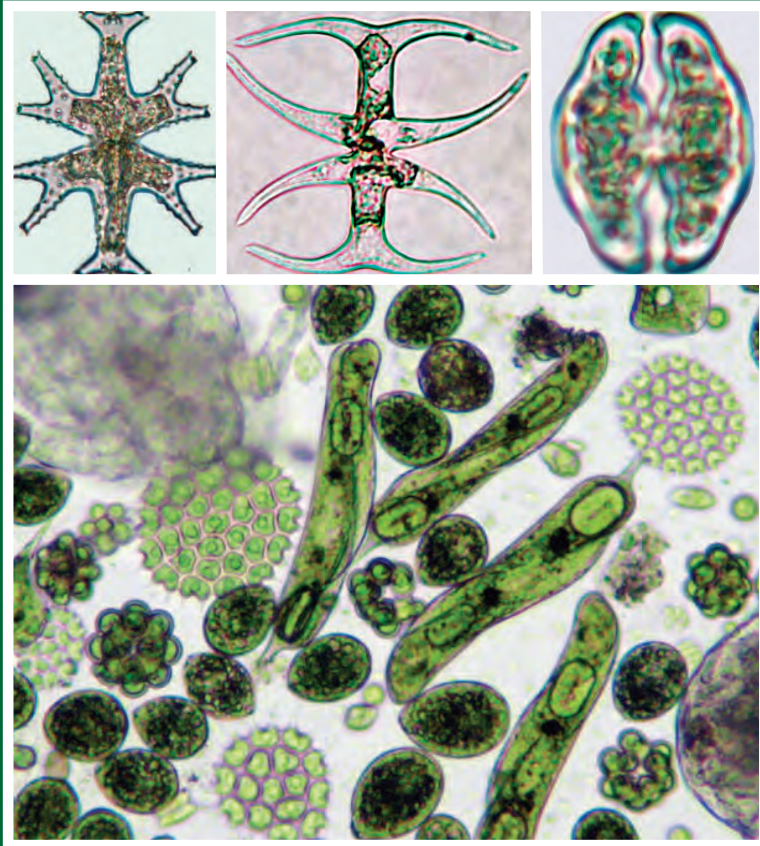


# Bolivia Ecológica

EDICIÓN TRIMESTRAL REVISTA Nº 81

AÑO 2017



## ALGAS BIOINDICADORAS, NOCIVAS Y TÓXICAS

- [Introducción](#)
- [¿Qué son las algas?](#)
- [Clasificación ecológica de las comunidades algales](#)
- [Métodos de estudio](#)
- [Las algas y su importancia](#)
- [¿Qué son las floraciones algales?](#)
- [Grupos de algas con representantes nocivos y tóxicos](#)
- [Algas nocivas y tóxicas en tres embalses de Bolivia](#)
- [Recomendaciones](#)
- [Glosario](#)
- [Bibliografía](#)

FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

## EDICIONES

### CENTRO ECOPELAGÓGICO SIMÓN I. PATIÑO

#### DIRECTOR

José Baudoin H.

#### EDITOR CIENTÍFICO

Damián I. Rumiz

#### AUTORES DE LA SÍNTESIS

Mirtha Cadima Fuentes

Erika Fernández Terrazas

Carrera y Dpto. de Biología Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón

#### FOTOS DE MICROSCOPIA:

Mirtha Cadima Fuentes

#### PORTADA

*Micrasterias ringens*, *Micrasterias arcuata* y *Cosmarium pseudotaxichondrum*, algas indicadoras de aguas no mineralizadas y oligotróficas, y variedad de clorofíceas y euglenofíceas en una laguna eutrófica.

#### CONTRATAPA

*Arthrospira*, *Microcystis*, *Anabaenopsis* y detalle de *Arthrospira*, cianofíceas tóxicas registradas en la laguna Alalay

#### DISEÑO GRÁFICO

Sandra P. Heredia A.

## INDICE

### ALGAS BIOINDICADORAS, NOCIVAS Y TÓXICAS

• <u>Introducción</u>	1
– <u>¿Qué son las algas?</u>	1
– <u>Estudio de las algas en Bolivia</u>	2
– <u>Taxonomía de las algas</u>	2
– <u>Clasificación ecológica de las comunidades algales</u>	2
• <u>Métodos de estudio</u>	6
– <u>Colecta y preservación de muestras</u>	6
– <u>Análisis cualitativo: identificación de especímenes</u>	6
– <u>Análisis cuantitativo: estimación de abundancia</u>	7
• <u>Las algas y su importancia</u>	7
– <u>Bienes y servicios provistos por las algas</u>	7
– <u>Algas como bioindicadoras de la calidad del agua</u>	9
• <u>¿Qué son las floraciones algales?</u>	15
– <u>Clasificación de las floraciones algales</u>	15
– <u>Causas de la floración algal</u>	17
– <u>Algunos casos mundiales de floraciones algales</u>	17
• <u>Grupos de algas con representantes nocivos y tóxicos</u>	18
– <u>Cianobacterias, cianofíceas o algas verdeazules</u>	18
– <u>Dinoflagelados, dinofíceas o Dinophyta</u>	21
– <u>Diatomeas o Bacillariophyta</u>	22
• <u>Algas nocivas y tóxicas en tres embalses de Bolivia</u>	24
– <u>Anabaenopsis circularis (Cyanobacteria)</u>	27
– <u>Arthrospira fusiformis (Cyanophyceae)</u>	28
– <u>Ceratium furcoides y Ceratium hirundinella (Dinophyceae).</u>	28
– <u>Microcystis aeruginosa (Oscillatoriophyceae, Cyanophyceae)</u>	29
• <u>Recomendaciones</u>	30
• <u>Glosario</u>	31
• <u>Bibliografía</u>	34

## INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento vital de todo ser vivo, terrestre o acuático, que la necesita en cantidad y calidad adecuadas. En los ecosistemas acuáticos, la dinámica y características fisicoquímicas del agua dependen de factores como el bioclima, la geología, la geomorfología y la cuenca en la que se encuentran. Todos estos factores determinan la calidad del agua y su biota acuática (microorganismos, plantas y animales), donde las algas son los elementos de la comunidad más sensibles a los cambios del medio acuático y su entorno.

A los factores naturales mencionados se suman los de origen antrópico como la deforestación, agricultura, ganadería y crecimiento de las manchas urbanas que incrementan la sedimentación, enriquecimiento de nutrientes y contaminación, causando el “envejecimiento” acelerado de los ecosistemas acuáticos (o eutrofización, como veremos más adelante). Esta alteración influye especialmente en las algas, que responden con cambios en la abundancia y la composición por grupos de especies en la comunidad vegetal.

Así hay grupos de algas como las desmidiáceas (Conjugatophyceae) que son sensibles al exceso de nutrientes y desaparecen con la descarga de aguas residuales. Contrariamente, otras algas como las cianobacterias (Cyanophyceae) son resistentes a la contaminación y a veces se reproducen extraordinariamente ante el aumento de nutrientes, de temperatura u otros cambios. Estos even-

tos llamados ‘floraciones’ alteran la calidad del agua (dan malos sabores y olores) y pueden producir intoxicaciones mortales en los animales y la gente.

Si bien este no es un problema ambiental nuevo, ha cobrado gran importancia recientemente hasta convocar la participación de instituciones como la Organización Mundial de la Salud en la investigación y difusión sobre estos eventos y su toxicidad.

En Bolivia se han identificado algas nocivas, tóxicas y otras con valor como bioindicadoras. En este trabajo se presenta una síntesis de los métodos de estudio y del conocimiento disponible sobre los distintos grupos de algas de aguas continentales del país y se destacan ejemplos de bioindicadores que podrían usarse en monitoreos de calidad de agua.

### ¿Qué son las algas?

Las algas son organismos con clorofila y de diversa morfología que incluyen desde individuos unicelulares a formas pluricelulares (colonias, filamentos, talos pseudoparenquimáticos). Se reproducen asexualmente (por división celular, fragmentación de filamentos o colonias, esporas, etc.) o sexualmente por fusión de células especializadas (oogamia, gametangiogamia, etc.) o fusión de protoplasmas (conjugación). Casi todas realizan fotosíntesis y algunas especies se asocian con hongos (simbiosis) para formar los líquenes. Varían mucho en tamaño y estructura, se encuentran ampliamente distribuidas en el mar, en

aguas continentales y superficies húmedas. En agua dulce predominan las formas microscópicas (pocas especies son grandes y parecen plantas acuáticas sumergidas), en cambio en el mar también se encuentran macroalgas que miden decenas de metros y forman “bosques sumergidos”.

### Estudio de las algas en Bolivia

Las primeras referencias de estudio sobre algas en Bolivia datan del año 1839, posteriormente se encuentran más datos principalmente en la región alto andina altiplánica, incrementándose los estudios a partir de los años 1980 en todo el territorio nacional. La publicación del libro *Algas de Bolivia* (Cadima *et al.* 2005) hizo accesible una compilación del conocimiento adquirido hasta ese momento, destacando los géneros presentes en las distintas hidroecoregiones y los que son indicadores sensibles a cambios en las condiciones ecológicas. Recientemente, debido a casos de mortalidad de peces como los acontecidos en la laguna Alalay, se han colectado más datos sobre enriquecimiento de nutrientes y floraciones algales causados por actividades humanas. Estos procesos necesitan ser mejor estudiados y difundidos ya que amenazan a los recursos acuáticos y la biodiversidad en general.

### Taxonomía de las algas

La clasificación taxonómica de las algas de aguas continentales comprende unas nueve divisiones (con nombres terminados en ‘phyta’), cada una conteniendo una o varias clases (terminadas en ‘phyceae’), de las cuales para ocho

se presentan ejemplos en esta obra. Estos grupos están diferenciados por características de diagnóstico como: el tipo de clorofila (alfa, beta, etc.) que tienen para realizar la fotosíntesis, la sustancia que acumulan como reserva (almidón, paramilon, lípidos, etc.), la estructura de sus células (con/sin núcleo, pared, ornamentaciones, placas, flagelos, etc.), el nivel de organización (unicelular, colonial, filamentos, tejidos) y sus varios tipos de reproducción sexual y asexual, entre otros. La diversidad e importancia de las algas ya ha sido resumida en el número 41 de esta revista *Bolivia Ecológica* (CEDSIP 2006), y con mucha más información taxonómica y ecológica está disponible el libro *Algas de Aguas Continentales: Taxonomía y Ecología* (Cadima y Fernández 2015). Los principales grupos de algas bioindicadoras presentes en el país y a los que pertenecen los ejemplos discutidos en esta obra se esquematizan en el Cuadro 1. Mas detalles de cada grupo y sus especies bioindicadoras se describen más adelante.

### Clasificación ecológica de las comunidades algales

Las algas viven en mares y en diferentes cuerpos de agua continentales como lagos y lagunas (sin corriente = ambientes lénticos) y en ríos y arroyos (con corriente = lóticos). También se desarrollan sobre suelo estacionalmente anegado como los bofedales andinos y en superficies húmedas de rocas, hielo, otras plantas o hasta sobre animales.

Según su posición en los cuerpos de agua, las especies de algas pueden asignarse a las siguientes comunidades:

Cuadro 1. Principales grupos y géneros de algas bioindicadoras

División	Clase	Géneros	Nivel de organización
Bacillariophyta (Diatomeas o algas pardo doradas)	Bacillariophyceae	<i>Achnanthes, Scoliopleura, Anomoeneis</i>	Unicelular
		<i>Tabellaria, Asterionella</i>	Colonial
	Fragilariophyceae	<i>Fragilaria</i>	Colonial
	Mediophyceae	<i>Pleurosira</i>	Colonial
	Coscinodiscophyceae	<i>Melosira, Cyclotella, Aulacoseira</i>	Filamentosa
Ochromytha (Algas doradas y pardo amarillas)	Synurophyceae	<i>Mallomonas</i>	Unicelular
		<i>Synura</i>	Colonial
	Chrysophyceae	<i>Dinobryon, Uroglena</i>	Colonial
	Eustigmatophyceae	<i>Pseudostaurastrum</i>	Unicelular
	Xanthophyceae	<i>Tetraplektron, Centritractus</i>	Unicelular
Dinophyta (Dinoflagelados)	Dinophyceae	<i>Ceratium, Peridinium</i>	Unicelular
Rhodophyta (Algas rojas)	Florideophyceae	<i>Acanthoceras</i>	Colonial
		<i>Batrachospermum</i>	Filamentosa ramificada

## Cont. Cuadro 1.

División	Clase	Géneros	Nivel de organización
Chlorophyta (Algas verdes)	Chlorophyceae	<i>Chlorella</i>	Unicelular
		<i>Eutetramorus, Sorastrum, Pediastrum</i>	Formas agregadas, cenobios
		<i>Coelastrum, Volvox, Pandorina</i>	Colonial
		<i>Oedogonium, Bulbochaete</i>	Filamentosas simple o ramificada
	Trebouxiophyceae	<i>Nephrocytium, Oocystis</i>	Formas agregadas
Ulvophyceae	<i>Enteromorpha, Cladophora</i>	Tubular, laminar pseudo-parenquimático	
Charophyta (Algas verdes)	Conjugatophyceae (Zygomatophyceae)	<i>Staurastrum, Micrasterias, Euastrum</i>	Unicelulares
		<i>Bambusina, Desmidium,</i>	Filamentosa
Euglenophyta (Euglenoides)	Euglenophyceae	<i>Trachelomonas, Euglena, Lepocinclis</i>	Unicelular flagelada
Cyanobacteria (Algas verde azules)	Cyanophyceae	<i>Cyanothece,</i>	Unicelular
		<i>Gomphosphaeria, Microcystis</i>	Formas Agregadas
		<i>Oscillatoria, Lyngbya, Anabaena, Anabaenopsis, Arthrospira, Nodularia</i>	Filamentosas

- **Fitoplancton:** algas generalmente unicelulares (pero también coloniales, agregados o cenobios y otras), que están suspendidas en la columna de agua regulando su profundidad de flotación para tener suficiente luz y nutrientes.
- **Perifiton:** algas filamentosas, también unicelulares y otras, a veces adheridas por mucílago a rocas, troncos sumergidos, caparazón de caracoles y tortugas y otros sustratos a diferentes profundidades. También se denomina bentos, sobre todo cuando se refiere al fondo del cuerpo de agua.
- **Metafiton (o ticoplancton):** algas perifíticas desprendidas del sustrato que flotan libres con el plancton o entre plantas acuáticas.

