

## PROPUESTA DE MATERIA OPTATIVA PARA EL AREA DE ECOLOGIA

### TITULO: ECOLOGIA ACUATICA APLICADA

MODALIDAD DE DICTADO: SEMESTRAL, CON CLASES TEORICO-PRACTICO CON PROMOCION SIN EXAMEN. DURACION APROXIMADA 75 HS, CON DOS CLASES SEMANALES DE 4 HS. SEMESTRE PROPUESTO SEGUNDO.

#### Introducción

La importancia de los nutrientes (principalmente Nitrógeno y Fósforo) en los cuerpos de agua(lagos, lagunas, ríos, arroyos, embalses) como sostén y parte fundamental de la estructura y funcionamiento de estos sistemas naturales, así como su relación con ecosistemas terrestres circundantes y el uso que realiza el hombre de la tierra, destacan la necesidad de su estudio dentro del ámbito de la Ecología.

Son innumerables los trabajos realizados en relación a los nutrientes: a) en sistemas terrestres, como ciclos en bosques, selvas y pastizales, su importancia relativa en los distintos compartimientos, como el suelo, los organismos y los detritos; b) en ecosistemas acuáticos, como su distribución espacial y temporal, su acumulación en los sedimentos, su relación con los cambios en la producción primaria, su importancia como efecto antrópico (eutrofización), y sus cambios en los sedimentos acumulados en relación al tiempo.

Es importante destacar la importancia del estudio de nutrientes como integrador entre ecosistemas terrestres y acuáticos, pues en muchos casos la escala de estudio es la cuenca, con estimaciones de sus entradas y salidas de los ecosistemas, los efectos del uso de la tierra sobre el grado de trofismo de los cuerpos de agua y su importancia como factores limitantes o como causantes de stress. Así mismo su estudio implica un conocimiento importante de condiciones físicas, (relieve, ciclos hidrológicos, condiciones climáticas, características químicas de las rocas de la cuenca), como también diferencias en el uso de la tierra, (agricultura extensiva o intensiva, uso urbano, industrial, presencia de grandes obras de infraestructura, etc).

Los nutrientes presentan en los ecosistemas un gran dinamismo con cambios importantes en el espacio y en el tiempo, con diferentes formas de acuerdo a distintas condiciones físicas, químicas, (en suelos, en sedimentos en suspensión o depositados, disueltos en el agua o relacionados a particuladas), o biológicas (en organismos vivos o muertos) y en los diferentes estados de mineralización de la materia. El nitrógeno y el fósforo varían su forma química de acuerdo a condiciones de temperatura, pH, de oxidación o reducción, actividad biológica e incluso por efecto de la luz. Esto implica su presencia en distintas formas y especies químicas, como orgánico, inorgánico, total, particulado, disuelto, etc.

Los cuerpos de aguas continentales son receptores últimos de los cambios producidos en la cuenca por la actividad humana y a su vez sufren un progresivo deterioro en sus características funcionales y estructurales debido al impacto antrópico.

Gran parte de los efectos producidos por el hombre en su actividad afecta directamente a los ciclos de nutrientes en los cuerpos de aguas y sus cuencas, y su estudio permite en muchos casos conocer el origen de los disturbios y sus correctivos.

A pesar del amplio conocimiento alcanzado en el estudio de nutrientes es muy extenso pero aún quedan áreas muy importantes que solo se conocen en parte, como por ejemplo la formación de complejos con la materia orgánica, su relación con metales, sus cambios de forma relacionados con la luz, los ciclos a través de los organismos.

En Ecología Acuática y en Ecología General, este tema es importante por su carácter integrador, así como apasionante para su estudio. Por otra parte las escasas investigaciones en nuestro país, nos plantean la inquietud de proponer el dictado de esta materia. Destacamos que este tema es de nuestro directo interés, ya que sobre él estamos trabajando actualmente y hemos realizado diferentes contribuciones (ver bibliografía). Además el dictado de esta materia nos entusiasma porque nos brindaría la posibilidad de volcar todas nuestras experiencias sobre el tema a los alumnos de esta Facultad.

El dictado de la asignatura incluye la experimentación en campo y laboratorio, determinación de nutrientes en agua, sedimentos y organismos, simulación del proceso de eutrofización. Estimación de productividad primaria en macrofitas y microfitas acuáticas. Ejemplo de casos: de efectos del uso de la tierra y su impacto sobre los cuerpos de agua; estudios de grandes ríos de cuencas sudamericanas; ejemplos de Evaluación de Impacto Ecológico de la construcción de grandes obras de infraestructura.

