados pueden moverse en espacios de varios metros o decenas de metros y viven desde algunos meses, hasta

uno o dos años. Los peces se mueven en territorios más amplios, que van de varios metros, a decenas de kilómetros, y viven de uno a varios años. Las plantas acuáticas se encuentran en escalas intermedias (meses, a años, y metros, a kilómetros), mientras que la vegetación ribereña es la comunidad de escala más amplia, pues sus especies pueden vivir varios años o decenas de años y ocupar desde unos cientos de metros, hasta decenas o centenas de kilómetros.

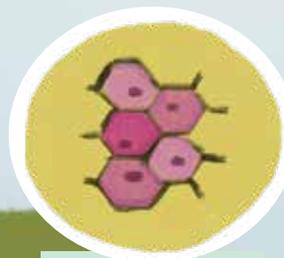
Respuesta de grupos de organismos en diferentes escalas temporales y espaciales



Nota: esta figura es un esquema generalizado de las escalas temporales y espaciales de respuestas de los grupos de organismos ante cambios en su ambiente. Dentro de cada grupo puede haber especies y excepciones que muestren respuestas a diferentes escalas temporales y espaciales.

Tipos de bioindicadores

Los bioindicadores pueden ser desde respuestas a nivel interno de un organismo, hasta cambios en la configuración de los ecosistemas. Para entenderlo bien veamos el siguiente esquema:



Tejido muscular del bocachico

Biomarcadores

A nivel interno de los organismos, como en sus tejidos, en sus órganos, en su metabolismo o en su ADN, se pueden presentar respuestas que nos permitan saber cómo está el ecosistema.

Ejemplo: en los tejidos del músculo de los peces se puede saber si hay acumulación de metales pesados como mercurio, que es potencialmente tóxico para nosotros y cualquier otro ser vivo.



Comunidad de fitoplancton



Comunidad de macroinvertebrados

Recuerda que:



Una **comunidad** es un conjunto de poblaciones que viven en un mismo lugar e interactúan unas con otras.

Un **ecosistema** es un conjunto de seres vivos, el entorno que los rodea y las relaciones que se tejen entre ellos.

Una **población** es un conjunto de organismos de la misma especie que viven en un lugar determinado.

Fuente: Begon, Townsend & Happer, 2006.

Respuestas comunitarias

Son cambios en la diversidad, riqueza (número de especies), abundancia (cantidad de individuos de cada especie), dominancia de especies, número de organismos de especies tolerantes o sensibles ante alteraciones en su medio ambiente.

Ejemplo: los macroinvertebrados acuáticos que viven en una misma ciénaga conforman una comunidad. Cuando en dicha ciénaga suceden alteraciones, por ejemplo, el vertimiento de agua contaminada, las especies más sensibles ante la contaminación van a disminuir o desaparecer y, posiblemente, las especies más tolerantes van a dominar la comunidad.



Bocachico

Respuestas orgánsmicas

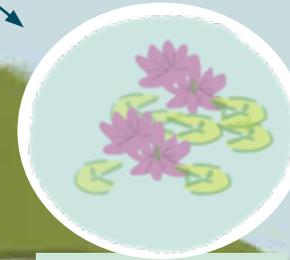
Los organismos pueden tener cambios en su comportamiento, alimentación, fecundidad y crecimiento ante variaciones en su ambiente.

Ejemplo: algunos peces salen a tomar oxígeno en la superficie, donde sacan su boca y toman una bocanada de aire. Esto lo hacen cuando el oxígeno escasea en el agua.

Respuestas poblacionales

Son cambios en las características de la población: mortalidad, natalidad, tiempo de vida, distribución geográfica, proporción de sexos, etc.

Ejemplo: algunas poblaciones de macrófitas o plantas acuáticas comienzan a ser más abundantes cuando hay mayor cantidad de nutrientes en el agua.



Población de una especie de macrófita



Población de una especie de macroinvertebrado



Respuestas ecosistémicas

Son cambios en la estructura (composición y abundancia de especies y sus relaciones) y el funcionamiento del ecosistema.

Ejemplo 1: para un ecosistema como el de la ilustración, que corresponde a una ciénaga, existen un conjunto de especies que interactúan entre sí y con el medio ambiente. Por ejemplo, el fitoplancton produce alimento para el zooplancton, que a su vez es consumido por los peces juveniles. Estos peces juveniles encuentran refugio en las macrófitas y los restos vegetales que caen al agua desde la vegetación ribereña.

Ejemplo 2: un cambio abrupto en el ambiente, como la deforestación de la vegetación ribereña, conllevaría a un aumento en la erosión y con ello un incremento en la turbidez del agua. El incremento en la turbidez afecta a las comunidades de fitoplancton y, con ello, todos los organismos que dependen de ella para alimentarse. Esto produciría un cambio completo en el ecosistema, tanto en su estructura (tipos de especies y abundancia de cada una), como en su función (las relaciones que existían entre los organismos cambian o dejan de existir).

Tipos de bioindicadores y escala temporal

Imagina por un momento la siguiente escena: el conductor de un camión que transportaba una sustancia muy tóxica se quedó dormido por un instante y accidentalmente chocó el costado del vehículo contra una roca que estaba al lado del camino. Después del choque, el conductor bajó del camión, lo revisó y se dio cuenta de que se hizo un agujero en el tanque y que el líquido estaba derramándose; cayendo sobre una laguna cercana.

De forma inmediata, dio aviso, y al poco tiempo llegaron las autoridades ambientales. Cuando evaluaron la situación, vieron que era necesario saber los impactos que fueron causados por el accidente, para conocer su gravedad y saber cómo actuar.

Al tratarse de un contaminante muy tóxico, una de las personas de la autoridad ambiental dijo que era probable que los impactos se produjeran de forma inmediata, pero, además, que perdurarían por varios meses o incluso años.



Ante esta situación, se tomaron las medidas de control necesarias para detener el derrame y se estableció un plan para evaluar los impactos que generó el accidente sobre el ecosistema. Para ello se decidió emplear una serie de bioindicadores que permitieran conocer los cambios en el corto y largo plazo, como se muestra a continuación:

Respuestas ecológicas en una laguna, ante derrame de contaminante

Escala de tiempo	Cambios producidos por la contaminación	Tipos de bioindicadores	Ejemplos
Inmediata	Se accidenta el camión y el líquido contaminante cae en la laguna		
	↓		
	Cambia la calidad del agua		
	↓		
	Los organismos perciben la contaminación		
Minutos a días	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">Escapan del lugar</div> <div style="width: 45%;">Su cuerpo responde (cambios fisiológicos: respiración, circulación, digestión, etc.)</div> </div>	Biomarcadores	Muestras de órganos y tejidos de peces y macrófitas, para evaluar el tipo y cantidad de contaminante que los afectó.
Horas a semanas	Alteraciones crónicas o permanentes en los organismos	Respuestas orgánicas	Evaluación del estado reproductivo de los peces para saber si hubo cambios en la cantidad de huevos que producen.
Días a meses	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">Crecimiento</div> <div style="width: 45%;">Reproducción</div> </div>	Respuestas poblacionales	Medición de los cambios de abundancia de algunas especies de macroinvertebrados sensibles a la contaminación.
Meses a años	Cambios en las poblaciones	Respuestas comunitarias	Análisis del tipo de especies que conforman la comunidad de fitoplancton para saber si hubo cambios en su abundancia y riqueza (número de especies).
Años a décadas	Cambios en la estructura y función de las comunidades	Respuestas ecosistémicas	Cuantificación de cambios en la producción primaria de macrófitas (producción de biomasa como hojas, raíces, tallos y flores).
	↓		
	Cambios en la estructura y función de los ecosistemas		

Fuente: Vernberg y Vernberg (1981).

Grupos de organismos usados como bioindicadores en agua dulce

En la primera sección de esta cartilla empezamos a distinguir algunos grupos de organismos que viven en el agua, como microalgas (fitoplancton y ficoperifiton), zooplancton, macroinvertebrados, peces y macrófitas. También aprendimos que la vegetación ribereña no vive propiamente en el agua, pero es fundamental para los ecosistemas acuáticos.

Cada uno de estos grupos posee cualidades únicas que nos ayudan a usarlos como bioindicadores. Algunos nos sirven para evaluar cambios de corto plazo en los ecosistemas, y otros, en el largo plazo.

Algunos nos dan señales en escalas espaciales grandes de cientos de kilómetros, y otros nos brindan información a escalas espaciales pequeñas, de unos cuantos metros.

Si quieres saber más de los organismos que viven en las ciénagas, ríos y quebradas, te invito a conocer cada uno de ellos a continuación. Te sorprenderá saber que existen muchos tipos de seres vivos que caben ¡en solo una gota de agua!



Microalgas planctónicas (fitoplancton) y perifíticas (ficoperifiton)

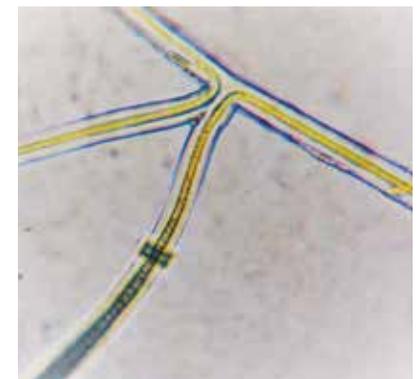
¿Alguna vez has visto agua empozada que se vuelve de color verde intenso?