Como todas las plantas, para realizar la fotosíntesis las algas requieren de luz solar, dióxido de carbono, agua y nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre y algunas vitaminas). Además de los nutrientes, las condiciones físico químicas del agua (transparencia, temperatura, salinidad, acidez, etc.) pueden ser óptimas o limitantes para el desarrollo de las distintas especies. Por ello, el conocimiento de los rangos de tolerancia de cada especie (rango amplio= 'eurioicas'; rango estrecho= 'estenoicas') sirve para caracterizar su potencial como indicadores. Las eurioicas viven en mayor variedad de hábitats, o sea que no son buenas indicadoras (justamente porque son más generalistas), mientras que las estenoicas pueden ser indicadoras de niveles altos, medios o bajos de algunos factores.

Ejemplos de factores y niveles se mencionan a continuación (y en el cuadro 2), y se aplican luego en las descripciones de especies indicadoras y causantes de floraciones de algas:

- **Temperatura**, hay especies oligotermas (de aguas frías), mesotermas (templadas) y eutermas (tibias-calientes).
- **Nutrientes y tipos tróficos**, los ambientes pueden clasificarse como oligo, meso y eutróficos según tengan baja, moderada o alta concentración de nutrientes y minerales. También pueden ser considerados distróficos cuando son aguas pantanosas, ricas en materia orgánica y ácidos húmicos.
- **Grado de mineralización**, es la concentración de iones en el agua, medida por conductividad eléctrica. Comprende unos siete niveles, desde aguas no mineralizadas (casi destilada) hasta hiperhalinas (con la mayor concentración de sales).

Las comunidades algales cambian con los distintos niveles de estos factores, que a menudo son el resultado directo o indirecto de la acción humana. Procesos naturales como la **eutrofización** de cuerpos de agua están acelerados por el aumento de nutrientes y materia orgánica en efluentes de áreas urbanas y agrícolas, mientras que la **salinización** y aumento de temperatura en un lago puede ser el resultado del desvío de agua de sus afluentes para otros usos.

## MÉTODOS DE ESTUDIO

Los métodos útiles para estudiar las algas en ambientes continentales pueden variar según el tipo de ecosistema evaluado (ríos, lagos, bofedales, etc.), pero la principal elección depende del objetivo del estudio. En los estudios **cualitativos** se pretende identificar las especies que componen las comunidades de algas, mientras que en los **cuantitativos** se estima también la abundancia y/o biomasa de las distintas especies para poder calcular las funciones ecológicas o respuestas numéricas de la comunidad con las condiciones del ambiente. En todos los casos se requiere coleccionar muestras de las algas microscópicas del plancton (o del perifiton/bentos) para su identificación taxonómica en el microscopio y también se debe registrar los parámetros físicoquímicos del ambiente para asociarlos a la comunidad de algas. Los métodos para la toma de muestras y los análisis posteriores se resumen a continuación:

### Colecta y preservación de muestras

Las muestras de fitoplancton para **análisis cualitativos** (identificación de especies) se toman con redes de plancton, de 20 micrones de apertura de malla, realizando arrastres horizontales (y verticales en lagos y represas profundas) para filtrar el agua y concentrar las algas en un pequeño recipiente. Estas muestras para identificación taxonómica se pueden conservar refrigeradas para su pronta observación en vivo, y se preservan con formol al 4 % para evitar la descomposición de las células. Se aconseja guardar las muestras de colecciones científicas en frascos

con doble tapa y glicerina añadida para evitar la evaporación del agua. También se deben guardar placas selectas (portaobjetos para microscopio) fijadas y selladas que pueden ser analizadas y comparadas con otros estudios posteriores. En todos los casos se recomienda guardar las muestras en lugares oscuros y preferentemente fríos.

Para **análisis cuantitativos** (abundancia por especies y otras medidas), la muestra debe provenir de un volumen conocido de agua colectado a una profundidad estandarizada, para lo que se usan equipos como la botella de van Dorn o de Kemmerer que pueden cerrarse remotamente a la profundidad deseada. Luego las muestras se fijan con lugol y se transportan refrigeradas. En el caso de floraciones de cianobacterias se debe tomar la muestra en la superficie con un frasco de polietileno de 5 litros y refrigerarla inmediatamente para poder detectar las toxinas en el laboratorio.

Durante la colecta se deben medir diferentes **parámetros físicoquímicos** del agua (transparencia, temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto,) que serán fundamentales en la interpretación de los resultados. En el laboratorio se deben medir nutrientes (principalmente fósforo total, nitrógeno total) y clorofila para determinar el grado trófico.

### Análisis cualitativo: identificación de especímenes

En el laboratorio se coloca una gota de la muestra viva o fijada en un portaobjeto y se observa en el microscopio óptico. Los especímenes de algas (unicelulares, colonias,

filamentos, etc.) deben ser medidos, fotografiados y conservados en placas selladas como respaldo. Es muy importante contar con bibliografía adecuada y el apoyo de taxónomos expertos para reconocer las características diagnósticas como la forma, la organización, las ornamentaciones de la pared celular, la presencia o ausencia de flagelos, o mucílago, forma y número de cloroplastos, número de pirenoides, etc. El nivel taxonómico de identificación depende de los objetivos del trabajo, en casos de estudios ecológicos, modelos predictivos, de modelización y para acciones de recuperación la determinación debe ser hasta especie; con la correspondiente corroboración de la identidad taxonómica.

En algunos casos es necesario estudiar la ultraestructura de las algas con el microscopio electrónico para aclarar dudas de la morfología y taxonomía, sobre todo en casos de las que producen florecimientos y toxicidad. Últimamente se ha incrementado el uso de técnicas moleculares basadas principalmente en el ADN y aloenzimas para la identificación de especies nocivas y tóxicas. La biología molecular proporciona herramientas para el estudio de las relaciones genéticas de las cepas, poblaciones o niveles taxonómicos mayores.

#### **Análisis cuantitativo: estimación de abundancia**

La cuantificación de células de cada especie por unidad de volumen de agua es la técnica más usada, pero también se pueden hacer determinaciones de biomasa que requieren métodos y materiales más caros. En el laboratorio, las muestras para conteo se dejan sedimentar una noche en

las cámaras de Utermohl y luego se observan en el campo reticulado del microscopio invertido, del cual se eligen celdas al azar para contar las algas unicelulares (o filamentosas) contenidas en cada una. Luego se saca un promedio por celda y se multiplica por el total del retículo para obtener la concentración de células por milímetro cúbico. La proporción de las distintas especies en la comunidad algal, sobre todo en casos de floraciones donde una especie predomina, permite predecir los niveles de toxicidad en base a otras experiencias documentadas.

### **LAS ALGAS Y SU IMPORTANCIA**

Las algas son productores primarios por excelencia y constituyen la base de la pirámide trófica en la mayoría de los ecosistemas acuáticos. De las algas se alimentan invertebrados y peces, de los que se sustentan otros organismos en la cadena alimenticia (Figura 1).

#### **Bienes y servicios provistos por las algas**

En relación a la importancia de las algas como parte componente de los bienes de la biodiversidad, se destaca la estrecha relación que el hombre ha desarrollado usándolas como especies alimenticias, medicinales, en la agropecuaria, piscicultura y varios productos de aplicación industrial (Figura 2).

Entre los servicios ambientales o ecosistémicos se denota su rol como fijadoras de dióxido de carbono y se resalta el hecho de que son productoras del 50 al 85 % del oxígeno disponible en la atmósfera, generado por el proceso foto-

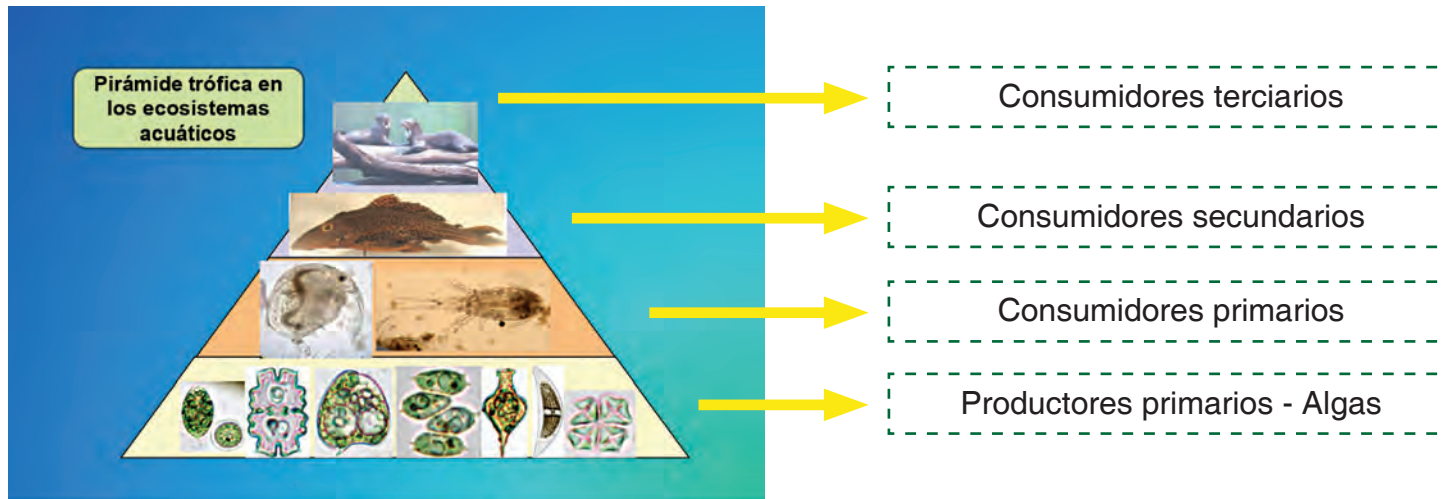


Figura 1. Pirámide trófica en los ecosistemas acuáticos

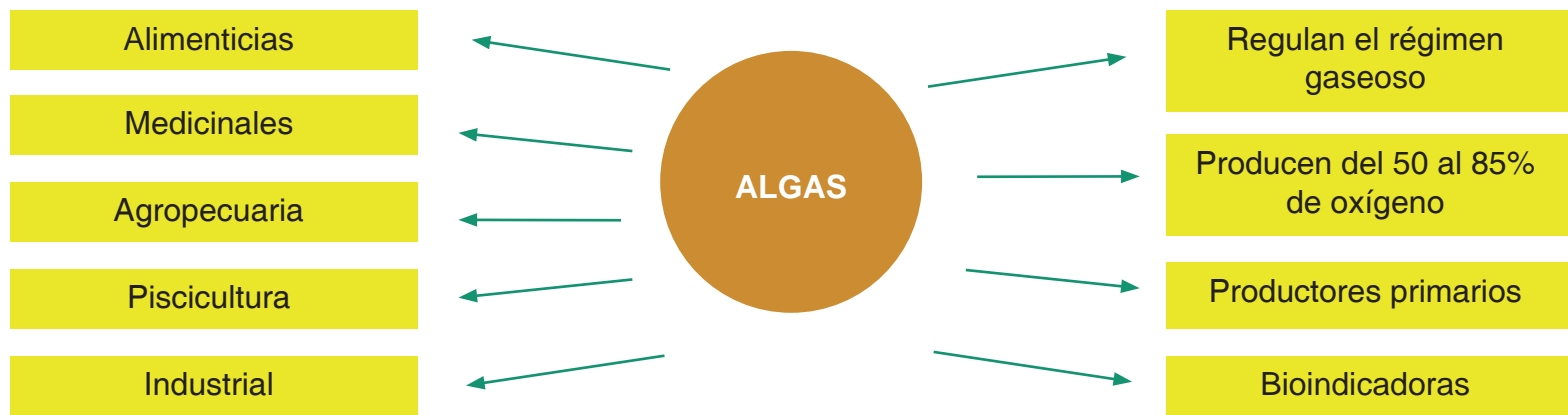


Figura 2. Bienes y servicios ambientales de las algas

síntesis. El 50% de la productividad primaria del planeta proviene del fitoplancton y su rol como bioindicadoras es reconocido a nivel mundial.

