

ASPECTOS DE LA DINAMICA DEL NITROGENO EN EL LAGO HIPERTROFICO LAS TRES PASCUALAS*

Aspects on the nitrogen dynamics in the hypertrophic lake Las Tres Pascualas

V. DELLAROSSA S., A.S. CIFUENTES DE LA T. Y G.E. HENRÍQUEZ C.**

SUMMARY

Las Tres Pascualas lake is one of the most eutrophicated aquatic systems in the urban area of Concepcion, Chile. An increasing human activity around this small lake has produced a high income of nutrients to the water that has favored the growth of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. This macrophyte is able to cover the lake surface in a few months. Physical and chemical characteristics of the water, particularly the dissolved inorganic nitrogen after the mechanical extraction of *E. crassipes* and during its growth, were studied. The results show that the macrophytes play an important role in the nitrogen cycle at an intrasystemic level. The advantageous of carrying out an extraction plan of the aquatic vegetation in this kind of lakes, is emphasized.

KEYWORDS: Hypertrophic lakes. Macrophytes. Nitrogen. *Eichhornia crassipes*.

INTRODUCCION

Para el desarrollo de una región y aún del poblado más pequeño, la disponibilidad de agua

*Investigación financiada por los proyectos: 20.30.18 y 20.32.18. Dirección de Investigación-Municipalidad de Concepción

** Depto. Botánica, Casilla 2407, Concepción.

RESUMEN

El lago Las Tres Pascualas es un ejemplo extremo de eutroficación en el área urbana de la ciudad de Concepción, Chile. Una creciente actividad antrópica en el entorno de este pequeño lago ha producido el enriquecimiento en nutrientes del agua, lo que ha favorecido el crecimiento y propagación de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. Esta macrófita ha llegado a cubrir toda la superficie del lago en unos pocos meses. Se estudian las características físico-químicas de la columna de agua, con especial énfasis en la oferta de nitrógeno inorgánico disuelto, luego de la extracción mecánica de *E. crassipes* y durante su posterior crecimiento. Los resultados indican que la vegetación acuática cumple un rol fundamental en el ciclo del nitrógeno a nivel intrasistémico. Se destaca la importancia de mantener un plan de extracción de la planta en este tipo de lagos.

dulce es un factor de máxima importancia y en muchas ocasiones, una variable crítica. En regiones del centro y norte del país, la necesidad de nuevas fuentes de agua dulce será, en breve plazo, una limitante para el desarrollo. La Octava Región posee una reserva de lagos y ríos que adquieren cada vez mayor importancia, tanto por su valor intrínseco como por lo accesibles para la población. Sin embargo, importantes recursos

acuáticos continentales de la región han sido utilizados de una manera poco acertada. El estado actual de los ríos Bío Bío y Andalién, y de la mayor parte de los lagos del radio urbano y suburbano de la ciudad de Concepción, es producto de cambios experimentados sólo en las últimas décadas.

La riqueza en nitrógeno y fósforo del lago Las Tres Pascualas ha favorecido la propagación de *E. crassipes* (Mart.) Solms. Esta maleza acuática, conocida como "jacinto de agua", posee un activo crecimiento vegetativo y en el curso de algunos años ha cubierto la superficie del lago formando un estrato continuo de vegetación flotante. La utilización de esta especie para remover nutrientes de una masa de agua ha sido motivo de numerosos estudios (Sculthorpe, 1967; Musil y Breen, 1977; Soerjani, 1987; Reddy et al., 1988). Su intenso crecimiento causa una disminución en la concentración de oxígeno en la columna de agua e indirectamente provoca la acumulación de materia orgánica en los sedimentos (Mercado, 1979; Dinges, 1982). Ambos eventos inciden en el ciclo del nitrógeno a través de los procesos de descomposición, nitrificación y desnitrificación (Keeney et al., 1971, Patrick y Reedy, 1976; Koike y Hattori, 1978; Knowles, 1981, 1982).

En el presente trabajo se estudian algunas características físico-químicas del lago, especialmente la variación de las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto en la columna de agua durante el crecimiento de *E. crassipes*, luego de su extracción masiva. Se postula que en sistemas eutrofizados, la presencia de vegetación libre flotante regula los procesos de nitrificación y desnitrificación que ocurren en la columna de agua.