¿Has observado rocas, troncos, hojas o raíces sumergidas que tienen un recubrimiento verdoso y baboso? Estos y otros colores aparecen cuando hay una

gran cantidad de organismos en el agua adheridos a superficies como rocas y troncos, conocidos como microalgas.

Las microalgas son organismos diminutos, que no podemos ver a simple vista. Las microalgas tienen múltiples formas y

tamaños, algunas son redondeadas, otras tienen protuberancias y otras son filamentos largos y delgados. Para apreciarlos, necesitamos usar microscopios con un aumento muy grande, que permite ver imágenes como las siguientes:



Estos organismos, al igual que las plantas que vemos en el bosque o en nuestros cultivos, son fotoautótrofos, lo que quiere decir que producen su propio alimento a partir de la luz solar, gas carbónico del aire y los nutrientes que encuentran en el suelo y el agua. Otros organismos, como animales y hongos, no pueden producir su propio alimento y dependen del consumo de otro ser vivo.

Este proceso de producción de su propio alimento a partir de la luz se denomina fotosíntesis. La fotosíntesis es un proceso muy importante para los ecosistemas, dado que permite que los organismos fotoautótrofos crezcan, sirvan de alimento a otros y produzcan oxígeno.

Pero volvamos a las microalgas. Estos organismos diminutos pueden vivir suspendidos en el agua o adheridos a las superficies.

Cuando las microalgas están suspendidas o flotando en el agua y se mueven arrastradas por las corrientes, se les denomina fitoplancton. Cuando viven adheridas a las rocas, troncos, hojas, raíces o cualquier otra superficie sumergida, se les denomina ficoperifiton.

Para que te imagines el tamaño de algunas especies de microalgas que viven frecuentemente en el agua, observa detenidamente lo siguiente:

Imagina que tienes un **punto rojo** de 1 mm de diámetro, como el que ves a la derecha.

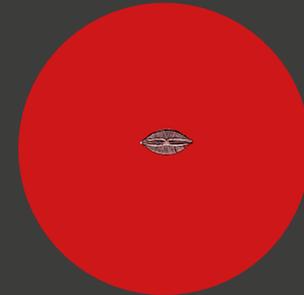
Imagen en tamaño real



Ahora el mismo **punto rojo** lo aumentamos de tamaño 100 veces.

Sobre el punto rojo aumentado ponemos una imagen de un tipo de microalga llamada diatomea.

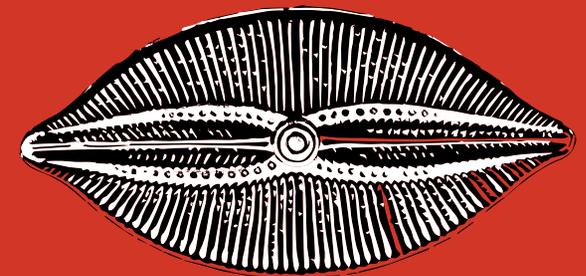
Imagen aumentada 100 veces



Esta es la imagen de la diatomea aumentada 1000 veces su tamaño.

En un punto de 1mm pueden haber 10 diatomeas organizadas en una línea, una tras otra.

Imagen aumentada 1000 veces



Microalgas como bioindicadoras



En general, las microalgas son excelentes bioindicadores ya que, por su pequeño tamaño y ciclos de vida muy cortos (unos pocos días), responden con facilidad y rapidez a los cambios ambientales, son muy susceptibles a las variaciones recientes en la calidad del agua y del hábitat.

Para usar las algas microscópicas como bioindicadoras, es necesario conocer su tipo y forma de crecimiento, dado que algunos grupos de organismos con formas determinadas tienen mayor o menor preferencia por ciertas condiciones del medio ambiente.

Por ejemplo, algunas especies prefieren vivir en aguas muy limpias. Otras se adaptan muy bien a aguas muy ricas en nutrientes o contaminadas. Igualmente, existen muchas especies que no resisten la

contaminación química (metales pesados, pesticidas, hidrocarburos), mientras que otras tienen la capacidad de soportarla.

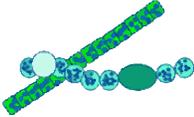
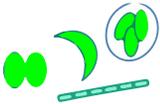
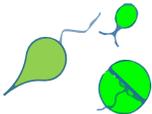
A partir de esto, algunos investigadores han descubierto la relación de los tamaños y formas de las microalgas con algunas características de su bioindicación.

Gracias a esto, hoy en día podemos observar a través de un microscopio el agua, reconocer el tipo y cantidad de microalgas que se encuentran en ella y saber algunas características respecto a su nivel de contaminación o cantidad de nutrientes que posee.

A continuación, te mostramos la clasificación propuesta por autores como Carla Kurk (2010), la cual sirve de guía para el trabajo de bioindicación a partir de microalgas:

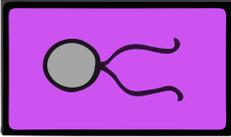
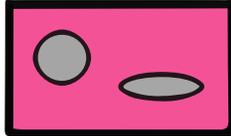
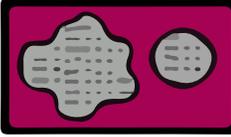
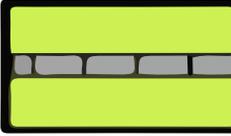
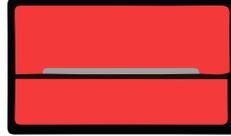
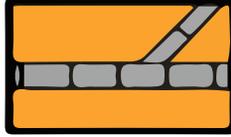


Microalgas como bioindicadoras

	Grupos	Descripción	Características para la bioindicación
1		Organismos pequeños, con una relación alta entre la superficie y el volumen de su cuerpo.	Son organismos abundantes en los ecosistemas acuáticos. Unas pocas especies de este grupo pueden producir impactos negativos en el agua.
2		Organismos pequeños flagelados (que tienen proyecciones o apéndices alrededor del cuerpo) y con una coraza silíceea (parecida al vidrio).	Se desarrollan bien en agua con temperatura baja y con baja o moderada cantidad de nutrientes.
3		Organismos grandes y con forma de filamento.	Se desarrollan muy bien en ambientes turbios.
4		Organismos de tamaño medio, sin características especiales.	Crece y prolifera en ambientes que tengan buena calidad de agua.
5		Organismos compuestos por una sola célula grande y con flagelos (proyecciones o apéndices alrededor del cuerpo).	Pueden abundar y dominar las comunidades cuando hay alta concentración de materia orgánica.
6		Organismos sin flagelos con coraza silíceea (parecida al vidrio).	Rara vez tienen efectos negativos grandes en la calidad del agua.
7		Colonias o grupos de organismos que tienen un aspecto gelatinoso.	Se encuentran en abundancia en ambientes con alta concentración de nutrientes.

Fuente: Kruk & otros (2010).

Características bioindicadoras de microalgas perifíticas (ficoperifiton)

Grupo	Descripción	Características para la bioindicación
1	 <p>Organismos unicelulares (conformados por una sola célula), pequeños y con flagelos (proyecciones o apéndices alrededor del cuerpo) que les permite moverse.</p>	Pueden ser predominantes después de eventos de perturbación.
2	 <p>Organismos unicelulares que no pueden moverse y se posan directamente sobre el sustrato (rocas, troncos, hojas, etc.). Son prácticamente planos.</p>	Son sensibles cuando la superficie donde vive se seca y cuando existen muchos sedimentos.
3	 <p>Organismos unicelulares o coloniales (que forman grupos entre varios organismos). La mayoría tienen crecimiento tridimensional (a lo ancho, largo y alto).</p>	Son comunes en sistemas con alta disponibilidad de luz.
4	 <p>Organismos conformados por varias células, organizadas en una fila que conforma un filamento.</p>	Requieren buena disponibilidad de luz y nutrientes, por lo que, con frecuencia, se asocian a sistemas enriquecidos.
5	 <p>Organismos conformados por varias células, organizadas en una fila que conforma un filamento. Poseen estructuras que les ayudan a fijarse al sustrato (troncos, rocas, etc.).</p>	Soportan poca cantidad de luz y bajas concentraciones de nutrientes.
6	 <p>Organismos conformados por varias células, organizadas en una fila que conforma un filamento. Tiene ramificaciones y estructuras para fijarse al sustrato (troncos, rocas, etc.).</p>	Se encuentran en abundancia en ambientes con alta concentración de nutrientes.

Fuente: Stevenson, Bothwell y Lowe (1996); Hoagland, Roemer y Rosowski (1982); Hudon y Legendre (1987); Moura (1997); Larned (2010); Dunk, Rodrigues y Bicudo (2015); Letáková, Fránková y Poulicková (2018).

Zooplankton

El zooplankton está conformado por un grupo de animales que viven flotando en el agua, pero son tan pequeños que usualmente solo se pueden ver bien con una lupa potente o un microscopio.