### **Algas como bioindicadoras de la calidad del agua**

La bioindicación es una rama de la ecología que utiliza diferentes grupos de organismos que son sensibles a los cambios producidos por el impacto de las actividades humanas en un ecosistema. Un buen bioindicador se debe poder identificar taxonómicamente sin dudas, encontrar fácilmente y medir su abundancia o condición como reflejo del ambiente. Es así que a partir de los 80's toman importancia los estudios con indicadores de la calidad del agua con el surgimiento y desarrollo de técnicas de análisis estadísticos aplicados.

El rol bioindicador de las diferentes especies de algas está dado por sus requerimientos específicos de las condiciones fisicoquímicas de su medio y su sensibilidad a cambios de esas características en el agua. Las algas y sus comunidades muestran peculiaridades en cuanto a su composición y riqueza específica frente a cambios naturales de temperatura, pH, mineralización, salinidad y eutrofización (concentraciones elevadas de nutrientes) o debidos a la influencia antrópica como la contaminación térmica, orgánica, industrial, acidificación, etc.

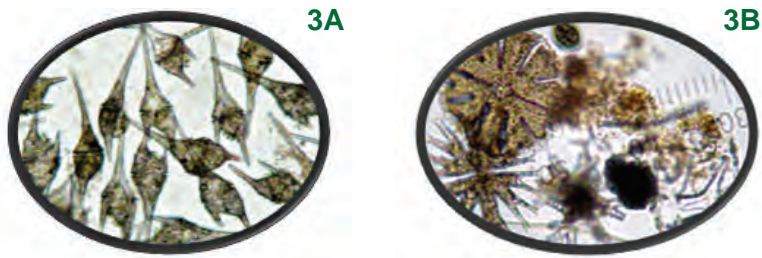
Las algas son denominadas como "bioindicadoras de excelencia", porque reúnen varias características morfológicas, fisiológicas y ecológicas particulares como:

- Constituyen un grupo muy diversificado y se distribuyen

en una gran variedad de ambientes acuáticos a nivel global.

- Su taxonomía es relativamente fácil, actualmente se accede a bibliografía impresa y digital que hacen que su identificación sea posible.
- Presentan gran sensibilidad frente a la alteración de parámetros fisicoquímicos en el agua, por lo que reflejan con gran precisión las condiciones ambientales del medio en que se desarrollan.
- Anteriormente se consideraba que la mayor parte de las algas presentaban distribuciones cosmopolitas. Actualmente se han determinado numerosos casos de endemismos, que presentan una distribución restringida a una localidad.
- El muestreo, preparación y preservación son relativamente simples, permitiendo la obtención de resultados reproducibles y comparables a corto y largo plazo.
- Solamente se requiere de una pequeña cantidad de muestra para tener una noción de la composición.
- Las muestras de algas en placas semipermanentes y permanentes pueden ser analizadas y comparadas posteriormente.

La correcta determinación de la identidad de una especie es vital para su posterior asociación con todas las condiciones que determinan su desarrollo. Entonces con solamente ver una muestra al microscopio, se pueden realizar ciertas inferencias y deducciones. Si se determina la presencia predominante de una especie se puede deducir que el agua está contaminada (Figura 3A). Contrariamente en una muestra en la que se observa una gran riqueza de especies de algas se deduce que es una muestra de agua limpia (Figura 3B).



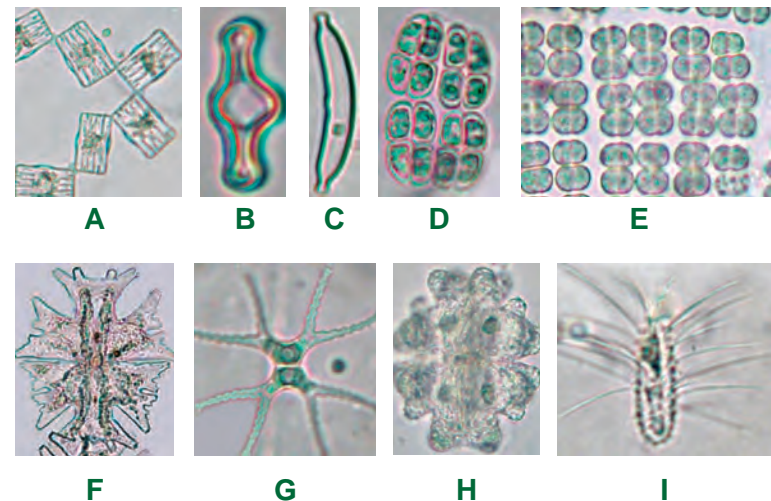
**Figura 3A.** Agua contaminada, **3B.** Agua limpia

Convencionalmente la calidad del agua se ha determinado a través de análisis fisicoquímicos, que son precisos en valor absoluto, pero proporcionan información parcial y puntual. La principal ventaja del seguimiento biológico es que proporciona una visión integrada y extendida en el tiempo sobre la calidad del agua, es decir, refleja las condiciones existentes a través del tiempo, es más económico y el muestreo es relativamente sencillo. Por ello, lo más conveniente es combinar los análisis fisicoquímicos con la utilización de bioindicadores. De hecho, en muchos países se utiliza como medida de la calidad de los ecosistemas acuáticos la estimación del estado ecológico del sistema estudiado mediante el empleo de indicadores biológicos, hidromorfológicos y fisicoquímicos.

Diferentes países como España, Brasil, Chile, Argentina, India, México, Ecuador y otros emplean a las algas como bioindicadoras del estado trófico de las masas de agua, su calidad, grados de saprobiedad, detección de productores de toxinas, evaluación de estrés ambiental, etc.

Los factores ecológicos más importantes que influyen en la estructura de la comunidad como la abundancia y la composición son la temperatura, el pH, el grado de mineralización y los nutrientes (Cuadro 2).

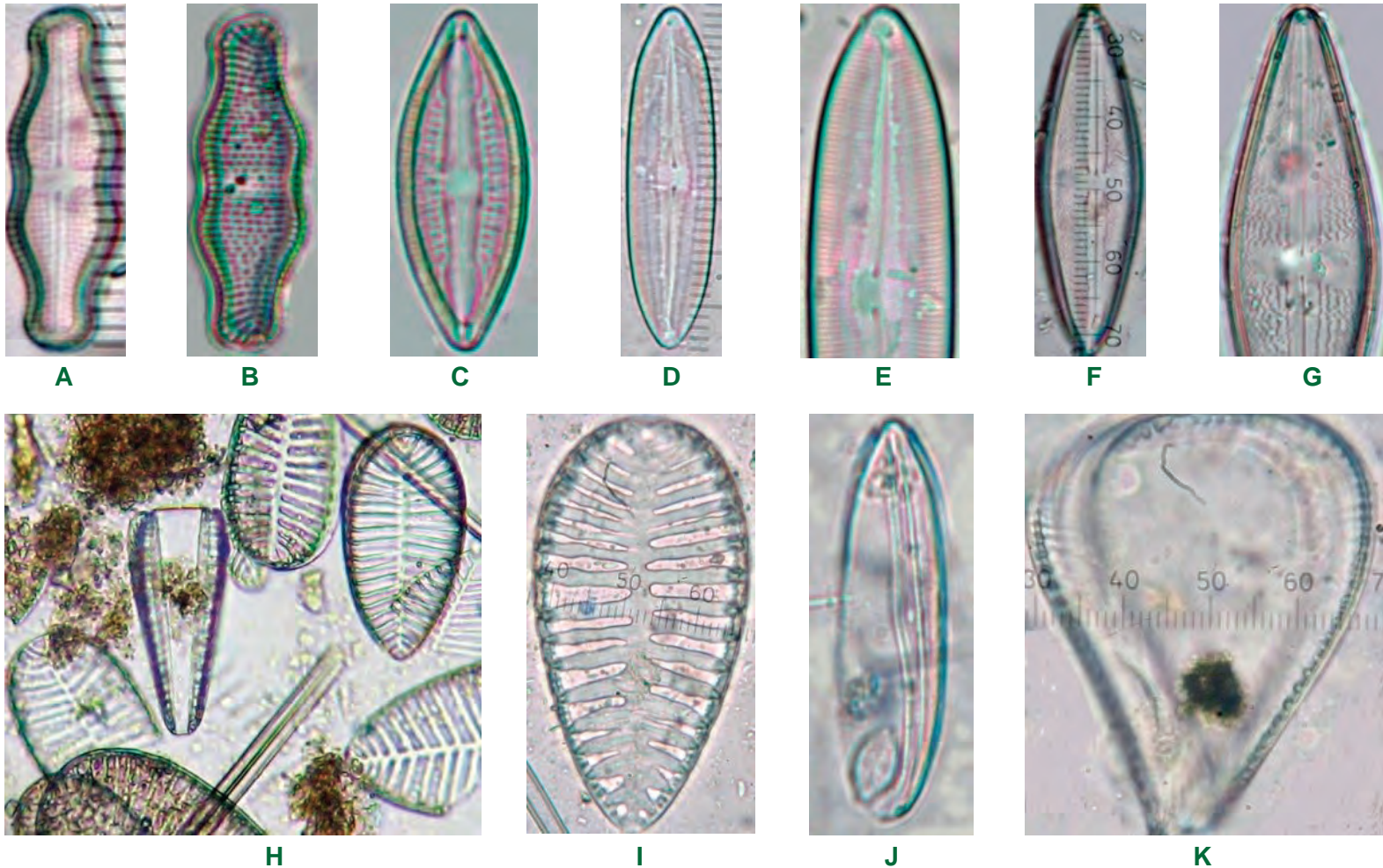
De estudios realizados en Bolivia se sugieren ejemplos de especies bioindicadoras de las condiciones ambientales anteriormente mencionadas (Figuras 4, 5, 6 y 7).



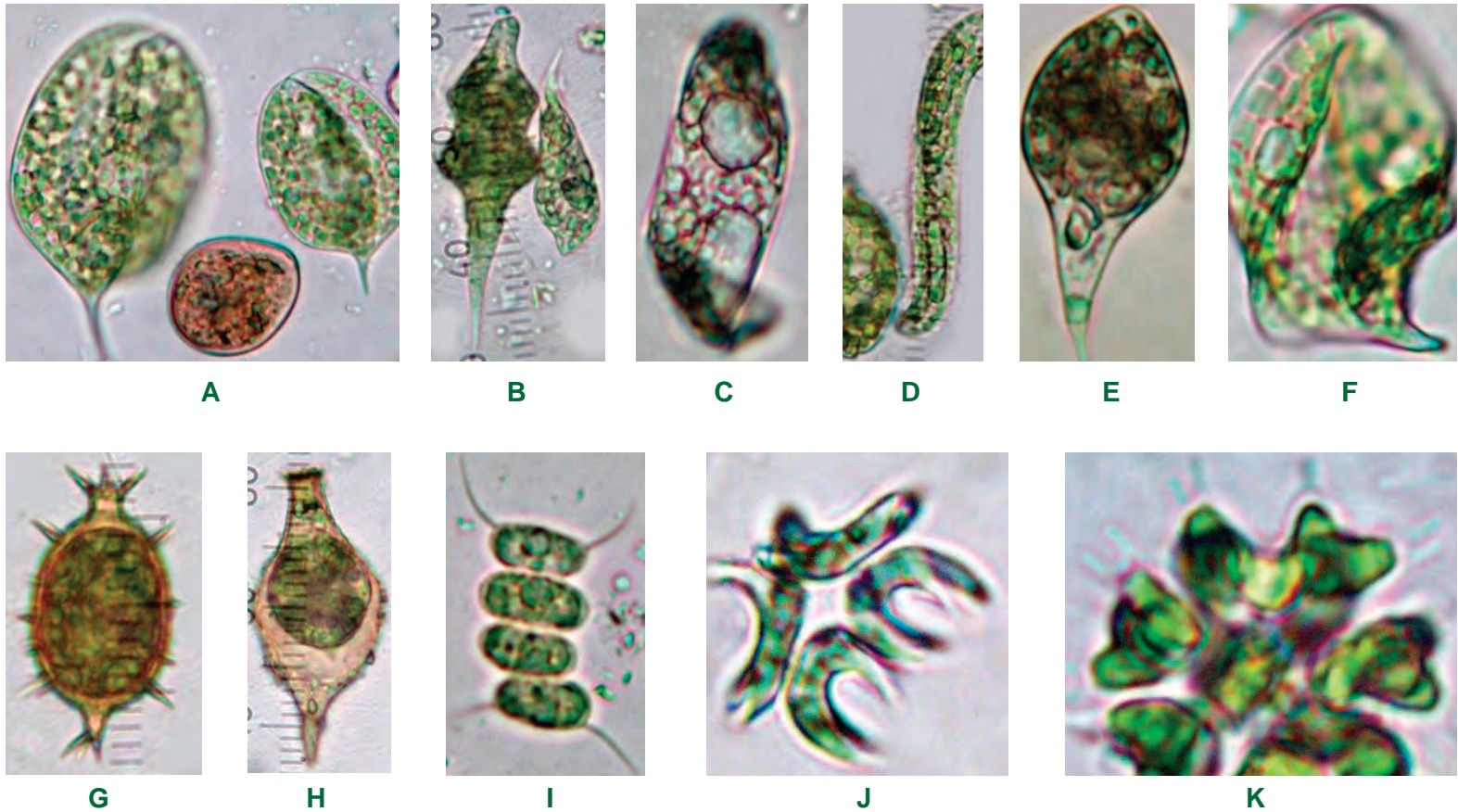
**Figuras 4 A-I. Ejemplos de algas de agua con baja a mediana conductividad, neutras, oligohalinas a mesohalinas, oligotermas, oligotróficas a mesotróficas. -Predominio de diatomeas y cloroficeas. A. *Tabellaria flocculosa* (colonia). B. *Tabellaria flocculosa* (vista frontal). C. *Hannaea* cf. *arcus*. D. *Willea irregularis*. E. *Planochloris* cf. *pyrenoidifera*. F. *Micrasterias americana* G. *Staurastrum bibrachiatum*. H. *Euastrum verrucosum* var. *alpinum*. I. *Mallomonas* cf. *producto*.**