#### **PROGRAMA DE CLASES TEORICAS DURACION 50 HS**

##### **A. Introducción**

###### **Tema 1**

Ecología Acuática y Ecología. Los cuerpos de agua continentales. Naturales y artificiales. Principales características físicas y biológicas. Cambios en el tiempo y en el espacio. El concepto de cuenca hidrológica. Principales usos y efectos antropogénicos en los cuerpos de agua continentales.

##### **B. Los ciclos de nutrientes en el medio acuático.**

###### **Tema 2**

Ciclo del Carbono. El ciclo del Carbono en los cuerpos de agua continentales. Producción primaria en el medio acuático. Microfitas y Macrofitas. Factores que afectan la producción

primarias: luz, temperatura, nutrientes, turbulencia, competencia. Formas de Carbono orgánico e inorgánico. Descomposición. Acumulación. Métodos de determinación de Carbono. Métodos de estimación de la producción primaria: directos e indirectos.

#### Tema 3

Ciclo del Nitrógeno. El ciclo del Nitrógeno en los cuerpos de agua. Principales formas y transformaciones. Asimilación. Fijación biológica. Mineralización. Amonificación. Nitrificación. Denitrificación. Formas de Nitrógeno en agua, sedimentos y organismos. Aporte de la cuenca. Aporte de la lluvia. Concentración de N en el agua de lluvia. Factores que la condicionan. Relaciones con los ecosistemas terrestres. Geología. Clima. Vegetación. Transporte por los ríos. Tasa de exportación. Variabilidad geográfica. Balance. Métodos de determinación en agua, sedimentos y organismos. Aporte de la lluvia.....

#### Tema 4

Ciclo del Fósforo. Principales rocas que lo contienen. El ciclo del Fósforo en los cuerpos de agua. Principales formas de Fósforo, orgánicas e inorgánicas. Especies de P en agua, sedimentos en suspensión, sedimentos y suelos. Influencia de los cambios de pH y potencial redox sobre los compuestos de P. Transporte horizontal y vertical. Formas de P y tamaño de las partículas. Formación de Complejos. Adsorción. Ligamiento. Liberación. Importancia de los períodos de estratificación y mezcla. Lagos alcalinos y lagos férricos. Formas de P utilizadas por los organismos. Asimilación. Descomposición. El registro histórico de la acumulación de P en los sedimentos. Balance hidrológico y balance de P. Métodos de determinación de P en agua, sedimentos y organismos. Toma de muestras y fraccionamiento.

#### Tema 5

Ciclo del Silicio. Principales rocas que lo contienen. El ciclo del Si en los cuerpos de agua. Principales formas. Lagos de cuencas "silicias". Lagos de cuencas "calcáreas". Transporte y acumulación. El Si como nutriente para Diatomeas. Principales características biológicas y ecológicas de las diatomeas. Métodos de determinación de Si en agua y sedimentos.

### C. La actividad humana y los ciclos de nutrientes.

#### Tema 6

Actividad industrial: Aportes a la atmósfera. Lluvia acida. El pH como indicador de contaminación. Descargas en cuerpos de agua. Aumento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Metales pesados: acumulación y transformaciones, concentraciones en el litoral bonaerense. Efectos tóxicos. Aporte de sales biogénicas. Actividad agropecuarias: Aumento de la DEO. Agroquímicos. Fuentes puntuales y dispersas. Aporte de partículas. Deforestación y erosión. Desarrollo urbano y obras de infraestructura: Efluentes

cloacales y pluviales. Cambios en el drenaje. Usos múltiples de cuerpos de agua. Recreación. Generación de energía. Pesca. Efectos sobre los ciclos de nutrientes y estado trófico.

#### Tema 7

Eutrofización. Grado de trofismo de un cuerpo de agua. Eutrofización natural y antrópica. El proceso de Eutrofización en el pasado. La eutrofización como ejemplo de stress. Factores que la determinan: tiempo de residencia del agua, profundidad media, carga de N y P. Modelos de Eutrofización: Vollenweider, Jorgensen, OECD. Medidas preventivas de la eutrofización. Reversibilidad. Opciones de manejo. Estudio de casos: el lago Washington.

#### Tema 8

Gestión ambiental para la conservación de los cuerpos de agua. Usos del suelo. Manejo de Cuenca. Tratamiento de efluentes. Impacto ambiental e Impacto Ecológico. Métodos de estudio, evaluación y monitoreo.

Estudio de casos:

1) Evaluación de Impacto Ecológico de la unión física entre las ciudades de Rosario y Victoria sobre el río Paraná.

2) estudio comparativo del transporte de N y P en los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo en función de las principales características de sus cuencas. Efecto de las represas en el Alto Paraná. Importancia del valle aluvial. Utilización del registro histórico de los sedimentos (P y diatomeas) como testigo en los cambios hidrológicos y de uso de la tierra en la cuenca.