Estos organismos son heterótrofos, lo que significa que, a diferencia del fitoplancton, no producen su propio alimento y necesitan alimentarse de otros organismos para vivir, así como nosotros o cualquier otra especie animal.

Este grupo tiene una alta diversidad de especies, algunas son familiares muy lejanos de los camarones y otras provienen de antiguos animales pequeños. Su presencia y abundancia pueden indicar qué tan sanos o contaminados están los ambientes acuáticos como lagos, lagunas, ríos y embalses.

Esta capacidad bioindicadora se debe a la preferencia que tiene cada especie por determinadas condiciones: algunas están acostumbradas a vivir en sitios con

poco oxígeno, mientras otras necesitan mucho oxígeno para respirar y sobrevivir. Unas se desempeñan muy bien en ambientes contaminados, mientras otras prefieren los ambientes muy limpios.

La presencia de una u otra especie según sus preferencias, nos indica si el lugar donde viven es bueno para otros organismos, como peces y aves acuáticas, o, incluso, podría darnos señales acerca de qué tan seguro es usar el agua para nuestro propio consumo.

Grupos principales de zooplancton en ecosistemas de agua dulce



Cladóceros



Pulga de agua (*Moina micrura*)

Copéodos



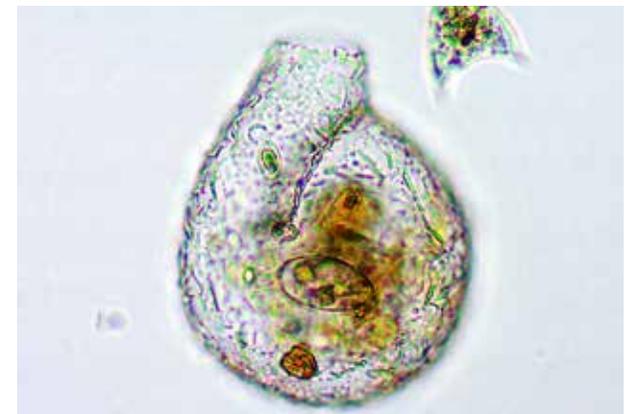
Calanoida

Rotíferos



Asplanchna cf. brightwellii

Protozoos



Lesquereusia

En los ecosistemas acuáticos tropicales, como los que encontramos en Colombia, los organismos del zooplancton tienen un tamaño reducido y un ciclo de vida corto.

Para la mayoría de especies, sus ciclos de vida (periodo desde que nacen hasta que mueren) pueden durar desde días, hasta unas pocas semanas o meses.

Esta característica de su ciclo de vida hace que los organismos que conforman el zooplancton sean buenos indicadores de perturbaciones en escalas temporales de semanas o meses.

Esta característica de su ciclo de vida hace que los organismos que conforman el zooplancton sean buenos indicadores de perturbaciones en escalas temporales de semanas o meses.

Es así como, en un ecosistema, las variaciones en la presencia (o ausencia) y abundancia de los grandes grupos que conforman el zooplancton (Protozoos, rotíferos, copépodos y cladóceros) pueden dar señales de cambios en características del agua como temperatura, cantidad de nutrientes y minerales en el agua.

Adicionalmente, la presencia y abundancia de los organismos del zooplancton en los ecosistemas acuáticos es esencial, dado que conforman uno de los eslabones clave para el engranaje y funcionamiento de la red trófica.

Por un lado, el zooplancton consume fitoplancton para crecer y sobrevivir; por otro, el zooplancton es un recurso alimenticio muy importante para otros animales (como peces), siendo fundamental para el mantenimiento del flujo de nutrientes y, en general, para el funcionamiento del ecosistema.

Para que te imagines el tamaño de algunas especies de zooplancton que viven frecuentemente en el agua, observa detenidamente lo siguiente:

Imagina que tienes un **punto verde** de 1 mm de diámetro, como el que ves a la derecha.

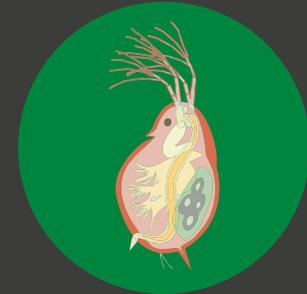
Imagen en tamaño real



Ahora el mismo **punto verde** lo aumentamos de tamaño 100 veces.

Sobre el punto verde aumentado, ponemos una imagen de un cladócerico cuyo cuerpo mide cerca de 1mm.

Imagen aumentada 100 veces



Recuerda que:

Todos los seres vivos necesitamos alimento para poder vivir. Por eso necesitamos consumir otros organismos para alimentarnos, a excepción de las plantas y algunos otros organismos fotoautótrofos, que producen su propio alimento a partir de luz, gases de la atmósfera y nutrientes del suelo y el agua. Cuando sabemos cuáles organismos consumen a otros y la forma en la que lo hacen en un ecosistema, estamos hablando de una **red trófica**.

Fuente: Kormondy (1996).



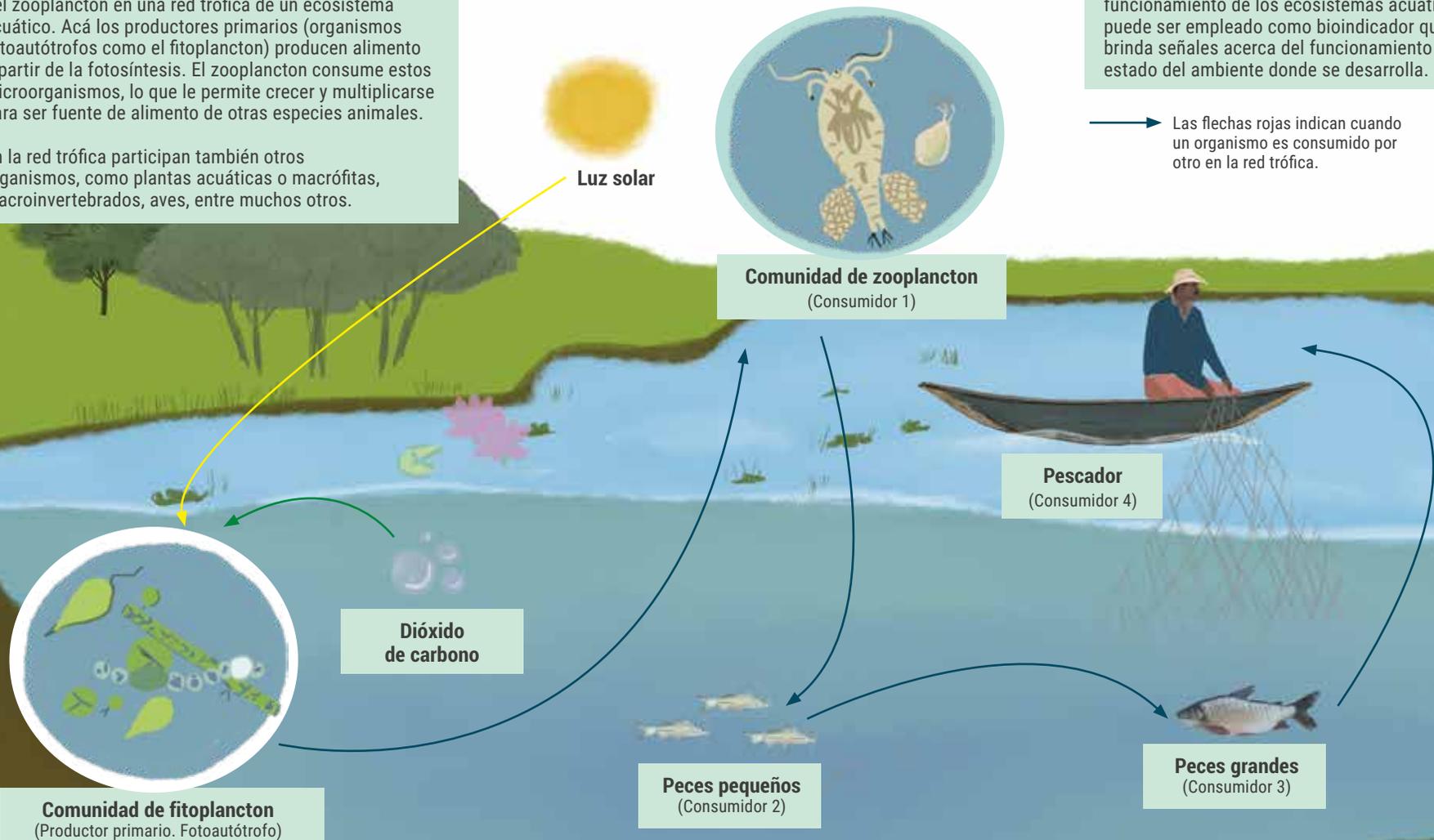
Grupos principales de zooplancton en ecosistemas de agua dulce

Este es un ejemplo sencillo del papel de los organismos del zooplancton en una red trófica de un ecosistema acuático. Acá los productores primarios (organismos fotoautótrofos como el fitoplancton) producen alimento a partir de la fotosíntesis. El zooplancton consume estos microorganismos, lo que le permite crecer y multiplicarse para ser fuente de alimento de otras especies animales.