**Cuadro 2. Factores ecológicos más influyentes en la composición de las comunidades algales**

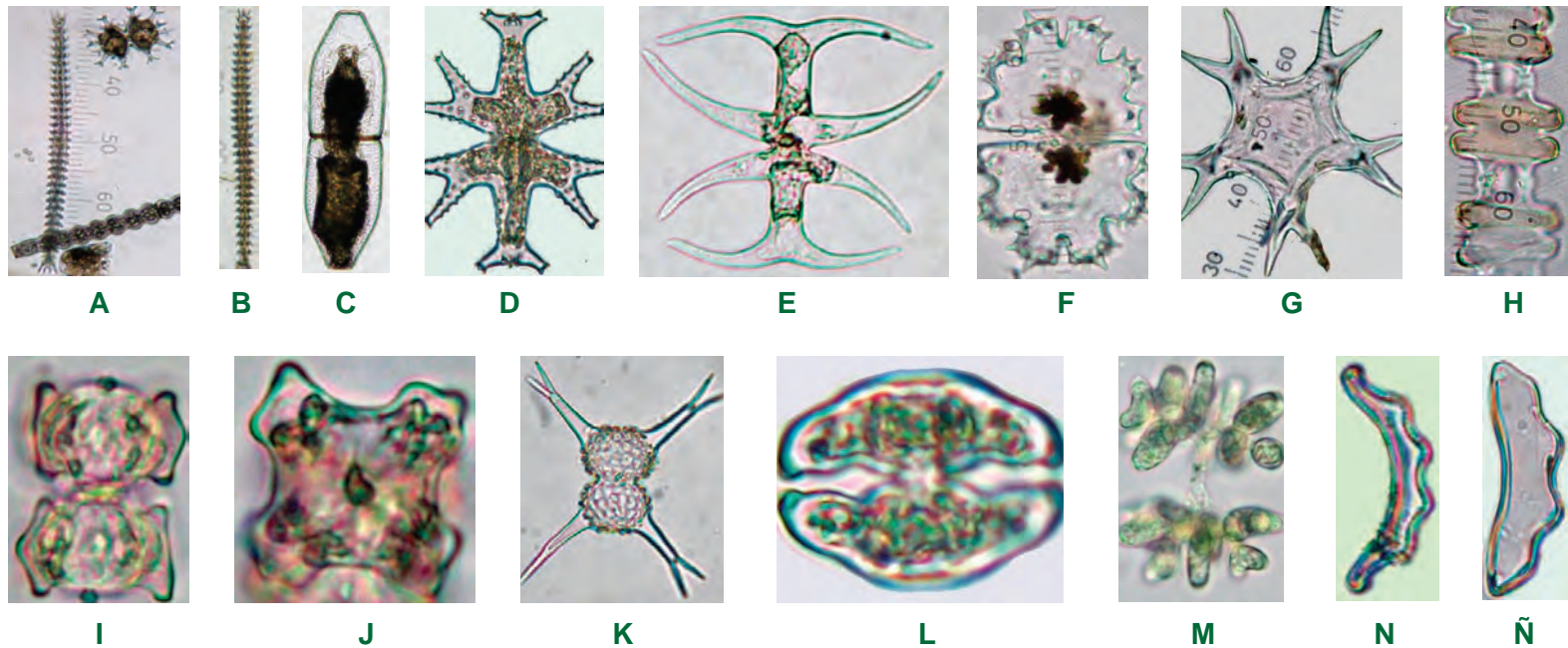
Factor	Clasificación	Descripción
Temperatura (Según Lowe 1974).	Oligoterma	Aguas frías de 0 a 15 °C
	Mesoterma	Aguas templadas 15-30 °C
	Euterma	Aguas tibias > 30 °C
pH (Según Lowe 1974). (medida de acidez o alcalinidad, medido con phmetro).	Acidobiónticas	pH < 7, desarrollo óptimo por debajo de 5,5.
	Acidófilas	pH cercano a 7, desarrollo óptimo por debajo de 7.
	Indiferentes	Rangos amplios de pH.
	Alcaliófilas	pH alrededor de 7, mayor desarrollo encima de 7.
	Alcalibiónticas	Desarrollo óptimo en aguas alcalinas, en pH mayores a 7.
Nutrientes Según (Wetzel 1981). (Substancias fundamentales para el desarrollo de las células y los organismos. En el agua los más importantes son el nitrógeno y el fósforo; que son medidos según sus concentraciones).	Oligotrófico	Baja concentración de nutrientes y bajo contenido mineral.
	Mesotrófico	Moderada concentración de nutrientes y medianamente mineralizadas.
	Eutrófico	Alta concentración de nutrientes y alto contenido mineral.
	Distrófica	Aguas ricas en sustancias húmicas.
Grado de mineralización (según Navarro 2011).  (Conductividad eléctrica medida con conductímetro y expresada en microsiemens/cm)	No mineralizado	< 50
	Hipomineralizado	50 - 199
	Mesomineralizado	200 - 499
	Hipermineralizado	500 - 2999
	Hipohalino	3000 - 19999
	Mesohalino	20000 - 50000
	Hiperhalino	> 50000



**Figuras 5 A-K. Ejemplos de algas de agua con elevada conductividad, mesohalina a hiperhalina, oligotermas, mesotróficas. -Predominio de Diatomeas. A. *Achnanthes exigua* (vista valvar con rafe). B. *Achnanthes exigua* (vista valvar sin rafe). C. *Mastogloia elliptica*. D. *Caloneis* (cf.) sp. 1. E. *Caloneis* (cf.) sp. 1 (detalle de la valva). F. *Anomoeoneis sphaerophora*. G. *A. sphaerophora* (detalle de la valva). H. Vista panorámica (*Surirella*). I. *Surirella* cf. *robusta*. J. *Scoliopleura peisonis*. K. *Campylodiscus* cf. *noricus*.**



**Figuras 6 A-K. Ejemplos de algas de agua con mediana conductividad, hipomineralizada a mesomineralizada, neutras a ligeramente básicas, mesotermas, mesotróficas. -Predominio de Euglenoficeas y cloroficeas. A. *Phacus* spp. B. *Euglena gymnodinioides*. C. *Euglena retronata*. D. *Euglena vermiformis*. E. *Lepocinclis caudata*. F. *Phacus contortus* var. *complicatus* G. *Trachelomonas pisciformis*. H. *Strombomonas gibberosa* I. *Scenedesmus quadricauda*. J. *Selenastrum gracile*. K. *Sorastrum americanum*.**



**Figuras 7 A-Ñ. Ejemplos de algas de agua con baja conductividad, no mineralizada, ligeramente acidas a acidófilas, oligohalinas, mesotermas, oligotróficas.** Predominio de Desmidáceas de gran tamaño y otros grupos acompañantes. **A.** *Triploceras* y otros géneros. **B.** *Triploceras gracile* var. *bidentatum*. **C.** *Pleurotaenium ovatum*. **D.** *Micrasterias ringens*. **E.** *Micrasterias arcuata*. **F.** *Euastrum evolutum* var. *monticulosum*. **G.** *Staurastrum brasiliense* var. *porrectum*. **H.** *Desmidium* cf. *bengalicum*. **I.** *Phymatodosia nordstedtiana* fo. *minor*. **J.** *Phymatodosia nordstedtiana* fo. *minor* (vista apical). **K.** *Staurastrum circulus*. **L.** *Cosmarium pseudotaxichondrum*. **M.** *Dimorphococcus cordatus*. **N.** *Eunotia camelus* var. *arcuata*. **Ñ.** *Eunotia zygodon*.

Se destacan también algunos grupos algales que permiten establecer las condiciones de los ecosistemas en el pasado, siendo ampliamente utilizadas en estudios paleolimnológicos, paleoceanológicos, y paleoclimáticos. Las algas con paredes celulares duras como las diatomeas (con paredes silíceas) y crisófitas (recubierta de escamas silíceas)

son las que se depositan en el fondo de los lagos, lagunas, zonas costeras marinas, etc; y forman una estratificación sedimentaria que en el tiempo pueden ser colectados con técnicas especiales y a partir del análisis de los resultados se puede hacer una reconstrucción de la historia biológica de estos ecosistemas.

Existen algunos grupos de algas que en números elevados disminuyen la calidad del agua de consumo o de recreo dándoles olores y sabores desagradables, sugiriéndose su seguimiento para tomar las acciones correspondientes de control, algunos ejemplos se presentan en el cuadro 3.

### ¿QUÉ SON LAS FLORACIONES ALGALES?

Las floraciones algales o 'blooms' (en inglés) son eventos naturales que ocurren en ambientes de agua dulce o marinos y están dados por el crecimiento explosivo de microalgas, generalmente de una sola especie. Estos cambios visibles en el agua se relacionan con el proceso de eutrofización, denotándose cambios en la coloración, olor, sabor y en algunos casos con presencia de masas algales y espuma en la superficie. Dependiendo del tipo de floración puede haber repercusiones en el ecosistema, la biodiversidad y las actividades relacionadas a este como de acuicultura, recreación, turismo, etc.

#### Clasificación de las floraciones algales

Las floraciones algales se pueden clasificar en tres tipos: inocuas, nocivas y tóxicas:

- Las floraciones algales **inocuas** se caracterizan por producir cambios de color en las masas de agua pero son totalmente inofensivas. Incluso pueden considerarse hasta benéficas porque ocasionan una elevada productividad primaria en el ecosistema. Por ejemplo, la floración de euglenófitas es útil para la alimentación de alevines en piscicultura.
- Las floraciones algales **nocivas** son conocidas como FAN, y sus cuantificaciones muestran hasta 1 millón de células por litro. En grandes cantidades producen sustancias alelopáticas que inhiben el desarrollo de otras algas. Causan la muerte indiscriminada de peces e invertebrados porque agotan el oxígeno del agua y obstruyen o dañan sus branquias. Son ejemplos *Arthrospira fusiformis*, *Microcystis aeuruginosa*.
- Las floraciones algales **tóxicas** las causan especies que producen algún tipo de toxina no proteica de bajo peso molecular y que se incorpora rápidamente en la cadena trófica. Este tipo de floración puede o no mostrar un cambio evidente en la coloración del agua. Las toxinas se transfieren a través de la cadena alimenticia por moluscos, crustáceos, peces y aves; que finalmente pueden ser consumidos por el hombre y causar enfermedades gastrointestinales y nerviosas. Los seres humanos pueden estar expuestos a las toxinas por contacto a través de la boca y la piel al nadar en las zonas contaminadas, tomar agua o ducharse con ella. Son ejemplos varios representantes de cianobacterias como *Oscillatoria*, *Nodularia*, *Aphanizomenon* y *Nostoc*.