3) balance de N en arrozales del delta del Ródano (Francia). Aporte del agua de riego. Aportes de fertilizante. Denitrificación. Cambios en el suelo y la biomasa. Influencia en el balance regional. Estudio comparativo con arrozales de Argentina. Balance de N en ambas modalidades de producción y su impacto sobre los cuerpos de agua circundante.

#### BIBLIOGRAFIA

ARMENGOL, J., CRESPO, M., J. A. MURGUI & A. VIDAL. 1986. Phosphorus budget and forms of phosphorus in the Sau reservoir sediments: an interpretation of the limnological records. *Hydrobiologia* 143: 331-336.

ARMENGOL, J., CATALAN, J., GABELLONE, N., JAUME, D., de MANUEL, J., MARTI, E., MURGUI, J. A., NOLLA, J., PENUELAS, J., REAL, M., RIERA, J., L., SABATER, S., SABATER, F., & TOJA, J. 1990. A comparative Limnological study of the Guadalhorce Reservoir system (Málaga, SE. Spain). *Scientia Gerundensis* 16(2):27-41.

- BONETTO, C., A. y A. A. BONETTO y Y. ZALOCAR. 1981. Contribución al conocimiento limnológico del río Paraguay en su tramo inferior. *Ecosur* 8(16):55-68.
- BONETTO, C., A. y Y. ZALOCAR y E. R. VALLEJOS. 1983. Fitoplancton y producción primaria del Alto Paraná. *Physis, Sec. B,* 41(101):81-93.
- BONETTO, C., A. 1983. Fitoplancton y producción primaria del Paraná Medio. *Ecosur* 10(19-20):79-102.
- BONETTO, C., A.; Y. ZALOCAR H. LANCELINE. 1984. A limnological study of an oxbowlake covered by *Eichhornia crassipes* in the Paraná River. *Ver. Int. Verein. Limnol.* 22:1315-1319.
- BONETTO, C.; F. MINZONI y H. L. GOLTERMAN. 1988. The nitrogen cycle in shallow water sediment systems of rice fields. Part II: Fractionation and bio-availability of organic nitrogen compounds. *Hydrobiologia* 159:203-210.
- BONETTO, C. y A. CARCANO. 1987/88. Factores asociados a la fertilización nitrogenada en los arrozales y su influencia en la producción. *Ecosur* 14/15(25/26):81-92.
- BONETTO, C.; Y. ZALOCAR, D. PLANA y F. PEDROZO. 1991. Responses of phytoplankton to experimental nutrient enrichment in the Bermejo, Paraguay and Paraná Rivers. *Tropical Ecology* 32(1):47-64.
- BONETTO, C.; A. CARCANO y A. PARMA. 1991. Utilización de la *Azolla* como fertilizante nitrogenado en el cultivo de arroz. *Biología Acuática No* 15(2):160-161.
- BONETTO, C.; N. GABELLONE, y D. POIRE. 1994. Phosphorus fractionation of suspended matter from the Paraná and Bermejo Rivers. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25:1878-1882.
- BONETTO, C. A. DE CABO, L. y GABELLONE, N. A. y VINOCUR, A. y DONDELLII, J. & UNREIN, F. Nutrients dynamics in the delta floodplain of the Lower Paraná River. *Archiv. Hydrobiol.* 131(3): 277-295.

- CARTIGNAN, R. y J. NEIFF. 1993. Nutrient dynamics in floodplain ponds of the Paraná River (Argentina). *Biogeochemistry*. En prensa.
- CURTIS, P.; B. DRAKE y D. WHIGHAM. 1989. Nitrogen and carbon dynamics in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> estuarine marsh plants grown under elevated CO<sub>2</sub> in situ. *Oecologia* 78: 297-301.
- DILLON, P. y W. KIRCHNER. 1975. The effect of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds. *Water Res.* 9: 3-17.
- EDMONSON, L. y J. LEHMAN. 1981. The effect of changes in the nutrient income on the condition of Lake Washington. *Limnol. & Oceanogr.* 26(1):1-29.
- GABELLONE, N. A., & C. GUISANDE. 1989. Relationship between texture and fractions of inorganic phosphorus in the surface sediment of a reservoir. *Aquatic Sciences* 51(4):1-12.
- GABELLONE, N. A. & BONETTO, C. 1992. Fraccionamiento del Fósforo en sólidos suspendidos de los ríos Paraná y Bermejo. *Biología acuática*. 15:70-71.
- GABELLONE, N. A., GUISANDE ., & TOJA, J. Phosphorus model to estimate fractions of inorganic phosphorus in sediments of water bodies. *Verh. int. Ver. Limnol.* 25:180-182.
- GABELLONE, N. A., BONETTO, A & C. FERNANDEZ. 1994 Registro histórico de los sedimentos de una laguna asociada al río Paraná. *Tankay* 1:347-349
- GABELLONE, N. A. & T. LOPEZ,. Recent accumulation of Phosphorus forms in two peridunar ponds. *J. Paleolimnol.* (en revisión).
- GIBBS, R. 1972. water chemistry of the Amazon river. *Geochem Cosmochim. Acta*, 36: 1061-1066.
- GOLTERMAN, H. 1973. Natural phosphate sources in relation to phosphate budgets: a contribution to understanding eutrophication. *Water Res.* 7: 3-17.
- GOLTERMAN, H., L., C. BONETTO y F. MINZONI. 1988. The nitrogen cycle in shallow water sediment systems of rice fields. Part III: The influence of N-application on the yield of rice. *Hydrobiologia* 159:211-217.
- HAMILTON, S. y W. LEWIS. 1987. Causes of seasonality in the chemistry of a lake on the Orinoco River floodplain. *Limnol. Oceanogr.* 32: 1277-1290.