En la red trófica participan también otros organismos, como plantas acuáticas o macrófitas, macroinvertebrados, aves, entre muchos otros.

Dada la importancia del zooplancton para el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, puede ser empleado como bioindicador que brinda señales acerca del funcionamiento y estado del ambiente donde se desarrolla.

Las flechas rojas indican cuando un organismo es consumido por otro en la red trófica.



Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados tienen muchas formas y adaptaciones que les permite vivir en múltiples hábitats en los ecosistemas acuáticos. En esta imagen puedes apreciar algunos de los tipos de macroinvertebrados más comunes y dónde viven:



La diversidad de hábitats de los macroinvertebrados acuáticos



Sobre o entre la vegetación acuática

Debajo de hojas y tallos de plantas acuáticas sumergidas

Troncos y vegetación en descomposición

Superficie del agua

Bajo la superficie en la columna de agua

En el fondo, sobre arena y lodo

En el fondo, sobre y bajo las piedras

1



Limnaea
(caracoles)

2



Gammaridae
(familiares de los camarones y cangrejos)

3



Ephemeroptera
(moscas efímeras)

4



Trichoptera
(tricópteros o frigáneas)

5



Plecoptera
(moscas de la piedra)

6



Odonata
(libélulas)

7



Chironomidae
(zancudos y moscos)

8



Gerridae
(patinadores)

Seguramente has visto estos animales cada vez que vas al río o a la ciénaga. Los encuentras patinando en la superficie del agua, adheridos a las plantas acuáticas, debajo de las rocas y enterrados en la arena. Algunos de ellos viven toda su vida en el agua, mientras que muchos otros, como algunos insectos, viven únicamente en el agua durante sus etapas juveniles.

Los macroinvertebrados acuáticos son animales que no tienen espina dorsal (de allí su nombre de “invertebrados”) y que se pueden observar a simple vista (de allí su nombre “macro”, que significa grande). Congregan una alta diversidad de especies, que van desde insectos (zancudos, libélulas, cucarrones, entre otros), crustáceos (camarones, cangrejos, entre otros), moluscos (caracoles y babosas) y anélidos (gusanos y lombrices), entre muchos otros. Viven en todo tipo de ambientes, desde aguas lénticas o quietas,

como lagos, embalses y ciénagas, hasta aguas lóxicas o que fluyen, como ríos y quebradas; tanto en ecosistemas de alta montaña, como en ecosistemas al nivel del mar.

La presencia o ausencia de algunos tipos de especies de macroinvertebrados puede dar señales acerca del estado de los lugares en los que habitan, debido a que estos organismos tienen respuestas a los cambios en las características del agua (como temperatura, nivel de oxígeno, contaminación, concentración de nutrientes, etc.), a la forma y velocidad en la que esta fluye (caudal) y a la forma y composición del fondo o sustrato donde habitan, como lo indica el Protocolo de Monitoreo del Agua.

Los macroinvertebrados se destacan en el monitoreo de los ecosistemas acuáticos, porque son fáciles y económicos de analizar, dado que se requieren equipos

sencillos para muestrearlos y observarlos.

Dentro de los macroinvertebrados, el grupo mejor estudiado en Colombia es el de los insectos. Dentro de estos, los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, como se muestra en la infografía de macroinvertebrados acuáticos, se emplean como bioindicadores de la calidad del agua por su alta sensibilidad y rápida respuesta ante cambios en su ambiente.

La abundancia y número de especies de estos grupos responden a alteraciones ambientales, dadas por factores como la contaminación y los impactos sobre sus hábitats.

Por su tamaño y ciclo de vida relativamente rápido —que puede durar desde algunos días, hasta varios meses, dependiendo de la especie— los macroinvertebrados son organismos bioindicadores de perturbaciones, en escalas temporales de semanas o meses.

Peces

Solo en ecosistemas de agua dulce colombianos se han reportado más de 1610 especies, ¡de las cuales 400 no se encuentran en ningún otro país!



Los peces son uno de los grupos más diversos de vertebrados, es decir, animales con espina dorsal, como mamíferos, aves, anfibios y reptiles.

Al igual que otros grupos vistos en esta cartilla, los peces tienen una gran diversidad de especies adaptadas a la inmensa variedad de hábitats con la que cuenta nuestro país. Es por ese motivo que los peces que viven en las quebradas de alta montaña, de sustrato rocoso con aguas frías y claras, son muy diferentes a los peces que habitan las ciénagas de aguas cálidas, con sustratos arenosos y lodosos. Para cada ambiente los peces han desarrollado hábitos de vida específicos respecto a su alimentación, reproducción, movimiento y aprovechamiento del espacio donde viven.

El papel de los peces en los ecosistemas acuáticos es también ampliamente diverso, lo cual permite que se constituyan como organismos clave dentro de los ecosistemas, dado que, dependiendo de la especie, pueden obtener alimento de microalgas, zooplancton, macroinvertebrados, semillas y frutos de vegetación ribereña o, incluso, a través de alimentarse de otros peces.

Como producto de su papel ecológico y las condiciones adecuadas en los ecosistemas acuáticos, los peces constituyen un grupo de gran importancia para el bienestar humano. Son la base económica y fuente de proteína animal para familias de pescadores y comunidades locales, por lo que su conservación es primordial, tanto en términos ecológicos para los ambientes donde viven, como para el mantenimiento de nuestro bienestar.

Respecto a la bioindicación, se deben considerar dos aspectos claves para los peces:

1. Su capacidad de moverse rápidamente en amplias distancias.
2. La duración de sus ciclos de vida, los cuáles, de manera general, son más largos que los de microalgas, zooplancton o macroinvertebrados.

Lo anterior implica que el trabajo con los peces nos brinda información a escalas temporales de meses, a años, y escalas espaciales de kilómetros.

Existe mucha información que podemos obtener de los peces; desde la forma en la que sus órganos internos reaccionan ante cambios en su ambiente, hasta variaciones en su forma de desplazarse o moverse en el agua (migrar). Por todas estas razones, para poder tomar decisiones acertadas sobre el manejo de nuestro territorio y sus ecosistemas acuáticos, veamos a continuación la información que podemos obtener de estos organismos y que ha sido propuesta por autores como Agudelo & otros (2011) y Maldonado-Ocampo & otros (2005).

Atributos de los peces que nos indican el estado de los ecosistemas acuáticos

Los peces nos brindan mucha información del ambiente donde viven. Observa detenidamente el paisaje acuático de esta página, donde se resume parte de los datos que podemos obtener cuando los estudiamos:



Sardina

Mojarra amarilla



Bocachico

Caloche, Mayupa



7

Su tamaño y peso

El tamaño de los peces nos brinda información de la edad que tienen, la forma en la que crecen y si se están llevando a cabo buenas o malas prácticas pesqueras. El peso nos señala la condición del pez, si hay suficiente oferta de alimento en el medio en el que viven o si están en proceso reproductivo.

Cucha



Nicuro

Raya



Tilapia

1

Los alimentos de los peces

Si se analiza el contenido del estómago de los peces podemos saber qué comen y conocer cómo se encuentra el ambiente respecto a la oferta de alimento.

2

La forma en la que se reproducen

Cuando se analiza el estado de los ovarios y testículos de los peces, se puede saber cuál es la fase de madurez gonadal en la que se encuentran y cuál es su mecanismo reproductivo. Esto nos puede dar señales respecto a la calidad de los hábitats y las conexiones que deben existir entre los cuerpos de agua.

3

Los químicos que están en sus tejidos

Con muestras de tejidos como el músculo, las aletas, los huesos y los órganos internos se puede saber si los peces han estado expuestos a contaminantes como mercurio, plomo u otros metales pesados, potencialmente peligrosos para la salud de todos los seres vivos, incluyéndonos a nosotros mismos.

4

Qué tan abundantes son

Cuando se sabe la abundancia o número de peces que están en un ambiente y se realiza un seguimiento para evaluar los cambios a lo largo del tiempo, es posible saber si la población, se mantiene estable, crece o se disminuye.

Para cada caso y cada tipo de pez, los cambios en la abundancia pueden dar indicaciones clave acerca de las variaciones que existen en el ambiente donde viven.

5

Qué tanto se mueven

Varias especies de peces son migradoras. Se desplazan cientos de kilómetros a lo largo de los ríos y sus afluentes, como parte de su ciclo de vida. La evaluación de su movimiento nos permite saber los impactos que tiene sobre el ecosistema acciones que interrumpen la conexión de los cuerpos de agua, como el taponamiento de caños o la construcción de represas.

6

Los peces que vienen de otros lugares (especies introducidas)

Las especies introducidas son aquellas que no son nativas del lugar donde viven. Fueron trasladadas accidental o premeditadamente por acción humana. En ocasiones, estas especies se reproducen sin control y llegan a ser invasoras, causando efectos negativos en los ecosistemas, donde pueden llegar a alterar la red trófica. Su presencia o ausencia nos da señales de la salud de los ecosistemas.