Otros efectos de las floraciones son la alta productividad primaria de la comunidad planctónica; que posteriormente conlleva una alta descomposición con el consecuente consumo del oxígeno disuelto en el agua e hipoxia. La condición anterior ocasiona la formación de zonas muertas donde los peces y otras especies no pueden sobrevivir. Entre otros efectos, disminuye la transparencia del agua por el aumento de la turbidez y hay liberación de sulfuros que

Cuadro 3. Ejemplos de algas indicadoras de mala calidad del agua de consumo o de recreo

Clase	Género / Especie	Olor	Sabor	
Cyanophyceae	<i>Anacystis</i> sp.	Séptico	Dulce	
	<i>Anabaena circinalis</i> , <i>A. planctonica</i>	Séptico	-	
	<i>Anabaenopsis</i> sp.	Herbáceo	-	
	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Herbáceo a Séptico	-	
	<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	Herbáceo	Dulce	
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Mohoso	-	
	<i>Nostoc</i> spp.	Séptico	-	
	<i>Oscillatoria</i> spp.	Herbáceo a Mohoso	-	
	Euglenophyceae	<i>Euglena sanguinea</i>	Pescado	Dulce
		Bacillariophyceae	<i>Asterionella gracillima</i>	Pescado
<i>Diatoma vulgare</i>	Aromático		-	
<i>Fragilaria construens</i>	Mohoso		-	
<i>Synedra ulna</i>	Mohoso		-	
<i>Tabellaria fenestrata</i>	Pescado		-	
Coscinodiscaceae	<i>Melosira</i> spp.		Mohoso	-
Synurophyceae	<i>Mallomonas caudata</i>	Pescado	-	
	<i>Synura uvella</i>	Pescado	Amargo	
Cryptophyceae	<i>Cryptomonas erosa</i>	Aromático	Dulce	
Chrysophyceae	<i>Dinobryon</i> spp.	Pescado	-	
Dinophyceae	<i>Ceratium hirundinella</i>	Pescado	-	
	<i>Glenodinium palustre</i>	Pescado	-	
	Chlorophyceae	<i>Chlamydomonas</i> spp.	Pescado a Séptico	Dulce
<i>Chlorella</i> spp.		Mohoso	-	
<i>Gloeocystis planctonica</i>		Séptico	-	
<i>Pandorina morum</i>		Pescado	-	
<i>Pediastrum tetras</i>		Herbáceo	-	
<i>Scenedesmus abundans</i>		Herbáceo	-	
<i>Staurastrum paradoxum</i>		Herbáceo	-	
<i>Volvox aureus</i>		Pescado	-	
Trebouxiophyceae		<i>Actinastrum</i> sp.	Herbáceo a Mohoso	-
		<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	Herbáceo a Pescado	-
Ulvophyceae	<i>Cladophora</i> sp.	Séptico	-	
Charophyceae	<i>Chara vulgaris</i>	Podrido - ajos	Amargo	

generan mal olor. Algunos científicos mencionan a las floraciones de cianobacterias como uno de los riesgos más graves para la salud humana en el siglo 21.

### Causas de la floración algal

La floración algal no puede ser atribuida a una sola causa, es el resultado de una complicada interacción entre condiciones químicas, biológicas y meteorológicas; pudiéndose controlar solo algunas de ellas.

La multiplicación descontrolada de una especie y la desaparición de otras, pueden estar relacionadas con la elevación del contenido de iones, la alcalinidad, la conductividad y la dureza del agua. Sin embargo, el factor químico más influyente para el surgimiento de una floración algal es el enriquecimiento de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. El ingreso de estos nutrientes puede ser por escurrimiento de los fertilizantes usados en la agricultura o el ingreso de aguas residuales de origen doméstico, industrial, ganadero, lavaderos de autos, etc. Con la minimización de la disponibilidad de los nutrientes en un momento dado, se puede tener control del crecimiento de estas algas.

El factor meteorológico relacionado con el cambio climático como es el aumento de la temperatura conllevaría a su vez a un incremento en la concentración de dióxido de carbono. Así también en los últimos años se ha detectado la disminución en los niveles de precipitación pluvial, lo que ocasiona el descenso en el volumen de agua, impide su renovación y promueve el florecimiento de determinadas especies de algas nocivas y tóxicas.

### Algunos casos mundiales de floraciones algales

Las referencias sobre algas nocivas y tóxicas, así como de los florecimientos algales y sus efectos en el ambiente y en el agua de uso humano, data desde tiempos remotos y con sucesos nefastos en todos los continentes.

El primer reporte formal de una floración de algas y mortalidad asociada de ganado proviene de un lago de Australia y fue publicado en 1878. La muerte de los animales fue atribuida a la ingestión de agua o espuma con toxinas de una cianobacteria, *Nodularia spumigena*. La toxina de esta especie, la nodularina, destruye las células del hígado de mamíferos y esto se comprobó cuando se registraron casos posteriores de envenenamiento de caballos, vacas, ovejas, perros y mamíferos silvestres en África, Europa, Norteamérica y Australia. También produjo la muerte de flamencos en Tanzania.

Otras cianobacterias registradas produciendo floraciones en Argentina, Brasil, Colombia, Chile y Uruguay son *Anabaena spiroides*, *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaenopsis arnoldii* y *Anabaena circularis*, y el dinoflagelado *Ceratium hirundinella*. Varias de estas especies pueden ser tóxicas y causar trastornos gastrointestinales, afecciones renales, espasmos musculares, etc. cuando el agua 'potable' no está bien tratada, como se reportó en 1931 en Estados Unidos, en 1993 en China y 1994 en Suecia. También produjeron alergias respiratorias y problemas dérmicos en los bañistas de Inglaterra en 1989 y Australia en 1995. Entre los datos publicados por la EPA (Agencia de Protección Ambiental, en inglés Environ-

mental Protection Agency), se encontró microcistina en el 30% de los lagos en Estados Unidos. La restauración de los lagos en Estados Unidos y Canadá ha costado millones de dólares.

Además de las cianotoxinas producto de las floraciones algales, también se registró la presencia de organismos patógenos que producen afecciones, como bacterias, hongos, ciliados, etc., que se desarrollan sobre los mucílago de las cianobacterias (Cyanophyceae). Por otra parte, el alto consumo de oxígeno por la respiración algal, la anoxia en las zonas profundas por descomposición de los sedimentos y los efectos mecánicos o químicos debido a la gran cantidad de algas que incrustarían en las agallas de los peces asfixiándolos o intoxicándolos, explicándose así la mortandad de peces.

### **GRUPOS DE ALGAS CON REPRESENTANTES NOCIVOS Y TÓXICOS**

Se conocen alrededor de 75 especies de algas que pueden producir toxinas con efectos letales. Algunas especies pueden ser altamente perjudiciales con unos cientos de células por litro y otras producen toxinas en baja concentración debiendo contar con millones de células por litro para ser tóxicas.

Las toxinas son sustancias venenosas sintetizadas por organismos vivos por lo que son denominadas como “biotoxinas”. En el caso de las algas el tipo más conocido son las cianotoxinas producidas por las cianobacterias. Pueden ser inodoras, incoloras, termoestables y estables bajo

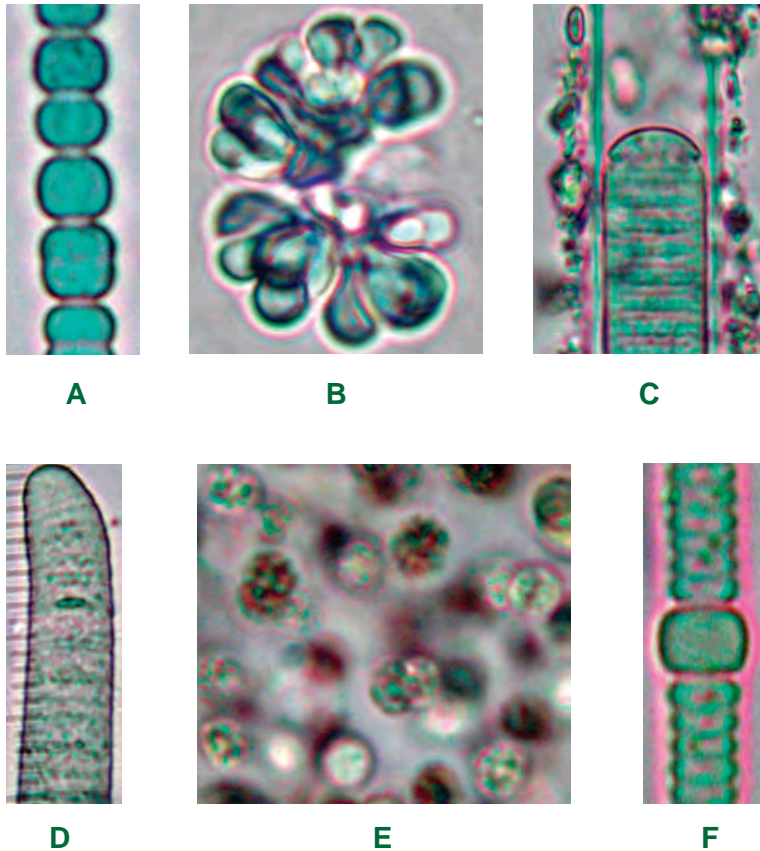
condiciones ácidas. Algunas toxinas son hidrosolubles como las tetrodoxinas, saxitoxinas y el ácido domóico y otras son liposolubles como el ácido okadáico, brevetoxinas y ciguatoxinas

Los grupos de algas nocivas y tóxicas presentan una serie de características morfológicas y fisiológicas que les permiten adaptarse a distintos hábitats y condiciones físico-químicas alteradas. Los principales ejemplos pertenecen a las cianobacterias, los dinoflagelados y las diatomeas.

### **Cianobacterias, cianofíceas o algas verdeazules**

Las cianobacterias conocidas también como algas verde-azules o cianofíceas, pertenecen al reino Eubacteria. Son organismos procariontes que carecen de núcleo. Pueden ser unicelulares (libres o sésiles), coloniales (agregados) y filamentosos; no tienen representantes flagelados (Figura 8). Poseen pigmentos como clorofila a, c-ficocianina (azul), c-ficoeritrina (rojo),  $\beta$ -caroteno y diversas xantófilas, ubicadas sobre tilacoides. No tienen pared celulósica y a veces están rodeadas de una cápsula de mucílago; el material de reserva son los gránulos de cianoficina y otros. La reproducción es asexual, por división simple (fisión), fragmentación, hormogonios y esporulación (endosporas, exosporas y aquinetos).

Entre los caracteres diagnóstico más importantes para poder identificarlos taxonómicamente están la forma y color de la célula, organización celular, presencia o ausencia de cápsula de mucílago, filamentos aislados o agrupados, presencia o ausencia de hormocistos, forma y ubicación



**Figura 8 A-F. Ejemplos de géneros de cianofíceas, cianobacterias o algas verdeazules. A. *Anabaena* sp. (filamento simple). B. *Gomphosphaeria* sp. (tetrasporal). C. *Lyngbya* sp. (filamento simple). D. *Oscillatoria* sp. (filamento simple). E. *Microcystis* sp. F. *Nodularia* sp. (filamento simple).**

de los heterocistos (intercalar, apical), forma de la terminación apical de los filamentos, etc.

Las cianobacterias constituyen un grupo muy diverso y cosmopolita, predominantemente oportunistas, euplanctónicas y bentónicas. En Bolivia se encuentran ampliamente distribuidas en todos los ecosistemas y son más frecuentes en cuerpos de agua que tienen influencia humana. Algunos representantes son simbiotes y junto a los hongos forman los líquenes.

El 50 % de las cianobacterias son consideradas potencialmente tóxicas. Durante los procesos de floración se producen varios tipos de cianotoxinas nocivas y alelopáticas que inhiben el desarrollo de otras algas y en cantidades elevadas pueden afectar a la fauna y a los humanos. Las cianotoxinas se clasifican en tres categorías:

- Neurotóxicas, que afectan la transmisión del impulso nervioso, provocando paro respiratorio y muerte.
- Hepatotoxinas producen lesiones hepáticas, hemorragia y choque hipovolémico generalmente mortales. En dosis no letales se le atribuyen efectos carcinogénicos.
- Dermatotoxinas que no son letales, provocan irritación cutánea.

La clasificación de las toxinas se basa en los signos y síntomas del tipo de síndrome o envenenamiento que provocan; pueden estar acompañados por el nombre de la toxina o del animal que las contiene (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Cianobacterias productoras de cianotoxinas perjudiciales para el hombre y los animales.**

Género de Cianobacterias	Cianotoxina	Sintomatología
<i>Microcystis, Anabaena, Planktothrix, Nostoc, Hapalosiphon, Synechocystis, Aphanocapsa, Oscillatoria</i>	<b>Hepatotoxinas:</b> Microcistinas	Diarrea, vómitos, palidez, debilidad, puede ser mortal por choque hemorrágico.
<i>Nodularia</i>	<b>Hepatotoxinas:</b> Nodularinas	Semejante al efecto de las microcistinas.
<i>Aphanizomenon, Oscillatoria, Anabaena, Cylindrospermopsis raciborskii</i>	<b>Neurotoxinas:</b> Saxitoxinas Anatoxinas Homoanatoxinas	Parálisis progresiva de los músculos, disminución de movimientos, dificultad en la respiración, cianosis, convulsiones, paro respiratorio y muerte. Efecto de la toxina muy rápida.
Cianobacterias en general	Dermatotoxinas: Aplisiotoxina, Lyngbyatoxina-a	Irritación de los ojos, de la piel, fiebre, fatiga, gastroenteritis aguda.
<i>Cylindrospermopsis raciborskii, Umezakia natans, Aphanizomenon ovalisporum.</i>	Cilindrospermopsina	El efecto de la toxina es lenta y progresiva, afectando hígado, pulmones, mucosa gástrica, produciendo muerte a los 7 días.

Fuente: Modificado de Sant'Anna *et al.* (2006),  
Calijuri *et al.* (2006).