- HOLLEMAN, J. 1968. The sediment yield of major rivers of the world. *Water Research*, 4(4): 737-746.
- LEWIS, W. 1986. Nitrogen and phosphorus runoff losses from a nutrient poor tropical moist forest. *Ecology* 67: 1275-1282.
- LOPEZ, T., J. TOJA & N. A. GABELLONE. 1991. Limnological comparison between two peridunal ponds in the Doñana National Park (SW Spain). *Archiv. Hydrobiol.* 120(3):357-378.
- LIKENS, G. y BORMAN F. 1975. An experimental approach to New England landscapes. En: Hasler (Ed.) Coupling land and water systems. Springer Verlag. N.Y. 7-30.
- LOPEZ, T., GABELLONE, N., A., JAUREGUI, J. & TOJA, J. Paleolimnological studies at Santa Olalla and Dulce ponds in Doñana National Park (Spain). Libro sobre Ecología y Gestión del litoral. (en prensa).
- MARIAZZI, A. y J. DONADELLI, P. ARENAS, DI SIERVI y C. BONETTO. 1992. Impact of a Nuclear Power Plant on water quality of Embalse del Rio Tercero Reservoir (Córdoba, Argentina). *Hidrobiologia* 246: 129-140.
- MARIAZZI, A. y A. DIPPOLITO, P. BATISTONE, DI SIERVI, and C. BONETTO. 1993. Effect of a nuclear Power Plant on Embalse del Rio Tercero Reservoir. A long term survey. 144-147. En: Giussani & Callieri (Eds.), *Strategies for lake ecosystems beyond 2000*. Stresa, Italia. 598 pp.
- MINZONI, F. y C. BONETTO y H. L. GOLTERMAN. 1988. The nitrogen cycle in shallow water sediment systems of rice fields. Part I: The denitrification process. *Hydrobiologia* 159:189-202.
- MEYBECK, M. 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Am. Jour. Sci.* 282: 401-450.
- PEDROZO, F. L.; C. A. BONETTO, A. O. RAMOS y F. MINZONI. 1986. Fijación de fósforo en sedimentos de fondo de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo. *Ecosur* 12/13(23-24):59-68.
- PEDROZO, F. L. y C. A. BONETTO. 1986. Concentración de nitrógeno y fósforo en el agua de lluvia de Corrientes (Argentina). *Ecosur* 12/13(23-24):101-110.

- PEDROZO, F., L. y C. A. BONETTO. 1987. Nitrogen and phosphorus transport in the Bermejo River (South America). *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* 20(2):91-99.
- PEDROZO, F., L. y C. A. BONETTO y Y. ZALOCAR. 1988. A comparative study of phosphorus and nitrogen transport in the Paraná, Paraguay and Bermejo Rivers. *Monografia em Limnologia Vol. 1. Simposio: Limnologia e Manejo de Represas*:91-117.
- PEDROZO, F., L. y C. A. BONETTO. 1989. Influence of river regulation on nitrogen and phosphorus mass transport in a Large South American River. *Regulated Rivers, Research and Management* 4:59-70.
- PEDROZO, F. y C. BONETTO. 1991. Nitrogen and phosphorus in the Chaco Plain waterbodies. *Medio Ambiente* 11(2): 96-106.
- PEDROZO, F. y M. DIAZ y C. BONETTO. 1992. Nitrogen and phosphorus in the Paraná River floodplain waterbodies. *Archiv. fur Hydrobiologie/Suppl.* 90 (Monographische Beiträge) 2:171-181.
- PSENNER, B., BOSTROM, M., DINKA, K., PETTERSSON, R., PUJKO & M. SAGER. 1988. Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediment. *Arch. Hidrobiol. Beih.* 30:98-112.
- REDDY, K. y W. PATRICK y C. LINDAU. 1989. Nitrification-denitrification at the plant root-sediment interface in wetlands. *Limnol. Oceanogr.* 34: 1004-1013.
- SIOLI, H. 1984. The Amazon's limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. *Junk*. The Hague.
- STUM, W. y J. MORGAN. 1970. Aquatic chemistry. Wiley, N.Y. 583 pp.
- TOJA, J., T. LOPEZ & N. A. GABELLONE. 1991. Successional changes in two peridunal ponds (Doñana National Park). *Verh. int. Ver. Limnol.* 24:1556-1559.
- TOJA, JULIA, LOPEZ, T. & GABELLONE, N. Limnology of the permanent peridunal ponds in Doñana National Park (Spain). Libro sobre Ecología y Gestión del Litoral. (en prensa).
- VALIELA, I. y J. TEAL. 1979. The nitrogen budget of a salt marsh ecosystem. *Nature*, 280: 652-656.