Profundidad

De acuerdo al lugar donde prefieren estar los peces (en la superficie, hacia el medio o en el fondo), cada especie puede dar señales específicas acerca del funcionamiento del ecosistema.

Macrófitas

Si has visitado una ciénaga, laguna o embalse, seguramente has encontrado plantas que flotan en el agua o se hallan sumergidas y ancladas en el sustrato.

Algunas de ellas pueden ser tan abundantes en ciertas épocas del año que forman tapones que impiden navegar entre un lugar y otro.

Estas plantas acuáticas, o macrófitas como también se les conoce, son plantas capaces de pasar su ciclo de vida, o parte de él, en ambientes permanente o periódicamente inundados. Esto lo logran porque tienen estructuras en sus hojas, tallos y raíces, que les permite adaptarse a los ambientes

inundados, e, incluso, algunas cambian de forma cuando su ambiente se inunda y cuando se seca de manera alternante (ecofeno).

Las macrófitas son organismos muy importantes en los ecosistemas acuáticos, dado que favorecen el ciclo de nutrientes, producen alimento y refugio para otros organismos y tienen la capacidad de acumular en sus tejidos sustancias tóxicas presentes en el ambiente.

La presencia de estas plantas depende de muchos factores, como las condiciones del terreno (si es plano o montañoso), la intensidad de la luz, el contenido de nutrientes

(del agua y del suelo) y la velocidad con la que se mueve el agua, entre otros.

De manera general, las macrófitas disminuyen en la medida en la que se incremente la altitud y en sectores con alta velocidad de corriente. Por estos motivos, este tipo de plantas crece principalmente en ambientes lénticos (aguas con poco movimiento) de las zonas bajas de las cuencas. De manera adicional, en los ambientes de agua clara, donde la luz puede penetrar fácilmente el agua, se halla una mayor diversidad de especies de macrófitas, dado que estos ambientes permiten que dichos organismos tengan distintas formas de crecimiento, incluyendo las especies que crecen completamente sumergidas.

Los ecofenos

Cuando una planta adopta diferentes tipos de crecimiento, se denomina Ecofeno. Para el caso de las macrófitas, algunas especies adquieren una forma cuando crecen en la tierra y otra cuando crecen en el agua.

Ejemplo de **ecofeno**:
Ludwigia helminthorrhiza

Fuente de fotografías: D.V. Cortés 2014

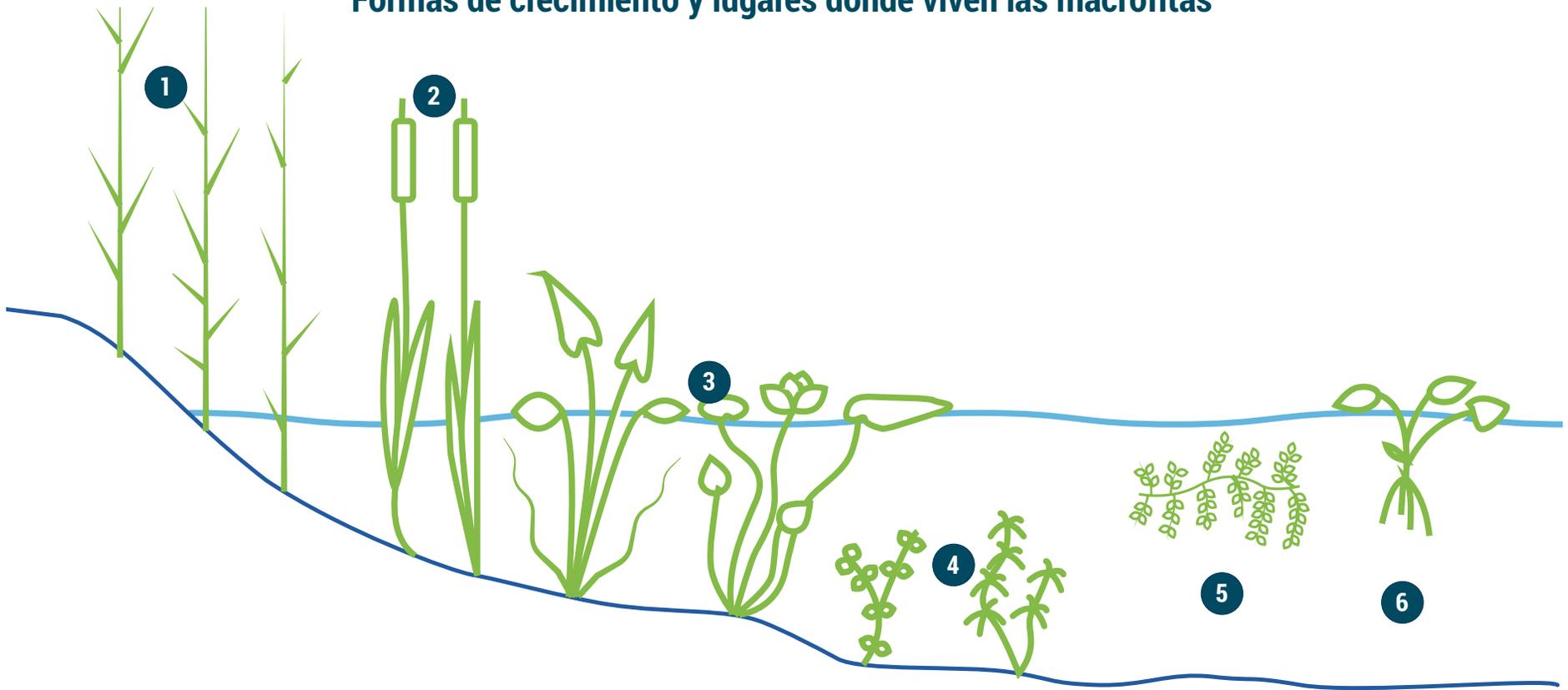


Aspecto en su fase terrestre - enraizada en tierra húmeda.



Aspecto en su fase acuática

Formas de crecimiento y lugares donde viven las macrófitas



1 Enraizadas en zona húmeda: en las zonas de transición entre agua y tierra, donde hay inundaciones y sequías que se alternan; asimismo, crecen plantas tolerantes a inundaciones periódicas.

2 Enraizadas en el sedimento con hojas emergidas: crecen en sectores cercanos a la orilla del cuerpo de agua, con las raíces en el suelo y hojas que superan el nivel del agua.

3 Enraizadas en el sedimento con hojas flotantes sobre la superficie: crecen en sectores cercanos a la orilla del cuerpo de agua y zonas con alta corriente de agua. Con las raíces en el suelo y hojas que flotan sobre la superficie del agua.

4 Enraizadas en el sedimento, con todas o casi todas las hojas sumergidas: crecen con las raíces en el suelo en agua con baja turbidez y alta transparencia.

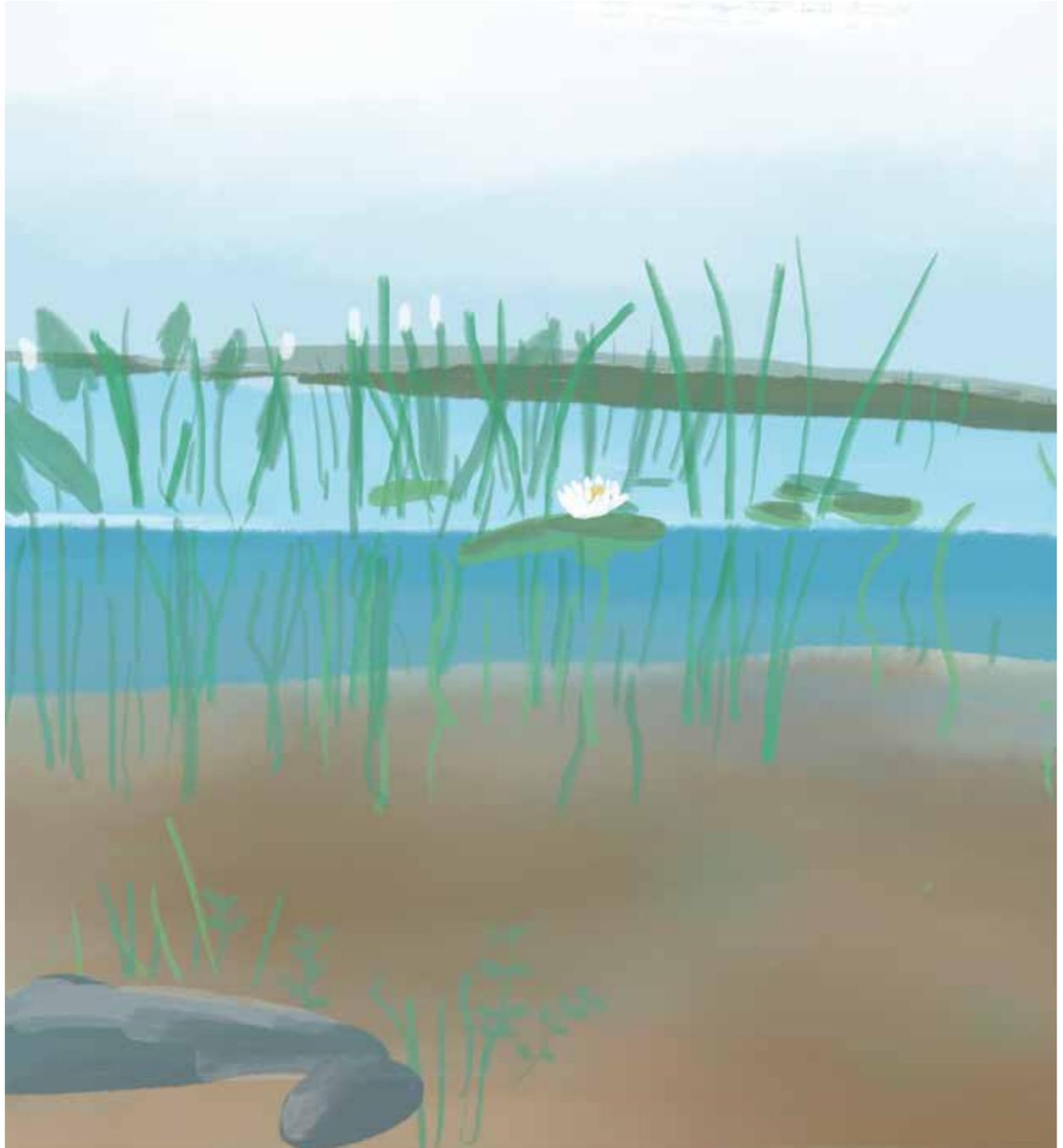
5 Errantes sumergidas: pueden crecer sin estar adheridas al suelo. Sus hojas están completamente sumergidas. Asociadas a zonas con agua transparente.