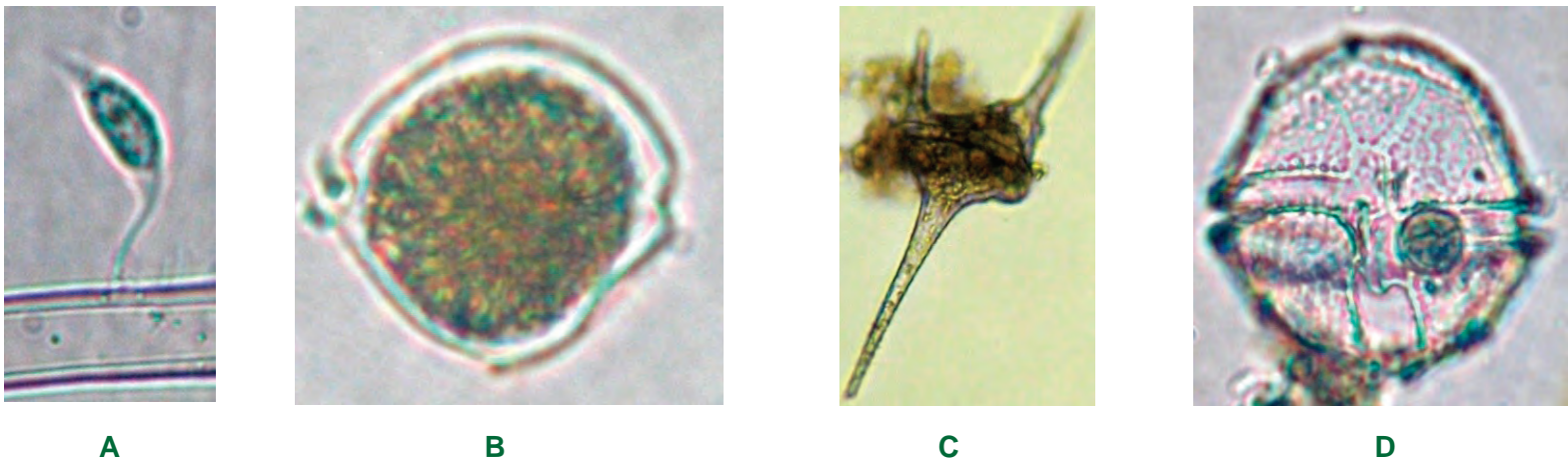
### Dinoflagelados, dinofíceas o Dinophyta

Los dinoflagelados son organismos unicelulares eucarióticos pertenecientes al reino Chromista. Poseen clorofila *a* y *c*,  $\beta$ -caroteno y algunas xantófilas específicas tales como la peridininina, neoperidininina, dinoxantina, diadinoxantina y neodinoxantina. Su material de reserva está compuesto por gránulos de almidón en el citoplasma y algunas veces aceites. Presentan los dos tipos de reproducción la asexual se da por zoosporas, aplanosporas o autoesporas y por cistos. La reproducción sexual es isogámica.

Entre los dinoflagelados la característica común es la presencia de dos flagelos (transversal y longitudinal) disimilares localizados en ranuras o depresiones de la pared

celular llamados sulco y cíngulo. Por otra parte, se tienen formas desnudas o atecados y otras formas armadas con paredes recubiertas por placas celulósicas conocidas como tecas (Figura 9). El número de placas y su posición, así como sus ornamentaciones tienen gran importancia en la identificación.

Los dinoflagelados pueden desarrollarse en forma simbiótica (asociada con otros organismos), parasitaria (dependiendo de otros organismos), béntica (viviendo sobre el substrato) y/o libre en el plancton. En algunos ecosistemas pequeños, suelen ser dominantes, especialmente en aquellos que contienen abundante vegetación superior. Si bien están referenciadas como cosmopolitas, en Bolivia han sido encontradas principalmente en aguas mineraliza-



**Figura 9 A-D. Ejemplos de géneros de dinoflagelados.** **A.** *Cystodinium* sp. (unicelular sésil). **B.** *Gymnodinium* sp. (unicelular, poca diferenciación de placas celulósicas). **C.** *Ceratium* sp. (unicelular, detalle de las prolongaciones astadas de la cubierta celulósica). **D.** *Peridinium* sp. (unicelular, detalle del sulco, cíngulo y placas celulósicas ornamentadas).

das a hipomineralizadas, presentando mayor riqueza específica en las llanuras aluviales de tierras bajas (Cadima y Fernández, 2015).

Estos organismos forman floraciones algales nocivas en ecosistemas de agua dulce o marinos. En el mar producen las mareas rojas tóxicas donde pueden estar involucradas una o varias especies. Por ejemplo, *Gymnodinium catenatum* produce saxitoxina, una neurotoxina que ocasiona parálisis muscular, problemas respiratorios y muerte. En agua dulce no se han encontrado referencias sobre especies tóxicas, pero sí producen sustancias que alteran el olor y el sabor del agua. Se sugiere que pueden ocasionar asfixia en los peces por colapsamiento de branquias.

### Diatomeas o Bacillariophyta

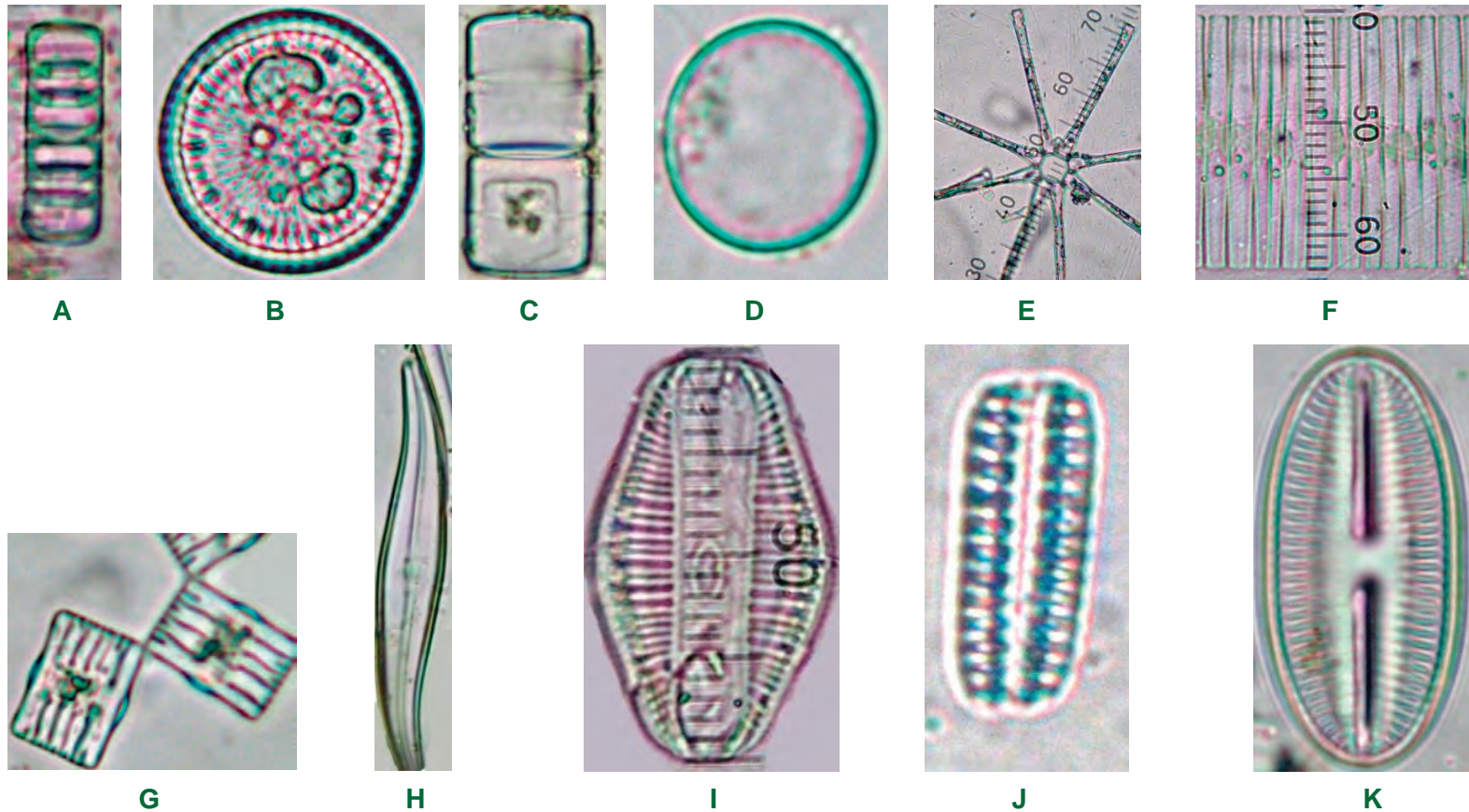
Las diatomeas pertenecen al reino Chromista, división Bacillariophyta, y derivan su nombre del griego “diatomos” que significa “partido por la mitad”, que hace referencia a sus dos paredes celulares silíceas. Antiguamente estaban incluidas en una clase y actualmente están divididas tres clases: Coscinodiscophyceae (diatomeas centrales), Fragilariophyceae (diatomeas sin rafe o arafídeas) y Bacillariophyceae (diatomeas con uno y dos rafes) (Figura 10). Son organismos eucariotes unicelulares y algunos coloniales. Las paredes celulares silíceas, presentan tres componentes: dos valvas, una superior y otra inferior ligeramente más pequeña unidas por un cíngulo o cinturón compuesto por varias bandas silíceas que las mantiene pegadas. Po-

seen clorofila *a* y *c*, el núcleo es esférico, oval, lenticular o reniforme. El material de reserva es la crisolaminarina con gotas de aceite. La reproducción es generalmente asexual a través de simple mitosis o división binaria. La reproducción sexual es poco frecuente y consiste en una copulación isógama.

Las diatomeas son predominantemente perifíticas (o bentónicas), pero también hay fitoplanctónicas. En general son cosmopolitas, encontrándose en ecosistemas de diferente tenor salino y estado trófico. Algunos representantes tienen distribución restringida según sus requerimientos. Los factores de contaminación y eutrofización pueden favorecer el crecimiento desmedido de las diatomeas frente a otras algas. En Bolivia la mayor cantidad de especies se registran en la región Andina.

Las diatomeas tóxicas son predominantemente marinas. Un ejemplo es *Pseudo-nitzschia multiseriis*, que durante las floraciones producen ácido domoico, una neurotoxina poderosa que causa el envenenamiento de peces y fauna silvestre, así como de seres humanos que hayan ingerido mariscos contaminados.

Algunas especies de *Chaetoceros* son nocivas porque producen estructuras a manera de espinas que causan la muerte masiva de peces. La especie *Didymosphenia geminata* puede mostrar sobrepoblación en varios ecosistemas oligotróficos alrededor del mundo, causando grandes alteraciones en el ciclo de nutrientes.



**Figura 10 A-S. Ejemplos de géneros de diatomeas. A.** *Cyclotella* sp. (vista lateral, central). **B.** *Cyclotella* sp. (vista apical, detalle de las ornamentaciones, central). **C.** *Melosira* sp. (vista lateral, central). **D.** *Melosira* sp. (vista apical, central). **E.** *Asterionella* sp. (colonia estrellada o radiada, arafídea). **F.** *Fragilaria* sp. (colonia en forma de cinta, arafídea). **G.** *Tabellaria* sp. (colonia en zigzag, arafídea). **H.** *Gyrosigma* sp. (forma sigmoide). **I.** *Rhopalodia* sp. **J.** *Denticula* sp. (vista lateral, monorafídea). **K.** *Diploneis* sp. (vista valvar).

## ALGAS NOCIVAS Y TÓXICAS EN TRES EMBALSES DE BOLIVIA

El estudio sobre algas en Bolivia tuvo mayor énfasis a partir de los 80s, encontrándose referencias sobre algas nocivas y tóxicas en los últimos cinco años. Debido a los sucesos nefastos en la laguna Alalay del año 2016 se procedió a realizar un análisis de la información generada sobre algas nocivas y tóxicas con especial énfasis en tres cuerpos de agua del Departamento de Cochabamba, que son las represas Angostura y Corani y el embalse Alalay más conocida como la laguna Alalay (Figura 11).

**La laguna Alalay**, técnicamente es un semiembalse, ubicada en la provincia Cercado a 2560 msnm (Figura 12). Abarca aproximadamente 243 ha y tiene una profundidad máxima actual aproximada de 3 m. En la década de los cuarenta fue embalsada para prevenir las inundaciones provocadas por el Río Rocha, cumple también un rol ecológico vital porque es refugio de muchas especies de aves propias y migratorias que desarrollan su ciclo en esta laguna. El río Rocha que alimenta a esta laguna recibe agua de varios ríos del valle de Sacaba, y también muchos desechos domésticos e industriales que llegan a la laguna Alalay contaminándola.