- VOLLENWEIDER, R. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33: 53-83.
- VOLLENWEIDER, R. 1971. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. *OECD*, Paris. 61 pp.
- WEIBEZAHN, F., H. ALVAREZ y W. LEWIS. 1990. The Orinoco river as an ecosystem. Impresos Rubel. Caracas, Venezuela.
- WILLIAM, J., P. JAQUET y F. THOMAS. 1976. Forms of Phosphorus in the Superficial Sediments of Lake Erie. *J. Fish. Board Can.* 33: 413-429.
- WETZEL. 1975. Limnology. Saunders. Toronto. 742 pp.
- ZALOCAR y C. A. BONETTO y H. G. LANCELLA. 1982. Algunos aspectos limnológicos de la laguna Herradura (Formosa, Argentina). *Ecosur* 9(18):171-188.

#### PROPIUESTA DE TRABAJOS PRACTICOS DURACION 25 HS

##### INTRODUCCION

En años recientes, se ha observado en la literatura especializada un creciente interés por el estudio del papel de los sedimentos en su relación con los ciclos de los nutrientes y su importancia en los procesos de eutroficación cultural de los cuerpos de agua continentales.

Schindler y Nighswander (1970) calcularon el balance iónico de un lago oligotrófico del noreste de Canadá (lago Clear), concluyendo que sólo el 20 % del fósforo y el 2 % del nitrógeno que ingresan al lago abandonan el mismo con el efluente. Tal resultado parece ser de ocurrencia general y representaría una característica común a los ambientes léníticos continentales (Vollenweider, 1971).

Gran parte del fósforo que ingresa a un lago es retenido en sus sedimentos; una fracción del mismo sedimentaria como materia orgánica particulada, otra parte sería adsorbida a las partículas de arcilla y otra precipitaría con coloides de hierro (Golterman, 1980a). La relación entre las concentraciones de fosfato disueltas en el agua y la cantidad adsorbida al sedimento obedecería, en términos generales, a una reacción de equilibrio:

$$[P_{ads}] = K [P_{diss}]^n$$

con K y V menores que 1 (Golterman, 1980b).

Un cuerpo de agua sujeto a eutroficación cultural recibe una carga creciente de nutrientes de su cuenca de captación. A su vez, conforme se deduce de la reacción de equilibrio, una cantidad cada vez mayor es retenida por el sedimento. De este modo, los sedimentos constituyen un factor moderador que actúa como un buffer que, al secuestrar parte del fósforo ingresado, disminuye la disponibilidad de dicho elemento para su utilización por el fitoplancton.

En lagos eutróficos suele desarrollarse un estrato anóxico sobre el fondo, produciéndose una repentina liberación de fosfatos de los sedimentos. Tal proceso se debería a la reducción del hierro, de férreo a ferroso (Mortimer, 1941, 1942, 1971), en una reacción que podría describirse como:



El repentino incremento en la concentración de fósforo redundaría generalmente en un aumento en la densidad de población del fitoplancton, produciéndose -en muchos casos- floraciones masivas de algas, con el consiguiente perjuicio en la calidad del agua.

Los procesos que regulan el intercambio iónico en la interfase agua-sedimento resultan así de relevante importancia económica. En muchos lagos hipereutróficos, donde el principal contaminante fue disminuido drásticamente debido a la implementación de costosos sistemas de tratamiento de residuos cloacales e industriales, no se observó una rápida mejoría en la calidad de sus aguas debido a la liberación de grandes cantidades de fósforo desde los sedimentos, que se habían enriquecido de dicho elemento durante largos períodos.