6 Errantes flotantes: pueden crecer sin estar adheridas al suelo. Sus hojas flotan o sobresalen de la superficie del agua.

Fuente: Fragoso, Finkler y Da Motta (2009).

Respecto a la bioindicación, las macrófitas son empleadas por su rápida respuesta a la variación de nutrientes y sólidos suspendidos en el agua, por lo que pueden dar señales de cambios en los ecosistemas acuáticos en una escala temporal de semanas a meses. Adicionalmente, son organismos que se reconocen fácilmente y pueden analizarse de una forma sencilla en campo, a excepción de las especies que presentan ecofenos, las cuáles son un poco más difíciles de identificar, debido a las distintas formas que adquieren cuando pasan de un ambiente terrestre a uno acuático.

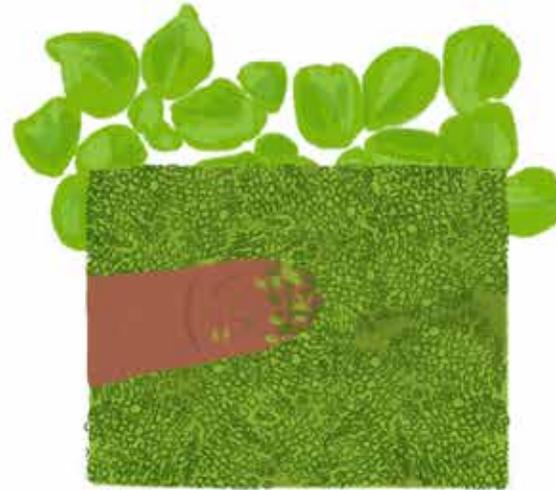
Por su rápido crecimiento en condiciones con alta concentración de nutrientes, algunas especies de macrófitas pueden ser potencialmente invasoras en los ecosistemas acuáticos. Pueden llegar a cubrir extensas áreas en los cuerpos de agua, lo que impide que la luz solar penetre, limitando el proceso de fotosíntesis de otros organismos y generando exceso de materia en descomposición, lo cual puede llegar a limitar la concentración de oxígeno, hasta formar ambientes anóxicos (zonas que no tienen oxígeno, lo que afecta a otros organismos).



Algunas macrófitas reconocidas como potencialmente invasoras



Salvinia spp



Lenteja de agua

Lemna, Spirodela, Wolffia, Wolffiella



Elodea

Egeria densa



Buchón de agua, lirio de agua, jacinto de agua

Eichornia crassipes



Lechuga de agua o buchona

Pistia stratiotes

Vegetación ribereña

Cerca de la ribera de ríos, quebradas, lagos, embalses, ciénagas y planicies de inundación, entre otros, existen plantas como hierbas, arbustos y árboles que pueden tolerar las crecidas, inundaciones y desbordes de los cuerpos de agua. A esta comunidad de plantas se le denomina vegetación ribereña.

Este tipo de organismos es fundamental para distintos procesos que suceden en los ecosistemas terrestres y acuáticos, como puedes observar a continuación:

Recuerda que:



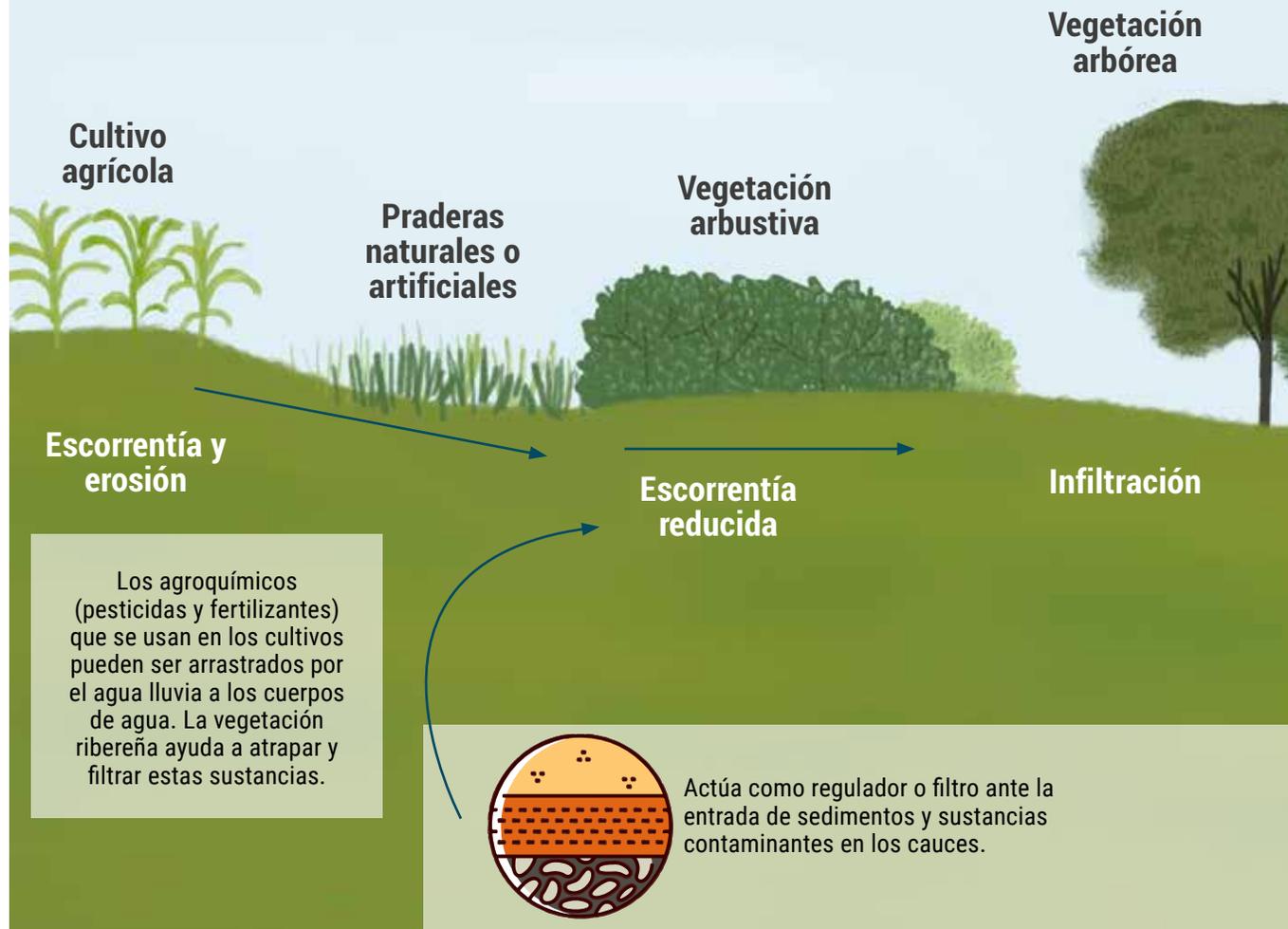
La **ribera** es el espacio o franja de transición que existe entre el medio acuático y el medio terrestre.



Provee hábitats, refugio y alimento para otros organismos, como aves, reptiles, anfibios y mamíferos.



Capta carbono de la atmósfera y aporta a la regulación del clima.