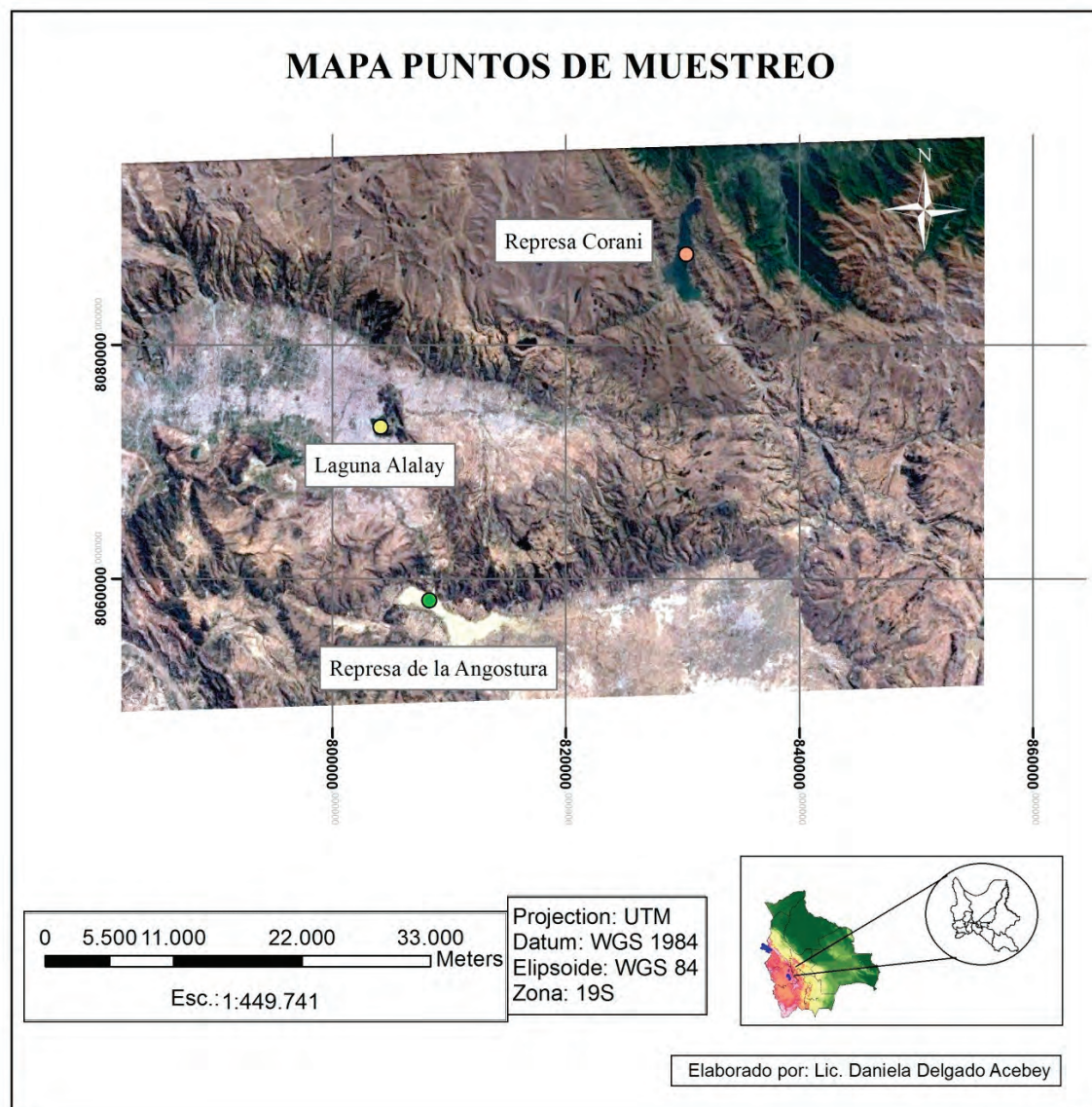
Originalmente se llamaba T'ago Laguna (laguna rodeada de algarrobos *Prosopis*), y durante las últimas cuatro décadas se fue deteriorando debido al ingreso de sedimentos y aguas residuales urbanas que causan una hiper-eutrofización y destrucción de la biodiversidad. El año

1979 se iniciaron estudios limnológicos en esta laguna, posteriormente como producto del seguimiento durante un año (1989-1990), se propusieron desde esa época varias alternativas de recuperación.

**La represa de la Angostura** es también conocida como represa México, se ubica en la Provincia Esteban Arze., a 17 km de la ciudad de Cochabamba y a 2700 msnm (Figura 13). Se inauguró en 1945, sus afluentes son los ríos Sulti, Punata y Tarata. Originalmente fue construida para riego, (producción agrícola del valle bajo y central de Cochabamba) y actualmente es además un lugar turístico. Debido a descargas de residuos de pozos sépticos, desechos industriales, etc. en los afluentes, el agua actualmente está contaminada. Desde el año 2013 se documentan estos cambios drásticos en informes técnicos de la Universidad Mayor de San Simón.

**La represa de Corani** también denominada Hidroeléctrica Santa Isabel, está ubicada en la Provincia Chapare, a 2735 msnm y 64 Km de la ciudad de Cochabamba (Figura 14). Tiene un área aproximada de 18 km<sup>2</sup>. Construida hace 50 años, para producir energía eléctrica, actualmente sustenta la agricultura y piscicultura. Respecto a su estado deben destacarse las publicaciones que alertan sobre la contaminación del agua con residuos del narcotráfico.

En estos tres cuerpos de agua estudiados, se registraron las especies de algas nocivas y tóxicas que se describen a continuación.



**Figura 11. Ubicación de las represas Angostura y Corani y la laguna Alalay.**



Fuente: Rodrigo Aguayo

**Figura 12. Vistas de la laguna Alalay**



**Figura 13. Vistas de la represa Angostura**

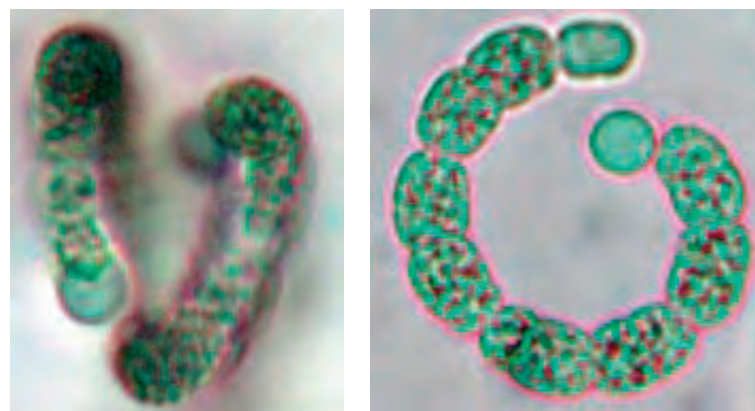


**Figura 14. Vistas de la represa Corani**

### ***Anabaenopsis circularis* (Cyanophyceae)**

Esta especie de alga verde azulada (Figura 15) es también llamada *Anabaena flos-aquae* var. *circularis*, y produce sustancias tóxicas como microcistina, nodularina que afectan el riñón y el hígado (hepatotoxinas) y anatoxinas que afectan el sistema nervioso. También producen geosmina que no es tóxica pero da mal olor al agua.

Tiene amplia distribución a nivel mundial, referenciada por diferentes ficólogos en la Argentina, Chile, Brasil, Perú, Ecuador, etc. En Bolivia no se tienen datos sobre floraciones de esta especie, pero sí se la encontró en la laguna Alalay desde 1989 y en la represa de Corani el año 2013.



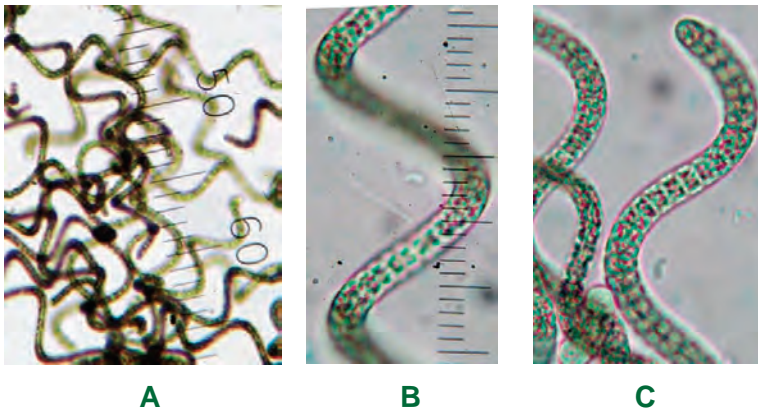
**A**

**B**

**Figura 15 A-B.** Imágenes de *Anabaenopsis circularis* (Cyanophyceae).

### *Arthrospira fusiformis* (Cyanophyceae)

Alga verdeazulada (Figura 16) que produce neurotoxinas como anatoxinas y homoanatoxinas. Estas causan espasmos musculares, dificultad respiratoria, cianosis, convulsiones, paro respiratorio y muerte.



**Figura 16 A-C.** Imágenes de *Arthrospira fusiformis* (Cyanophyceae). **A.** Vista panorámica de floración de *Arthrospira fusiformis*. **B-C.** Detalle de *Arthrospira fusiformis*.

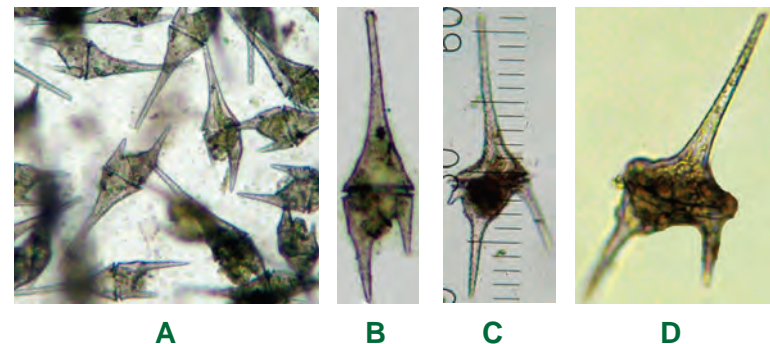
Representantes de *Arthrospira* inicialmente están referenciados como *Spirulina* en muestras de la laguna Alalay desde 1989. En la revisión de muestras posteriores (datos no publicados), se tuvieron registros en mayor número, incrementándose a fines del 2015. En febrero de 2016 la Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos (ULRA)-UMSS y Morales (2016), reportan una floración tóxica de *Arthrospira fusiformis*, acompañada de otras cianobacterias, lo cual es indicio de hipereutrofización. Se deduce la

producción de cianotoxinas como causante de muertes de peces y aves.

En otros países se indica que el agua con esta floración contiene ciatoxinas y que, al ser ingerida, causa espasmos musculares ocasionando dificultad respiratoria, cianosis, etc. En contacto con la piel, estas algas a veces ocasionan severas irritaciones. Entre otros casos las cianotoxinas en el agua potable mal tratada provocan trastornos gastrointestinales y afecciones renales.

### *Ceratium furcoides* y *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae).

Estos dinoflagelados (Figura 17) no son tóxicos pero en floraciones producen malos olores y sabores en el agua.



**Figuras 17 A-D.** Imágenes de *Ceratium furcoides* y *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae, Dinoflagellata) **A.** Vista panorámica de la floración *Ceratium furcoides*. **B.** *Ceratium furcoides*. **C-D.** *Ceratium hirundinella*.

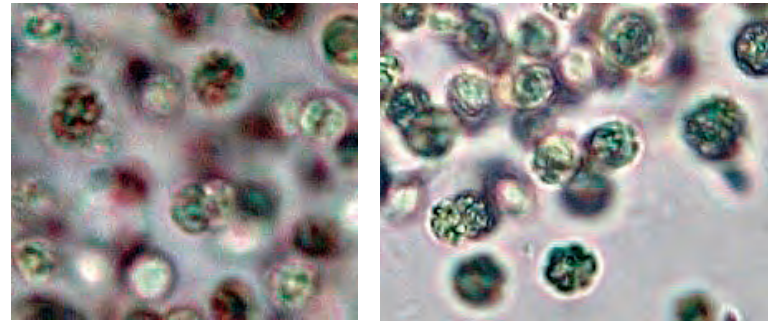
*Ceratium furcoides* es una especie invasora que puede formar floraciones nocivas al producir grandes cantidades de biomasa que se descomponen y ocasionan anoxia en la columna de agua con la consecuente muerte de peces e invertebrados. Si bien no producen toxinas, su presencia altera la calidad del agua, tornándola de color verde, con olor nauseabundo a carne en descomposición y feo sabor. Se desarrolla bastante bien en aguas meso-eutróficas y se distribuye ampliamente en diferentes países de Europa, Norteamérica, Sudamérica, África, Asia y Australia. En Sudamérica se detectó su aparición a partir de 1991 en Chile y Argentina.

En Bolivia se encontró *Ceratium* en el estrecho de Tiquina (Lago Titicaca-La Paz), pero no se identificó la especie. En Cochabamba fue encontrada *C. furcoides* en la Angostura en 2013, y en abril de 2016 se presentó como una floración uniespecífica, sin otras especies acompañantes. Esta floración ha sido reportada por Morales (2016) y Calvimontes (2016) por los efectos adversos que mostró. La presencia de esta especie invasora en diferentes ecosistemas parece asociada a las actividades de acuicultura.