Ryding y Forsberg (1977) constataron en el lago Ryssbysjön (Suecia) que después de iniciado un programa de tratamiento de efluentes en 1973-1974 (reduciéndose a cero el aporte humano de contaminantes), la liberación de fósforo desde los sedimentos (carga interna) resultó de 1,65 g P/m<sup>2</sup>/año. Este valor fue muy superior al ingreso total de fósforo desde la cuenca (carga externa), que gracias al programa de saneamiento había sido reducido a 0,44 g P/m<sup>2</sup>/año, impidiendo la rápida recuperación del lago. En el lago Shagawa (Minnesota, USA) se redujo la carga externa de fósforo en un 80 % después de realizar en 1973 un complejo programa de tratamiento de residuos cloacales. Según Larsen et al. (1981), si no existiera la carga interna, el lago hubiese tenido que llegar a un nuevo estado de equilibrio en dieciocho meses, con una concentración media de 12-14 µg P-PO<sub>4</sub>/l. No obstante, en 1977-1978 la concentración media de fósforo resultó de 30 µg P-PO<sub>4</sub>/l debido a la liberación de fósforo por los sedimentos, aún cinco años después de iniciado el programa.

En la tabla 1 se registran algunas estimaciones sobre la liberación de fósforo en lagos con hipolimnion anóxico.

Lago	mg P-PO <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /día	Fuente
Baldeggersee (Suiza)	9,7	Vollenweider (1968)
Sammamish (Washington, USA)	3-4	Welch (1977)

Erie (Canadá, USA)	7,4	Burns y Ross (1972)
Mendota (Wisconsin, USA)	7,2-10,8	Sonzogni (1974)
Twin (Ohio, USA)	2,2-9,9	Cooke et al. (1977)
Norvikken (Noruega)	2-9	Ahlgren (1977)

TABLA 1. Tasas de liberación de fósforo de sedimentos de algunos lagos eutróficos.

En lo que respecta al nitrógeno, los balances de masa resultan más complicados, debido a la necesidad de cuantificar no sólo su flujo a y desde los sedimentos, sino también el nitrógeno que se pierde del lago por denitrificación y el que es incorporado por fijación biológica.

La materia orgánica particulada que se acumula en el fondo es mineralizada por la flora microbiana con la consecuente liberación de amonio. Si en la columna de agua el tenor de oxígeno disuelto es elevado, el amonio será oxidado a nitrato por las bacterias autótrofas aerobias, de las cuales *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* son las más importantes. En aguas con escaso tenor de oxígeno disuelto el proceso dominante será el de denitrificación. En dicho proceso, el nitrato sirve como acceptor de electrones para la oxidación anaeróbica de materia orgánica, perdiéndose del sistema como nitrógeno gaseoso. Experiencias realizadas con *N. s* demostraron que en anaerobiosis el nitrato es reducido a nitrógeno gaseoso sin detectarse formación de amoniaco (Goering y Dugdale, 1966). Otros autores (Koike y Hattori, 1978a, b), en cambio, sugieren que en algunos ambientes la producción de amonio a partir de nitrato es significativa. De tal modo, el balance neto de nitrógeno de un ambiente sometido a períodos sucesivos en que priven condiciones reductoras y oxidantes será la pérdida de nitrógeno molecular, porque en los períodos de condiciones oxidantes el amonio será oxidado a nitrato y en los reductores el nitrato será reducido a nitrógeno gaseoso que es liberado a la atmósfera. Tal es el caso del lago estudiado por Goering y Dugdale (1966a) en Alaska, donde en invierno, en que la superficie está cubierta por hielo, y en el verano, durante la estratificación térmica, en el hipolimnion se registran condiciones reductoras.

#### OBJETIVO

La realización del trabajo práctico propuesto tiene por objeto familiarizar al estudiante con las técnicas de determinación de nutrientes, a la vez que estimular la discusión de los datos experimentales obtenidos y la interpretación de los mismos en función del conocimiento del ciclo de los nutrientes. También intenta fomentar en los futuros profesionales el interés por el estudio del fundamento científico de la eutrofificación cultural de los cuerpos de agua y la evaluación de las distintas posibilidades de manejo que tienen los lagos y sus cuencas.

El presente trabajo práctico puede ser llevado a cabo con diferentes grados de detalle y complejidad. En vista de ello, se describen primeramente las técnicas y procedimientos necesarios para la parte fundamental del mismo ("Trabajo práctico básico") y

a continuación algunas alternativas y agregados que servirán para ampliar el espectro básico ("Trabajos complementarios").