Antecedentes generales del lago Las Tres Pascualas

El lago Las Tres Pascualas está ubicado en el radio urbano de la ciudad de Concepción y actualmente se considera como un lago hipertrófico. Como consecuencia del sismo de 1939 se conecta al lago, como medida de emergencia, el vaciado de aguas servidas de algunos sectores poblaciona-

les. La creciente densidad poblacional en el entorno da origen a un aumento tanto de los desechos domésticos como industriales en el área, muchos de los cuales continúan llegando a sus aguas.

Por su pequeño tamaño (ca. 50.000 m²) y su poca profundidad media (5 m), el lago es muy sensible a entradas alóctonas. En la actualidad, la concentración de nutrientes supera en varios órdenes de magnitud a las que se indican para un lago eutrófico típico, especialmente en lo que respecta a nitrógeno y fósforo (Gaggino et al., 1985). Estas condiciones han sido muy favorables para el crecimiento y desarrollo de *E. crassipes*.

La característica más importante del lago, como sistema hipertrófico, es la marcada variación estacional de los procesos de producción y descomposición y la intensidad que ellos tienen en breves lapsos. *E. crassipes* tiene un claro comportamiento anual. Su crecimiento se inicia en primavera y se extiende hasta fines de verano. En invierno, la mayor parte de la biomasa se destruye, ya que la especie es muy sensible a las bajas temperaturas.

La alta tasa de renovación y estacionalidad del "jacinto de agua" se hizo evidente luego de su extracción masiva en 1986, en un intento por recuperar el lago realizado por la Municipalidad de Concepción. En la primavera de 1987, la planta había empezado a propagarse vegetativamente y a fines de verano de 1988 ya había cubierto completamente el espejo de agua.

MATERIALES Y METODOS

El lago Las Tres Pascualas está ubicado en el radio urbano de la ciudad de Concepción (36° 49' S; 73° 03' O). Tomando como referencia el eje máximo del lago, se establecieron tres estaciones de muestreo equidistantes entre sí. Se tomó muestras de agua en cada estación a las profundidades de 0, 1, 2, 3, 5 y 7 metros. Las muestras de 0, 1 y 2 metros se utilizaron para caracterizar la zona trofógena y las restantes, para la zona trofólita.

La obtención de las muestras se realizó con una botella Ruttner de 1,8 litros, con termómetro incluido. Se cuantificó oxígeno, fósforo total,

amonio, nitritos y nitratos según Wetzel y Likens (1979) y Strickland y Parsons (1978). El muestreo se realizó desde fines de primavera de 1987 y durante los meses de verano de 1988.

RESULTADOS

Los resultados indican cambios importantes en las características físico-químicas de la columna de agua, a medida que *E. crassipes* cubre el espejo de agua (Tabla I).

TABLA I. Valores ($x \pm s.d.$) de los parámetros físico-químicos en el período de muestreo. Se diferencia una zona trofógena (a) de una trofófica (b) por estación de muestreo (I, II, III) según el tipo de autótrofos dominantes.

AUTOTROFOS		FITOPLANCTON			FITOPLANCTON Y PLEUSTON		
FECHA		10 - XII - 1987			28 - I - 1988		
ESTACION		I	II	III	I	II	III
PROF. MAX.		3.5 m	7.5 m	7.5 m	3.5 m	7.5 m	7.5 m
TEMP.	a	19.8±0.5	20.0±0.0	19.8±0.1	20.3±0.1	20.3±0.1	20.3±0.1
(°C)	b	19.8	18.8±0.9	18.3±1.0	20.2	18.4±2.0	20.2±0.0
pH	a	7.7±0.1	7.8±0.4	7.8±0.1	7.4±0.1	7.5±0.1	7.6±0.1
	b	7.3	7.3±0.1	7.4±0.1	7.5	7.3±0.1	7.6±0.1
COND.	a	600.0±10	596.0±5.7	596.6±5.7	560.0±20	560.0±17.3	546.6±25.1
($\mu\text{S}/\text{cm}$)	b	590.0	696.6±90.7	640.0±95.0	540.0	616.0±76.3	516.0±28.8
O ₂	a	10.8±0.8	10.2±0.5	10.7±0.1	5.9±0.4	5.9±0.2	6.3±0.4
(mg/l)	b	3.9	5.8±3.4	5.2±2.6	3.1	2.5±2.6	3.8±1.9
N-NH ₄ ⁺	a	129.8±18	284.2±168.0	469.3±183	88.2±16.5	65.8±5.7	69.5±34.9
($\mu\text{S}/\text{l}$)	b	193.2	1192.3±133	711.1±252	91.7	3527.9±3877	64.8±604.7
N-NO ₂ ⁻	a	22.6±3.9	23.5±5.4	22.0±3.7	4.8±2.0	11.2±3.7	8.2±0.8
($\mu\text{g}/\text{l}$)	b	18.0	15.2±5.1	19.9±11.9	13.0	15.8±0.8	13.2±0.7
N-NO ₃ ⁻	a	766.7±243	1140.8±199	1375.0±67.6	84.1±18.6	148.0±21.3	147.9±5.7
($\mu\text{g}/\text{l}$)	b	595.2	1186.8±743	1071.0±519	150.9	159.9±119.2	169.7±25.2
P-TOT.	a	39.2±24.3	11.5±1.8	13.7±8.1	126.1±84.3	61.8±16.1	82.6±4.0
($\mu\text{g}/\text{l}$)	b	52.5	53.9±27.4	89.4±58.5	80.5	253.6±281.4	171.7±96.3