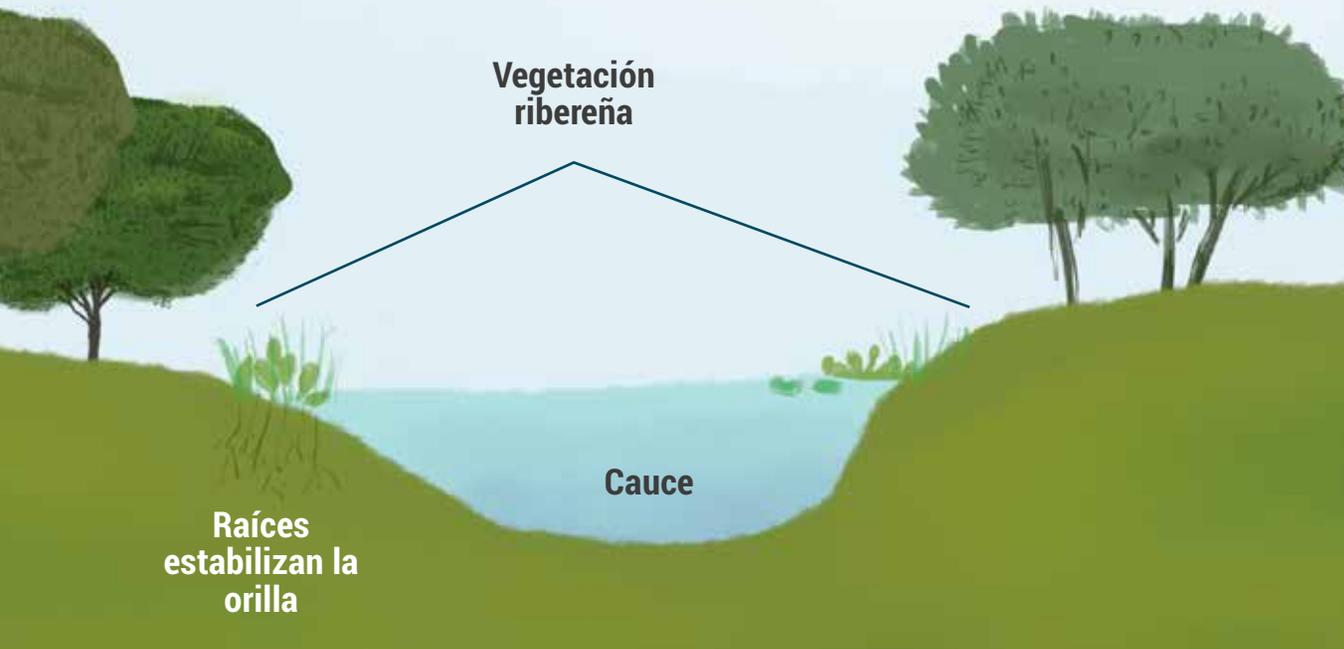




Regula variables microclimáticas de los cuerpos de agua y sus alrededores, como radiación solar y humedad atmosférica.



Aporta semillas, frutos y diversos tipos de material vegetal a los cuerpos de agua que sirven como fuente de alimento y refugio para organismos acuáticos; por ejemplo, peces.



Por las funciones que presta la vegetación ribereña, su conservación es de gran importancia para el mantenimiento de la salud de los ecosistemas acuáticos, por lo que la evaluación de características —estructura (la forma en la que está organizada la vegetación) y composición (tipo y abundancia de especies)— puede ser empleada como indicadora del estado de los ecosistemas. Para ello, es importante reconocer los tipos de vegetación o biotipos que se pueden encontrar en estas franjas ribereñas.



Protege el suelo, dado que regula la erosión causada por el flujo del agua y ayuda a estabilizar las orillas de los cuerpos de agua.



Puede ser bioindicador, dado que es sensible ante cambios y disturbios en una escala temporal desde algunos meses, hasta décadas.

Fuente: Naiman y Decamps (1997); Dixon, Douglas, Dowe y Burrows (2006).

Ejemplos de biotipos de vegetación ribereña



Lianas y bejucos

Son plantas de tallos largos y delgados, que trepan sobre los árboles, hasta las zonas más altas.



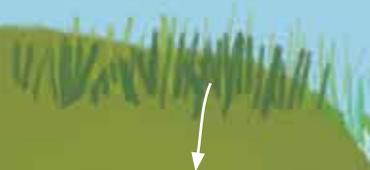
Epífitas

Son plantas que crecen sobre otras plantas usándolas como soporte, como las bromelias y las orquídeas.



Briófitos

Son plantas como los musgos, que no tienen vasos (estructuras parecidas a las venas) y viven en ambientes húmedos sobre rocas, suelo y otras plantas.



Plantas herbáceas

Son plantas pequeñas, sin tronco leñoso, como pastos y juncos.

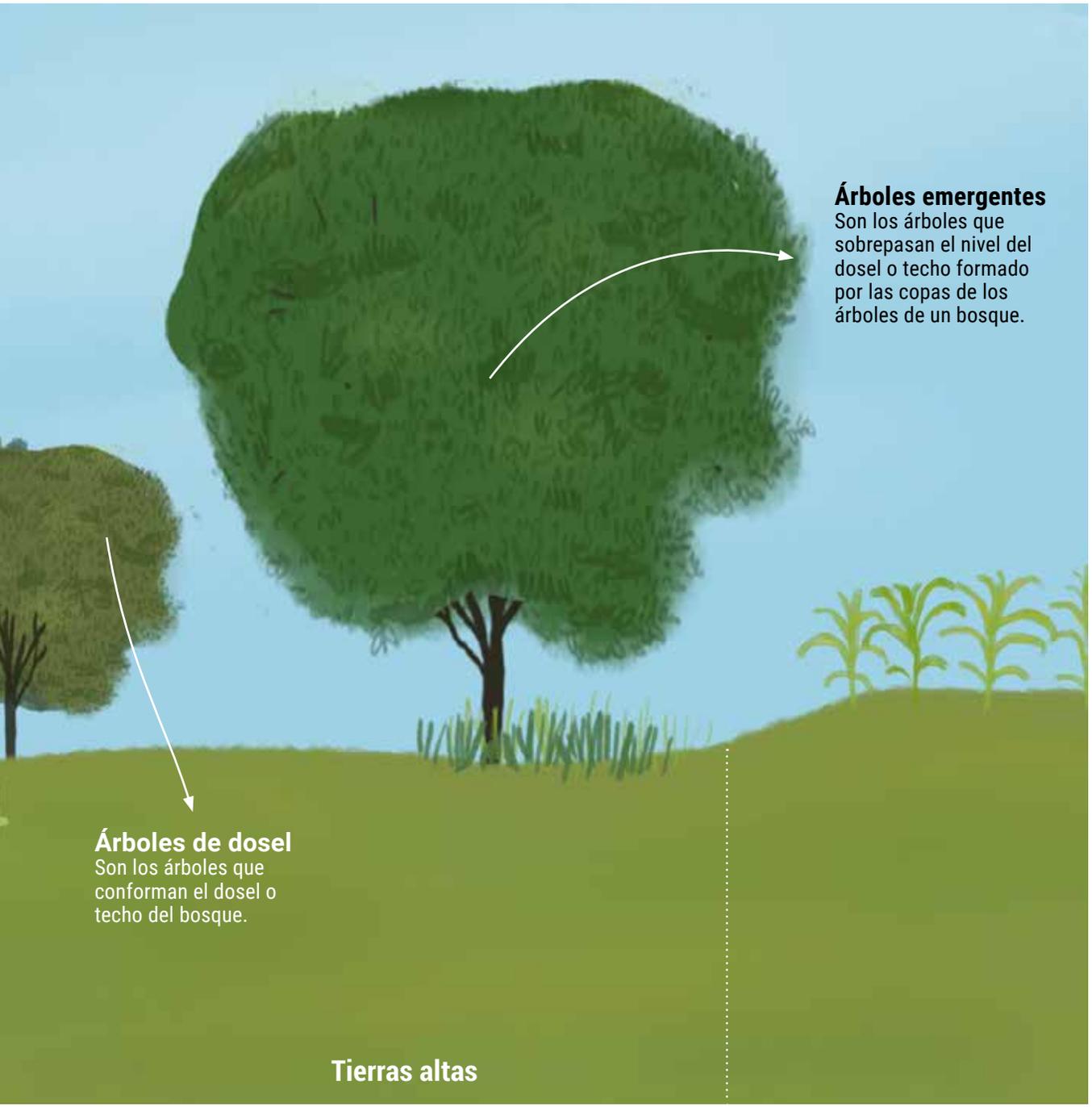
Río



Arbustos

Son plantas cuyos troncos se ramifican a poca altura.

Franja ribereña



Árboles emergentes

Son los árboles que sobrepasan el nivel del dosel o techo formado por las copas de los árboles de un bosque.

Árboles de dosel

Son los árboles que conforman el dosel o techo del bosque.

Tierras altas

Para cada ecosistema o lugar geográfico específico las plantas presentan adaptaciones naturales de acuerdo con las diferentes condiciones ambientales, como las pendientes de las laderas, la distancia respecto al cauce, las dimensiones del cuerpo de agua y sus áreas de inundación, la humedad de los suelos, el tipo de suelo, la duración y periodicidad de fenómenos climáticos, como las sequías e inundaciones, entre muchas otras. Estas condiciones determinan la composición y estructura de la vegetación ribereña y, por lo tanto, debe ser tenida en cuenta para el análisis de sus respuestas frente a cambios e impactos de la zona donde se desarrolla.