## **DESARROLLO**

### **TRABAJO PRACTICO BASICO**

Se deben traer muestras de sedimentos con el agua sobrenadante, de uno o más ambientes, e incubarlas en acuarios con el agregado de nitrógeno y fósforo. Los acuarios pueden diferir en la forma y capacidad, con la única limitación de ser suficientemente grandes como para permitir tomar varias muestras sin reducir en forma sustancial el volumen de los mismos. Peceras de 60 x 30 x 30 cm cumplen holgadamente dicho requerimiento. El estrato de sedimentos deberá tener un espesor aproximado de 5-7 cm y será colocado sin mediar tratamiento previo alguno, o a lo sumo un tamizado grueso para separar restos vegetales de gran tamaño. Se tomarán cuatro peceras; tres de ellas contendrán sedimento + agua y la cuarta sólo agua. De las primeras, una será expuesta a la luz y las dos restantes mantenidas en oscuridad. De estas últimas, una será agitada periódicamente removiendo el sedimento cada 2 ó 3 días. Se incorporará a todas las peceras una cantidad tal de nitrógeno, en forma de  $\text{ClNH}_4$ , y de fósforo, en forma de  $\text{PO}_4\text{HK}_2$ , que lleve la concentración inicial de estos elementos a 5 mg/l. Se deberá preparar una solución concentrada de cada una y calcular, de acuerdo al volumen de la pecera, la cantidad que se debe incorporar a las mismas para que la concentración resultante del agua sea del orden de los 5 mg/l.

Deberán realizarse determinaciones de la concentración de  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_3$  que tiene el agua originariamente y otras inmediatamente de incorporadas las soluciones concentradas.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo en nuestras aguas continentales presentan un rango de variación muy extendido.

El grupo de trabajo se dividirá en subgrupos de dos o tres participantes, quienes tendrán a su cargo realizar determinaciones periódicas de  $\text{N-NO}_3$ ,  $\text{N-NH}_3$  y  $\text{P-PO}_4$ . Al comenzar el experimento será aconsejable llevar a cabo las determinaciones cada dos días, ajustando la frecuencia de muestreo a los cambios observados. Se continuarán las determinaciones hasta que la concentración de  $\text{N-NO}_3$ ,  $\text{N-NH}_3$  y  $\text{P-PO}_4$  lleguen a un *plateau*. Según el tipo de sedimentos, alguno de los elementos antedichos puede desaparecer rápidamente de la solución. En ese caso se procederá a una o más incorporaciones adicionales del elemento, hasta observar un cambio gradual en la concentración que tienda a un estado de equilibrio. Se deberá realizar también una estimación gruesa del desarrollo del fitoplancton, la que puede ser sólo semicuantitativa. Al respecto pueden hacerse determinaciones de clorofila, recuentos celulares, o bien simplemente medir la turbiedad del agua a 670 nm, en un colorímetro o espectrofotómetro, con igual periodicidad que las determinaciones químicas.

Es conveniente que los sedimentos provengan de un lago del cual se tenga algún conocimiento limnológico, aunque más no sea

por un análisis preliminar sumario, de tal modo que permita relacionar los cambios observados en los acuarios con el nivel trófico del lago.

#### **TRABAJOS COMPLEMENTARIOS**

Según la infraestructura con que se cuente, se pueden incorporar otras determinaciones. Si se tiene la oportunidad de dosar el tenor de oxígeno disuelto se aporta información de interés, ya que los procesos descriptos dependen del potencial de óxido-reducción del agua. El desarrollo de un estrato anaeróbico en los sedimentos es fácilmente perceptible por la aparición de una capa oscura, casi negra, diferenciable a simple vista, originada como resultante de la reducción del hierro de ión férrico a ferroso y del sulfato presente a sulfídrico, los cuales reaccionan entre sí precipitando en forma de  $\text{FeS}_2$ , muy poco soluble.

También puede resultar de interés comparar los resultados obtenidos con sedimentos traídos de dos lagos de niveles tróficos contrastantes, o de características mineralógicas, granulométricas y/o contenidos de materia orgánica distintos, tal como resultaría de tomar muestras de un lago en la zona de máxima profundidad y en la zona litoral.

Si se dispone de recipientes cilíndricos (e.g., tubos de acrílico) podrán observarse, además, los gradientes químicos producidos por los sedimentos.

El resultado de las incubaciones en los acuarios permite apreciar que gran parte de los nutrientes que llegan a la laguna son retenidos por el sedimento que actúa retardando la tendencia humana al aumento del grado de trofismo de la misma. Si bien todavía poseen una elevada capacidad de fijación, si no se regula el uso de fertilizantes y abonos en la cuenca, en algún momento se saturará su posibilidad de retención, produciéndose un rápido empeoramiento de la calidad de sus aguas.

#### **TABULACION, GRAFICACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

Una vez finalizado el experimento, se reunirán los equipos consignando la información producida por cada uno de ellos, para discutir en conjunto los resultados obtenidos en relación a los elementos resumidos en las líneas precedentes, la bibliografía consultada y sus conocimientos sobre el ciclo del nitrógeno y del fósforo.

