

# PRÓLOGO

---

LA LIMNOLOGÍA ES UNA DISCIPLINA CIENTÍFICA DE RECIENTE DESARROLLO en Uruguay. Sin embargo, sus raíces pueden encontrarse ya a comienzo del siglo. Las investigaciones sobre organismos de agua dulce realizadas por el Dr. Ricardo Thomsen ocupan un papel destacado. Este científico establece en 1924 colaboración con zoólogos y limnólogos europeos, principalmente de Austria y Alemania. Como resultado de esa colaboración, Brehm publica en 1929 el primer trabajo sobre investigaciones hidrobiológicas realizadas en Uruguay en la revista de más larga trayectoria en Limnología, *Archiv für Hydrobiologie*.

A pesar de la importancia que los ecosistemas acuáticos de agua dulce y salobre tienen en Uruguay, el establecimiento de la Limnología como rama de la Ecología que estudia las características físicas y químicas del agua, la biota, así como las interacciones entre estos componentes, es más reciente. En 1984 se crea en la Facultad de Humanidades y Ciencias el Departamento de Limnología, dirigido desde sus comienzos por el recientemente fallecido Lic. Wilson Pintos, quien introduce un enfoque ecológico a las investigaciones. En sus pocos años de formación, este centro académico ha logrado ocupar un importante rol en la investigación, enseñanza y difusión de la Limnología en Uruguay.

Tengo el agrado de introducir esta primera edición del libro *Métodos en ecología de aguas continentales*, el cual, con sus 233 páginas, presenta no solo detallados protocolos experimentales y de laboratorio, sino también ejemplos con datos obtenidos en estudios realizados en ecosistemas acuáticos de Uruguay. En particular quisiera destacar la profesionalidad con la cual los editores así como los diversos autores organizaron los respectivos capítulos, logrando una visión global que incluye no solo métodos tradicionales utilizados en Limnología sino también actuales.

Es mi deseo que este manual de métodos ayude a futuras generaciones de limnólogos a obtener un mejor entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos de agua dulce y de esta forma ayudar a su preservación.

A. Univ. Prof. Dr. Ruben Sommaruga  
Innsbruck, junio 1999

# LOS AUTORES\*

---

RAFAEL AROCENA	Prof. Adjunto y Co-Encargado de la Sección Limnología. Investiga el zoobentos, los sedimentos y la calidad del agua.
LUIS AUBRIOT	Ayudante de la Sección Limnología. Investiga la asimilación de nutrientes por microalgas.
SYLVIA BONILLA	Ayudante de la Sección Limnología. Investiga el fitoplancton, el perifiton y la producción primaria.
GUILLERMO CHALAR	Ayudante de la Sección Limnología. Investiga en química del sedimento y zoobentos.
DANIEL CONDE	Prof. Adjunto y Co-Encargado de la Sección Limnología. Investiga en producción primaria y química del agua.
GLORIA DANERS	Asistente del INGEPa ~ Departamento de Paleontología. Investiga en paleopalinología.
LIZET DE LEÓN	Ayudante de la Sección Limnología. Investiga el fitoplancton.
DANIEL FABIÁN	Ayudante de la Sección Limnología. Investiga el zooplancton.
JAVIER GORGA	Ayudante de la Sección Limnología. Investiga en química del agua.
NESTOR MAZZEO	Prof. Adjunto de la Sección Limnología. Investiga las macrofitas y en ecotoxicología.
FLAVIO SCASSO	Asistente de la Sección Limnología. Investiga en necton y recuperación de lagos.

\* Docentes de la Facultad de Ciencias - Universidad de la República.