AUTOTROFOS		PLEUSTON			PLEUSTON		PLEUSTON
FECHA		08 - II - 1988			21 - III - 1988		04-IV-1988
ESTACION		I	II	III	I	II	III
PROF. MAX.		3.5 m	7.5 m	7.5 m	3.5 m	7.5 m	7.5 m
TEMP.	a	20.7±0.0	20.9±0.1	20.8±0.0	18.8±0.0	18.8±0.0	18.6±0.4
(°C)	b	20.6	18.4±2.2	18.4±2.0	18.8	18.8±1.0	16.8
pH	a	7.1±0.1	7.1±0.1	7.0±0.1	7.1±0.1	7.1±0.1	7.0±0.1
	b	7.0	7.0±0.1	6.8±0.1	7.2	7.2±0.2	7.0
COND.	a	615.0±25.9	590.0±26.4	576.6±25.1	593.0±11.5	610.0±17.3	579.6±24.0
($\mu\text{S}/\text{cm}$)	b	610.0	650.0±50.0	663.3±80.2	620.0	676.0±76.7	600.0
O ₂	a	9.1±0.5	7.7±0.8	7.7±0.7	1.4±0.4	1.5±0.2	1.3±0.4
(mg/l)	b	3.4	2.5±2.4	3.2±2.2	0.7	0.5±0.5	1.1
N-NH ₄ ⁺	a	102.1±7.0	52.0±19.6	86.3±46.3	127.4±15.2	124.6±25.2	251.0±68.3
($\mu\text{g}/\text{l}$)	b	128.8	3127.0±202	3089.5±3253.0	178.7	3536.2±3241	1176.4
N-NO ₂ ⁻	a	5.2±0.8	5.7±0.7	5.9±1.1	3.7±1.8	3.3±1.5	13.4±2.8
($\mu\text{g}/\text{l}$)	b	8.7	9.1±3.6	11.9±3.1	2.8	9.0±5.1	5.0
N-NO ₃ ⁻	a	4.8±1.2	7.5±2.7	6.3±1.0	84.1±18.6	148.0±21.3	147.9±5.7
($\mu\text{g}/\text{l}$)	b	12.3	8.6±3.1	10.5±5.0	150.9	159.9±119.2	169.7
P. TOT.	a	174.3±148	404.6±232.7	279.1±122.9	258.1±187	61.1±7.7	30.0±6.4
($\mu\text{g}/\text{l}$)	b	252.2	249.8±84.6	424.9±94.0	32.6	40.6±23.5	337.7

En los meses de octubre y noviembre ocurre la propagación vegetativa de esta macrófita. Plantas de pequeño tamaño, que se encuentran en lugares protegidos, comienzan a invadir la superficie del lago por acción del viento. Hasta esta etapa, el metabolismo de la columna de agua está sustentado por la comunidad fitoplanctónica y predomina, con características de floración, una población de *Asterionella formosa* Hassal (Bacillariophyceae).

En diciembre, las concentraciones de oxígeno disuelto en la zona trofógena son muy altas (sobresaturación) y disminuyen con la profundidad. Los nitratos son abundantes en todo el lago, siendo menores a los 7 metros (Fig. 1). El amonio, con menor concentración en superficie, aumenta con la profundidad (Fig. 2).