Los participantes deberán discutir el efecto predecible sobre el lago, resultante de la aplicación de políticas de manejo alternativas tales como, por ejemplo, de incrementar la carga de nutrientes por aumento del uso de fertilizantes en la cuenca, o disminución en la carga de nutrientes debido a una hipotética instalación de plantas de tratamiento de efluentes.

## BIBLIOGRAFIA

- AHLGREN, I., 1977. Role of sediments in the process of recovery of a eutrophicated lake, pp. 372-377. En Golterman, H. L. (ed.) *Interactions between sediments and freshwater*. Junk, La Haya.
- ASHTON, N., 1981. Nitrogen fixation and the nitrogen budget of a eutrophic in poundment. *Water Res.* 15: 823-833.
- BJORK, S., 1972. Swedish lake restoration program gets results. *Ambio* 1: 153-165.
- BONETTO, C. A., 1982. Producción primaria del fitoplancton, concentración de pigmentos, materia orgánica y nutrientes, en la caracterización limnológica de los cuerpos de agua regionales del noreste argentino. *Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA*, 185 pp.
- BURNS, N. y G. ROSS, 1972. Oxygen-nutrient relationships within the central basin of lake Erie, pp. 193-251. En Allen, H. y J. Kramer (eds.) *Nutrients in natural waters*. Wiley, Nueva York.
- CARO, P. M., C. A. BONETTO y Y. ZALOCAR, 1979. Producción primaria del fitoplancton de lagunas del noroeste de la provincia de Corrientes. *Ecosur* 6 (11): 83-100.
- CAVERT, N., 1977. Nitrification potential and factors governing the rate of nitrification in lake Kinneret. *Oikos* 28: 285-290.
- CAVERT, N. y J. PHELPS, 1977. Denitrification in lake Kinneret in the presence of oxygen. *Freshwater Biol.* 7: 385-391.
- COOKE, G., W. WALLER y H. KENNEDY, 1977. The occurrence of internal phosphorus loading in two small eutrophic, glacial lakes in northeastern Ohio. *Hydrobiologia* 56: 29-35.
- GOERING, N. y H. DUDGALE, 1966a. Denitrification rates in a subarctic lake. *Limnol. Oceanogr.* 11 (1): 113-117.
- 1966b. Denitrification rates in an island Bay in the Equatorial Pacific Ocean. *Science* 154: 505-506.

- GOLTERMAN, H., L., 1980a. Quantifying the eutrophication process: difficulties caused, for example, by sediments. *Progr. Nat. Techn.* 12: 63-80.
- 1980b. Phosphate models, a gap to bridge. *Hydrobiologia* 72: 61-71.
- KOIKE, T., Y. A., HATTORI, 1978a. Denitrification and ammonia formation in marine coastal sediments. *App. Environm. Microbiol.* 35 (2): 278-282.
- 1978b. Simultaneous determinations of nitrification and nitrate reduction in coastal sediments by a <sup>15</sup>N dilution technique. *App. Environm. Microbiol.* 35 (5): 853-857.
- LARSEN, D., W., SCHULTS, Y. K., MALUEG, 1981. Summer internal phosphorus supplies in Shagawa Lake, Minnesota. *Limnol. Oceanogr.* 26 (4): 740-754.
- MORTIMER, C., H., 1941. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. *J. Ecol.* 29: 280-329.
- 1942. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. *J. Ecol.* 30: 147-201.
- 1971. Chemical exchange between sediments and water in the Great Lakes. Speculations on probable regulatory mechanisms. *Limnol. Oceanogr.* 16: 387-404.
- RYDING, S., O., Y. C., FORSBERG, 1977. Sediments as a nutrient source in shallow polluted lakes, pp. 227-235. En Golterman, H., L. (ed.) *Interactions between sediments and freshwater*. Junk, La Haye.
- SCHINDLER, D., W., Y. J., E., NIGHSWANDER, 1970. Nutrient supply and primary production in Clear lake, eastern Ontario. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 27 (11): 2009-2036.
- SONZOGNI, W., C., 1974. Effect of nutrient input reduction on the eutrophication of the Madison lakes. *Ph. D. Thesis diss., Univ. Wisconsin (USA)*, 151 pp.
- VOLLENWEIDER, L., 1968. Water management research. *Report for the Environment Directorate, O. E. C. D.*, Paris: 1-25.
- 1971. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. *Report for the Environment Directorate, O. E. C. D.*, Paris: 1-61.

WELCH, E., 1977. Nutrient diversions resulting lake trophic state and phosphorus dynamics. U. S. Ecol. Res. Ser. Rep. EPA 600/3-77-003 (Corvallis, Oregon): 1-100.