# CONTENIDO

---

	<b>Introducción</b>	9
Capítulo 1:	<b>Métodos de investigación en Limnología</b> por Rafael Arocena	11
Capítulo 2:	<b>Morfología</b> por Rafael Arocena	18
Capítulo 3:	<b>Óptica</b> por Rafael Arocena	24
Capítulo 4:	<b>Calor</b> por Rafael Arocena	29
Capítulo 5:	<b>Hidrodinámica</b> por Rafael Arocena	34
Capítulo 6:	<b>Sedimento</b> por Rafael Arocena	40
Capítulo 7:	<b>Gases disueltos</b> por Daniel Conde & Javier Gorga	53
Capítulo 8:	<b>Material disuelto y en suspensión</b> por Daniel Conde, Javier Gorga & Guillermo Chalar	62
Capítulo 9:	<b>Composición iónica</b> por Daniel Conde & Javier Gorga	65
Capítulo 10:	<b>Carbono</b> por Daniel Conde & Javier Gorga	77
Capítulo 11:	<b>Nitrógeno, fósforo y sílice</b> por Daniel Conde, Javier Gorga & Guillermo Chalar	82
Capítulo 12:	<b>Ecología microbiana</b> por Daniel Conde	97
Capítulo 13:	<b>Fitoplancton</b> por Lizet de León, Sylvia Bonilla y Luis Aubriot	107
Capítulo 14:	<b>Epífiton algal</b> por Sylvia Bonilla	128
Capítulo 15:	<b>Microfitobentos</b> por Daniel Conde	133
Capítulo 16:	<b>Hidrófitas</b> por Néstor Mazzeo	142
Capítulo 17:	<b>Zooplancton</b> por Daniel Fabián	165
Capítulo 18:	<b>Zoobentos</b> por Rafael Arocena	182
Capítulo 19:	<b>Peces</b> por Flavio Scasso	194
Capítulo 20:	<b>Paleolimnología</b> por Gloria Daners	203
	<b>Referencias bibliográficas</b>	215

# INTRODUCCIÓN

---

EL AUMENTO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL Y DEL CONSUMO *PER CAPITA* DE agua dulce acaecido durante las últimas décadas, ha conducido a una reducción importante de la calidad del recurso, especialmente en los países del Tercer Mundo. Esto ha llevado a científicos a señalar que el principal problema ambiental a corto plazo será la disponibilidad de agua dulce apta para uso potable, para actividades agropecuarias e industriales, así como para la recreación y la conservación. Las principales alteraciones que han sufrido los cuerpos de agua dulce pueden resumirse en aquellas de índole física (canalización, desecación, embalsado), química (contaminación térmica, radiactiva, orgánica, tóxica) o sanitaria (transmisión de vectores patógenos). Tal disparidad entre demanda y disponibilidad se refleja en los costos que ha alcanzado el recurso en muchos países.

Estos problemas llevan a postular un uso racional y formas más eficaces de gestión del medio acuático, lo que requiere del conocimiento de su funcionamiento. En tal sentido, la Limnología juega un papel central en la conservación de los recursos hídricos. Margalef (1983) define la Limnología como la Ecología de las aguas continentales, mientras Cole (1983) incluye los problemas del uso del agua en el campo de estudio de esta ciencia. Aparte de definiciones, el conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas brinda las bases para reducir del impacto antrópico, el mantenimiento de los usos múltiples y la restauración de los sistemas acuáticos alterados.

En Uruguay, tal vez debido a la distribución uniforme y abundante de los recursos hídricos, son relativamente escasos los estudios limnológicos realizados. Si bien la investigación se ha incrementado sustancialmente durante los últimos años, el conocimiento de estos ambientes es aún insuficiente para su correcta gestión.

Sin embargo, la creciente preocupación ambiental ha generado una demanda creciente de técnicas de campo y laboratorio, difícilmente disponibles en una bibliografía dispersa o inaccesible. Por otra parte, la variedad de métodos existente dificulta la comparación de los resultados obtenidos. Al reunir tales métodos en el presente volumen pretendemos a la vez que hacerlos accesibles, realizar un aporte a la necesaria estandarización de la metodología. La inclusión de una selección de referencias sobre otros métodos no desarrollados en el texto, más sofisticados o de reciente desarrollo, sirve de guía para aquellos interesados en profundizar en temas específicos.

El presente texto surgió originalmente como una reedición actualizada del *Manual de Prácticos de Limnología* (Pintos & Arocena 1988), destinado a estudiantes de la Licenciatura de Biología. Sin embargo, las necesidades de otras materias relacionadas, e incluso de otras carreras, reflejo de la diversidad de enfoques con que se aborda hoy la

Ecología, nos condujo a enfrentar un esfuerzo mayor, destinado a satisfacer un público más amplio y exigente. En diversas ocasiones hemos sido consultados sobre métodos limnológicos por investigadores especializados en aspectos moleculares, fisiológicos o etológicos de organismos y comunidades acuáticas, cuyos trabajos incluyen además el registro de las condiciones del medio donde éstos son colectados.