Por otra parte, el 2016 se registró la especie *Ceratium hirundinella* en la represa de Corani pero en cantidades poco representativas y acompañada de otras algas de los géneros *Cosmarium*, *Staurastrum*, *Staurodesmus*, *Spirogyra*, *Peridinium* y *Anabaena*.

### ***Microcystis aeruginosa*** (Oscillatoriophycidae, Cyanophyceae)

Es un alga verdeazulada colonial (Figura 18) que produce floraciones tóxicas con microcistina (hepatotóxica). Causa afecciones renales, trastornos gastrointestinales, vómitos y debilidad muscular.



**Figura 18 A-B.** Imágenes de *Microcystis aeruginosa* (Oscillatoriophycidae, Cyanophyceae).

*Microcystis* es el género más frecuente en causar floraciones tóxicas. Es muy común y tiene la mayor distribución mundial de cualquier cianobacteria tóxica. En Bolivia han sido encontradas en el lago Titicaca en 1984-1985 (Liberman & Miranda, 1987) y en la laguna Grande en Tarija (Cadima *et al.* 2001). La especie *Microcystis aeruginosa* fue detectada en la laguna Alalay el año 1989 (Barra *et al.* 1993) y más recientemente (Morales 2016) reportó la floración en la laguna Alalay. Morales *et al.* (2016) proponen la hipótesis de la asociación de *Microcystis aeruginosa* con *Nitzschia palea*.

## RECOMENDACIONES

Se sugieren algunas estrategias a ser aplicadas hoy y en un futuro inmediato para evitar hechos devastadores en otros ecosistemas acuáticos en nuestro país. Argentina, Brasil y Chile han tomado iniciativas para estudiar y aplicar medidas de control y recuperación utilizando a las algas como herramientas de monitoreo. Se hace necesario continuar con el proceso de conocimiento de la flora algal en Bolivia, dando continuidad a la publicación de catálogos ilustrados y bases de datos de fácil disposición.

En los últimos 10 años se han generado varios estudios y publicaciones respecto a la taxonomía, bioindicación y otros aspectos ecológicos de las algas, debiéndose intensificar estos estudios en pro de la conservación de los sistemas acuáticos.

Como se dijo anteriormente las floraciones algales son procesos naturales, pero que ocurren cada vez con mayor frecuencia. Durante las últimas décadas a nivel mundial se ha intentado desarrollar métodos para monitorear, controlar y/o frenar estos eventos. A continuación se sugieren algunas medidas externas de manejo del contexto del embalse o laguna para evitar las floraciones, y luego otras medidas ya internas para controlar o revertir el proceso en el cuerpo de agua.

### Externas:

- Desarrollar políticas públicas de concientización, prevención y control de la contaminación, destacando la responsabilidad de cada individuo y cada comunidad sobre los ecosistemas, a fin de disminuir la destrucción, eutrofización y desaparición de la biota.
- Control permanente de la cuenca hidrográfica para minimizar la entrada de nutrientes.
- Tratamiento adecuado de las aguas residuales, domésticas e industriales, construyendo lagunas de estabilización, filtros de arena y otros por el que pase el agua residual antes de ingresar al cuerpo de agua.
- Mantener la dinámica del agua (ingreso y egreso de agua).

### Internas:

- **Métodos físicos** consistentes en la circulación artificial del agua, aireación del hipolimnion, extracción del agua del hipolimnion, dragado de sedimentos e incremento de la profundidad de la cubeta. En el caso de la remoción de biomasa algal, diferentes experiencias muestran que el método más eficiente es la flotación por aire disuelto seguida de filtración rápida. Control de macrófitas a través de la remoción controlada.

- **Métodos químicos** precipitación e inactivación del fósforo, arcillas como agente floculante y uso de alguicidas (sulfato de cobre, permanganto de potasio, etc.) y surfactantes (“Apoín” un esteroide producido por el alga verde azul *Gomphosphaeria aponina*) Dependiendo de la especie los tratamientos y resultados son diferentes que requieren más experiencias.
- **Métodos biológicos** empleo de cianófagos, bacterias, parásitos, virus y zooplancton.

Sin embargo, los métodos internos no son prácticos ni baratos y pueden tener efectos colaterales sobre el ecosistema, debiéndose realizar un análisis detallado antes de su aplicación.

## GLOSARIO

**Alelopática.** Sustancia producida por un organismo que es tóxica e inhibe el desarrollo de otros organismos.

**Alevines.** Crías de peces recién nacidas.

**Aquinetos.** Células vegetativas que aumentan de tamaño, engrosan las paredes y acumulan sustancias de reserva. Funcionan como esporas de resistencia.

**Bentónico o béntico.** Organismo que vive en el fondo de cualquier ecosistema acuático.

**Cenobio.** Organismo pluricelular (o tipo de colonia) con un número fijo de células desde que se forma y es liberado por una célula madre; con ejemplos de algunas Chlorophyceae o Xanthophyceae.

**Colonia (celular).** Organismo pluricelular formado por células similares agrupadas en número variable que actúan en conjunto sin formar un tejido.

**Cosmopolita.** Organismo que tiene distribución mundial.

**Endosporas.** Esporas que carecen de organelos locomotores, se producen al interior de la pared de una célula madre que presenta sucesivas divisiones.

**Esporulación.** Liberación de una o varias esporas.

**Exosporas.** Son esporas externas, resistentes al calor y la desecación.

**Eucarionte.** Organismo con células que presentan un núcleo bien diferenciado y organelos celulares que se aíslan del resto del citoplasma por medio de un sistema de membranas.

**Euplanctónica.** Alga que completa todo su ciclo de vida en la columna de agua.

**Eutrofización.** Enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema.

**Floculante.** Sustancia química que aglutina a los sólidos en suspensión, una vez efectuada su coagulación, provocando su precipitación.

**Gametangiogamia.** Tipo de reproducción sexual en el que intervienen los gametangios.

**Gametangios.** Órgano sexual que se encarga de la producción de gametos femeninos y masculinos.

**Grado trófico.** Medida del contenido de nutrientes existentes en un cuerpo de agua.

**Heterocistos.** Presente en los tricomas, se diferencian de las células vegetativas por sus paredes gruesas con poros apicales, están especializados en fijar nitrógeno atmosférico. Por su diversa morfología tienen importancia diagnóstica.

**Hormocistos.** Denominados también como hormogonios, se diferencian de las células vegetativas por sus paredes gruesas, participan en la reproducción asexual formando nuevos tricomas.

**Hormogonios.** Fragmentos pluricelulares que se forman en el tricoma en las cianofíceas o cianobacterias.

**Isogamia.** Es una forma de reproducción en la cual los dos gametos son idénticos en estructura y tamaño.

**Léntico.** Ambiente acuático sin corriente (lago, laguna).

**Lótico.** Ambiente acuático con corriente (río, arroyo).

**Oligotrofia.** Cuerpos de agua con escasa cantidad de sustancias nutritivas y poca producción de fitoplancton.

**Oogamia.** Tipo de reproducción sexual donde los gametos son diferentes respecto a su forma y tamaño.

**Parasitaria.** Es un tipo de relación en el que un organismo vive a expensas de otro y lo perjudica.

**Perifiton o algas perifíticas.** Que crecen sobre distintas superficies como plantas acuáticas, animales, rocas, piedras, arena, etc.

**Pirenoide.** masa fundamentalmente de proteína incluida en los plastos de las algas, generalmente rodeado de un depósito de almidón.

**Plancton.** Grupo de organismos pelágicos que viven en suspensión en la columna de agua.

**Plastidios.** Son organelos celulares de las células eucariotas que se encargan de generar y acumular ciertas sustancias químicas.

**Procarionte.** Organismo cuyas células carecen de núcleo y organelos celulares, como en las cianobacterias.

**Pseudoparenquimático.** Tejidos falsos que pueden presentarse en determinados grupos de algas.

**Rafe.** Hendidura longitudinal recta o sigmoidea sin deposición de sílice en las valvas de un grupo de diatomeas.

**Salinidad.** Contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua.

**Saprobiedad.** Calidad del agua respecto a su material orgánico putrescible.

**Sésil.** Alga que se fija a algún tipo de sustrato.

**Simbiosis.** Asociación íntima de organismos de especies diferentes para beneficiarse mutuamente.

**Tetraspora.** Espora que contiene cuatro células de la meiosis.

**Tilacoide.** Compartimiento separado por membranas en los plástidos donde se realiza la fase lumínica de la fotosíntesis.

**Tricoma.** Apéndices epidérmicos con diversa forma, que pueden o no ser glandulares.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D., P. Andersen, V. Bricelj, J. Cullen & J. Rensel. 2001. Monitoring and management strategies for harmful algal blooms in coastal waters, APEC #201-MR-01.1, Asia Pacific Economic Program, Singapore, and Intergovernmental Oceanographic commission Technical Series No. 59, IOC, Paris.
- Barra, C., F.M. Cadima, M. Maldonado, E. Goitia & F. Acosta. 1993. Diagnóstico limnológico de la laguna Alalay (Cochabamba, Bolivia). Publicaciones Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. Serie Científica 2: 1-13.
- Bicudo C. E. de M. & D. de C. Bicudo. 2007- Amostragem em Limnologia- Sao Carlos RIMA 2004, Segunda edição. 361 p.
- Cadima, M., E. Fernández & L. López. 2005. Algas de Bolivia, con énfasis en el fitoplancton: importancia, ecología, aplicaciones y distribución de géneros. Editorial Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño, Santa Cruz, Bolivia. 396 p.
- Cadima, M. & E. Fernández. 2015. Algas de Aguas Continentales: Taxonomía y Ecología. (con énfasis en algas de Bolivia). Dirección de Investigación Científica y Tecnológica. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba-Bolivia. 116 p.
- Calijuri, M., M.S. Adriani & A.C Alves. 2006. Cianobacterias e Cianotoxinas em Águas Continentais. São Carlos, SP, Brasil. 109 p.
- Calvimontes, E. 2016. Estudio Físico/Químico/Bacteriológico y Limnológico de las aguas de las represas de la Angostura y Corani, para los XI Juegos Suramericanos Cochabamba 2018. Codesur. [http://www.cochabamba2018.bo/es/noticia\\_principal/estudio\\_fisicoquimicobacteriologico\\_y\\_limnologico\\_de\\_las\\_aguas\\_de\\_las\\_represas\\_de\\_la\\_angostura\\_y\\_corani\\_para\\_los\\_xi\\_juegos\\_suramericanos\\_cochabamba\\_2018](http://www.cochabamba2018.bo/es/noticia_principal/estudio_fisicoquimicobacteriologico_y_limnologico_de_las_aguas_de_las_represas_de_la_angostura_y_corani_para_los_xi_juegos_suramericanos_cochabamba_2018). Consultada 15/Abril/2017.
- Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño DSIP. 2006. Las algas. Bol. Ecol. 41, 36 p.
- Libermann, M. & C. Miranda. 1987. Contribución al conocimiento del fitoplancton del Lago Titicaca. Proyecto Evaluación de los recursos pesqueros del Lago Titicaca. Área: Fitoplancton. Convenio de Asistencia Técnica CAF/IMARPE/UMSA. OLDEPESCA. Lima, Perú. 82 p.
- Lowe, R. 1974. Environmental requirements and pollution tolerant of freshwater diatoms. Program element no. 1BA027. Ohio, USA. 336 p.

Morales, E. A. 2016. Floración de *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinoflagellata, Dinophyceae) en la represa de La Angostura, Cochabamba, Bolivia. ACTA NOVA; Vol. 7, N° 4, septiembre 2016, pp. 389-398.

Morales, E. A. 2016. Diagnóstico de la Laguna Alalay. <http://www.lostiempos.com/oh/entrevista/20160327/eduardo-morales-diagnostico-laguna-alalay>. (Fecha de consulta 12/2016).

Morales, E.A., Rivera, S.F., Wetzel, P.H., Bicudo, D., Amils, R. & L. Ector. 2016. Hipótesis: la agrupación *Microcystis aeruginosa* Kütz.-*Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm.-bacterias en la laguna Alalay, Cochabamba, Bolivia es de tipo simbiótico. ACTA NOVA; Vol. 7, N° 2, 122 -142.

Navarro, G. 2011. Propuesta metodológica para la clasificación de los humedales altoandinos en Bolivia. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental 29: 1-22.

Sant`Anna, C., M.T. Azevedo, L.F. Aguajaro, M. Carvalho, L. Carvalho & R. de Souza. 2006. Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias plantônicas de águas continentais brasileiras. Río de Janeiro, Brasil. 58 p.

Wetzel, R. 1981. Limnología. Edición Omega S.A. España. 679 p.



**Centro Ecopedagógico Simón I. Patiño**

Independencia, Esq. Suárez de Figueroa - Tef. / Fax: (+591-3) 337 5726

E-mail: [ecopedagogico@fundacionpatino.org](mailto:ecopedagogico@fundacionpatino.org) - [www.cesip.org.bo](http://www.cesip.org.bo)

 Centro-Ecopedagógico-Simón-I-Patiño

Casilla 1674 - Santa Cruz - Bolivia