Fuente: Granados-Sánchez, Hernández-García y López-Ríos (2006).

Ahora que conoces más sobre los bioindicadores, seguro entenderás mejor el lenguaje del agua.

Envidéate y aprende



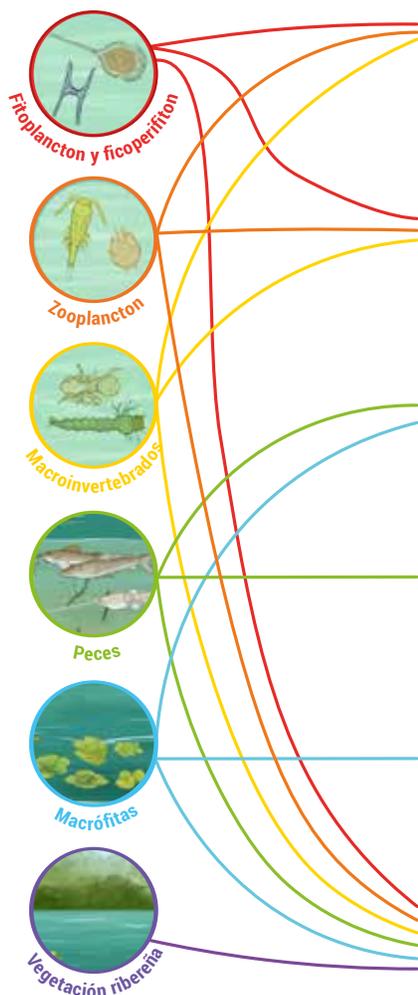
Escanea este código QR con un teléfono, para ver el video

Para analizar nuestro viaje por el mundo de los bioindicadores, veamos algunos ejemplos de cómo podemos usarlos para conocer más sobre nuestros ecosistemas acuáticos y tomar decisiones para su manejo.

Acá termina esta cartilla, pero el recorrido y el uso que le vayas a dar a los bioindicadores para entender tu territorio apenas comienza. Te invito a ti y a tu comunidad para que usen su poder de observación e identifiquen los bioindicadores que pueden empezar a usar para comprender mejor el mundo acuático que los rodea. Hasta pronto, ¡nos vemos en el río!



¿Cuáles tipos de organismos podemos usar como bioindicadores?



¿Para qué nos sirven los bioindicadores?

Verificar cambios recientes en la calidad del agua para el uso en el hogar, los cultivos y el consumo de nuestros animales.

Evaluar en una situación de emergencia la calidad del agua después de un derrame, un vertimiento o cualquier evento de contaminación.

Confirmar la presencia o no de metales pesados en el agua que son muy perjudiciales para nuestra salud.

Conocer el estado de los recursos pesqueros.

Alertar sobre las cantidades de nutrientes como nitrógeno y fósforo que se encuentran en el agua.

Reconocer los impactos ocasionados por las obras y proyectos que alteran los ecosistemas acuáticos e impactan los servicios que prestan.

¿Cuáles decisiones podremos tomar?

Decidir si es seguro usar el agua y si se requiere hacer tratamientos antes de usarla.

Identificar si algunos problemas de salud pública tienen relación con el estado de los ecosistemas acuáticos y con ello tomar medidas para mitigar los riesgos.

Planificar y gestionar mejores prácticas para el manejo del recurso pesquero.

Saber si el uso de fertilizantes en los cultivos está afectando el agua y con ello tomar decisiones para darle un mejor manejo.

Contar con información que permita el seguimiento a las compensaciones y las acciones de mitigación de impactos que se deben realizar cuando una obra o un proyecto genera afectaciones al ecosistema.

Referencias

- Agudelo, E., Ajiaco, R., Álvarez, L., Barreto, C., Borda, C., Bustamante, C., . . . Zapata, L. (2011). *Protocolo de captura de información pesquera, biológica y socio-económica en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Dirección de Pesca y Acuicultura - Subgerencia de Pesca y Acuicultura Incoder- Conservación Internacional.
- Begon, M., Townsend, C., & Harper, J. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems (4ta ed.)*. Malden, Massachusetts: Blackwell Publishing Ltd.
- Bellinger, E., & Sigeo, D. (2010). *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell.
- Contreras-Almazo, I., Cantillo-González, O., Coronel-Ortiz, I., González-Rentería, M., & Pacheco-Peñaranda, E. (2019). Aspectos biológicos y reproductivos en hembras *Prochilodus magdalenae* (Steindachner, 1879) Ciénagas del Departamento del Cesar, Colombia. *AquaTIC*, 54, 1-14.
- Dixon, I., Douglas, M., Dowe, J., & Burrows, D. (2006). Tropical rapid appraisal of ribereñan condition. Version 1 (for use in tropical savannas). *River and ribereñan land management technical guideline*, 7, 36 p.
- Dunk, B., Rodrigues, L., & Bicudo, D. (2015). Functional diversity and functional traits of periphytic algae during a short-term successional process in a Neotropical floodplain lake. *Braz. J. Biol*, 75(3): , 587-597.
- Fex-Wolf, D., López-Casas, S., & Jiménez-Segura, L. (2019). Efectos de la generación de energía hidroeléctrica en la reproducción de *Prochilodus magdalenae* (Prochilodontidae): evidencia de la respuesta endocrina. *Revista MVZ Córdoba*, 7180-7187.
- Fragoso, C., Finkler, T., & da Motta, D. (2009). *Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos*. Sao Paulo: Câmara Brasileira do Livro.
- García, J., Sarmiento, L., Rodríguez, M., & Porras, L. (2014). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. *Revisión corta. UG Ciencia*, 22, 47 – 62.
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M., & López-Ríos, G. (2006). Ecología de las Zonas Ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1), 55-69.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramírez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Rev. biol. trop*, 58(4), 3-37.
- Hoagland, K., Roemer, S., & Rosowski, J. (1982). Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). *Amer. J. Bot.*, 69(2), 188-213.
- Hudon, C., & Legendre, P. (1987). The ecological implications of growth forms in epibenthic diatoms. *J. Phycol*, 23, 434-441.
- Kormondy, E. (1996). *Concepts of ecology (4th edición)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kruk, C., Huszar, V., Peeters, E., Bonilla, S., Costa, L., Luring, M., . . . Scheffer, M. (2010). A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, 55(3), 614-627.
- Lampert, W., & Sommer, U. (2007). *Lymnoecology. The ecology of lakes and streams*. (2da ed). Oxford: Oxford Univ. Press.
- Larned, S. (2010). A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. *J. N. Am. Benthol. Soc*, 39(1), 3-22.
- Letáková, M., Fránková, M., & Poulicková, A. (2018). Ecology and applications of freshwater epiphytic diatoms – review. *Cryptogamie Algologie*, 39, (1): 3-22.
- Levine, S., & Paine, R. (1974). Disturbance, patch formation and community structure. *Proceedings of the National Academy of Science*, 71, 2744-2747.
- Madriñán, S., Rial, A., Bedoya, A., & Fernández-Lucero, M. (2017). *Plantas acuáticas de la Orinoquía colombiana*. Bogotá: Universidad de los Andes. Ediciones Uniandes.
- Maldonado-Ocampo, J., Ortega-Lara, A., Usma, J., Galvis, G., Villa-Navarro, F., Vásquez, L., . . . Ardila, C. (2005). *Peces de los Andes de Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos «Alexander von Humboldt».
- Morais, S., Palau, A., & Silva, P. (2009). Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidrelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde Goiás. *Sociedade & Natureza, Uberlândia*. 392-412.
- Moura, A. (1997). Moura A. 1997. Estrutura e produção primária da comunidade perifítica durante o processo de colonização em sustrato artificial no lago das Ninfeias, Sao Paulo, SP. Análise comparativa entre períodos chuvoso e seco. *Tesis Doctorado. Universidad Estadual Paulista*.
- Moyle, P., & Cech, J. (2004). *Fishes an introduction to ichthyology*.
- Naiman, R., & Decamps, H. (1997). The ecology in interfaces: ribereñan zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621-658.
- Price, P., & Lovett, S. (2002). *Maintaining riparian land*, Fact Sheet 1. Canberra, Australia: Land & Water. https://www.water.vic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0032/409739/facts01.pdf
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda Edición. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Smith, T., & Smith, R. (2007). *Ecología*. 6° Edición. Madrid: Pearson Educación. S. A.
- Stevenson, R., Bothwell, M., & Lowe, R. (1996). *Algal ecology freshwater benthic ecosystem*. San Diego: Academic Press.
- Usma, J., Villa-Navarro, F., Lasso, C., Castro, F., Zúñiga-Upegui, P., Cipamocha, C., . . . Suárez, J. (2013). Peces dulceacuícolas migratorios de Colombia. En L. Zapata, & S. Usma, *Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia*. Volumen 2 Peces (págs. 215-441). 2013: Minambiente / WWF-Colombia.
- Vernberg, F., & Vernberg, W. (1981). *Functional adaptations of marine organisms*. New York: Academic Press.

Magdalena Cauca