Asimismo, es cada vez más importante el tratamiento de temas ambientales en la Enseñanza Secundaria, generalmente complementado con trabajos prácticos que requieren de métodos sencillos, claramente detallados y fundamentados, pero difícilmente disponibles.

Organismos públicos a cargo del manejo y control ambiental de los ecosistemas acuáticos, encontrarán en los diversos capítulos una guía práctica para aplicar métodos de monitoreo. Entre las tareas de extensión a la comunidad que los autores del libro han desarrollado en su accionar universitario, se ha procurado asesorar y transferir la metodología antes que efectuar directamente los estudios. Organizaciones no gubernamentales y otros grupos sociales, pero también aficionados y público en general, interesados en conocer y preservar ciertos ambientes acuáticos, nos han solicitado información sobre aspectos relacionados a la calidad del agua y sobre las técnicas para su evaluación. Estos protagonistas dispondrán de un compendio con tal información en la presente edición.

Debido a que el libro sólo trata sobre técnicas de campo y laboratorio, creímos necesario incluir un primer capítulo a modo de advertencia sobre la totalidad de las fases que componen una investigación, desde la selección de un tema de trabajo hasta la comunicación de los resultados obtenidos. Nuestra intención es que el lector pueda inscribir las técnicas específicas en un contexto más amplio, seleccionándolas de acuerdo a su objetivo particular, y con el fin último de dar a conocer sus resultados.

El resto del libro sigue un ordenamiento clásico, comenzando por los aspectos físicos de los sistemas acuáticos (capítulos 2 al 5), luego los químicos (7 al 11) y por último el análisis de las distintas comunidades de organismos (12 al 19). El capítulo 6 está destinado al estudio de los sedimentos como parte activa del medio acuático, mientras que en el capítulo 20 se los analiza como registro histórico del mismo.

Todos los capítulos se inician con una breve introducción que incluye la definición, explicación e importancia del tema. Sigue una organización jerárquica, en la que en general los subcapítulos corresponden a diferentes parámetros o grupos de parámetros similares. Cada tema es abordado por un especialista cuyo estilo se ha respetado, lo que necesariamente condujo a cierta heterogeneidad en la presentación de los capítulos.

Al final de cada capítulo se incluye, como corolario de los aspectos más técnicos, una sección destinada a presentar algunos resultados de trabajos limnológicos llevados a cabo en Uruguay. De esta forma, se pretende por un lado dar a conocer datos que puedan servir de referencia a los lectores, y por otro ilustrar sobre las diversas maneras de presentar resultados mediante listas, tablas y gráficas.

Con el presente texto, nuestro objetivo es introducir a un amplio rango de potenciales actores de la problemática ambiental, en la fascinante complejidad de los aspectos más aplicados de la Limnología. Es de esperar que este aporte contribuya a la toma de conciencia sobre la urgente necesidad de un uso racional del entorno en que vivimos, tarea para lo cual resulta indispensable la comprensión de su funcionamiento sobre bases científicas ciertas.

*Rafael Arocena y Daniel Conde*

## **TEXTO DE CONTRATAPA**

Si bien en Uruguay los recursos de agua dulce son relativamente abundantes y están bien distribuidos, el aumento de su consumo y deterioro a nivel mundial ha alertado a investigadores y autoridades acerca de la necesidad de su conservación. Para este objetivo resulta indispensable comprender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos naturales sobre bases científicas ciertas, tarea objeto de la Limnología.

La diversidad de enfoques que admite la Ecología, y en particular la acuática, hace que estudiantes e investigadores con diferente formación e intereses precisen de una guía de métodos frecuentes en la disciplina. Responsables del manejo y control de los cuerpos de agua, organizaciones no gubernamentales y grupos sociales interesados en conocer y preservar el medio acuático, encontrarán en este libro la información necesaria para abordar el tema. De manera sistemática se explican y detallan técnicas de campo y laboratorio que permiten conocer los aspectos físicos y químicos de lagos y ríos, analizar las diversas comunidades de organismos y su relación con el medio.

Los autores son investigadores de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República, y exponen aquí sus métodos de investigación aportando, además, resultados de trabajos efectuados en ambientes acuáticos de Uruguay. RAFAEL AROCENA y DANIEL CONDE, autores de varios capítulos, además de editores de este libro, son biólogos formados en la Facultad de Ciencias y en la actualidad están a cargo de la dirección de la Sección Limnología de dicha institución.