A fines de primavera y durante los meses de verano se presenta la fase de crecimiento exponencial de la población de *E. crassipes*. El aumento de la fitomasa en la superficie del lago tiene efecto directo sobre la comunidad fitoplanctónica al disminuir el paso de la luz y gran parte de los nutrientes se canalizan hacia biomasa pleustónica.

En los meses de enero y febrero las concentraciones de oxígeno son levemente insaturadas en la zona trofógena y disminuyen con la profundidad. Los nitratos han disminuido en toda la columna de agua mientras que las concentraciones de amonio son muy altas en profundidad (Fig. 2).

A fines de verano, la superficie del lago está cubierta de vegetación flotante y toda la columna de agua muestra concentraciones de oxígeno muy bajas, cercanas a la anoxia. Las concentraciones de nitrato aumentan ligeramente en toda la columna de agua y el amonio presenta leves variaciones respecto a las observadas en la fase de crecimiento.

En relación con la variación de las concentraciones de fósforo total, a partir de enero ellas superan los $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ y se mantienen altas hasta abril.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La comprensión del funcionamiento de un sistema ecológico se facilita cuando se le conside-

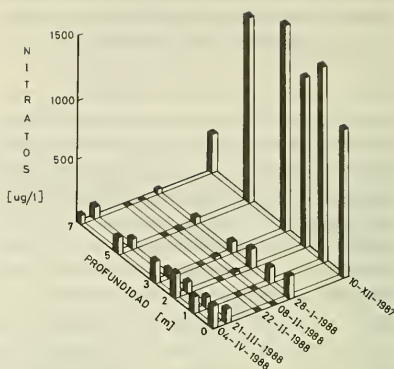


FIG. 1 Distribución de N-NO_3 ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) en función de la profundidad durante el período de muestreo.

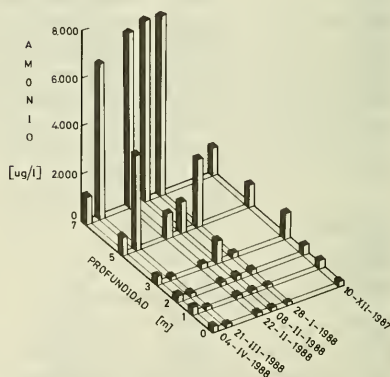


FIG. 2 Distribución de N-NH_4^+ ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) en función de la profundidad durante el período de muestreo.

ra como una unidad procesadora de energía regulada por el ciclaje de nutrientes (Reichle et al., 1975). La extracción de las macrófitas de un lago implica un cambio brusco de su base energética.

En un breve lapso, se reemplaza un funcionamiento basado en autótrofos pleustónicos por otro sustentado por autótrofos fitoplanctónicos. La biomasa de fitoplancton por unidad de superficie ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) en un lago hipertrófico y en presencia de floraciones de microalgas es diferente, a lo menos en dos órdenes de magnitud, de la biomasa pleustónica que el lago es capaz de soportar ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). *E. crassipes* puede alcanzar una fitomasa de hasta $30 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Dinges, 1982).

A la latitud de Concepción, el "jacinto de agua" presenta un comportamiento anual muy definido. Como contiene entre 2.1 y 3.3 por ciento de nitrógeno en sus tejidos, y la relación N/P varía entre 3:1 y 10:1 (Soerjani, 1987), se puede inferir que existen dos grandes flujos de nutrientes durante un ciclo anual, cuando esta planta predomina en un lago; uno, en la fase de crecimiento exponencial, en la que toda la actividad fotosintética se orienta a la formación de biomasa y otro, en la fase de declinación, en la que predomina el proceso de descomposición de la biomasa acumulada y los nutrientes retornan a los sedimentos.

Para interpretar las concentraciones y fluctuaciones del nitrógeno inorgánico disuelto en el tiempo, se ha utilizado el modelo propuesto por Patrick y Reddy (1976), Minzoni et al. (1988) para suelos anegados.

En invierno los sedimentos se enriquecen en nitrógeno y las reacciones químicas y bioquímicas que se producen en el fondo del lago dependen del grado de oxigenación de la columna de agua.

El amoníaco, producto de la descomposición microbiana de la materia orgánica acumulada, se produce en forma permanente en sedimentos; el aumento de la concentración con la profundidad refleja la intensidad de la descomposición en la zona trofolítica. Puesto que la amonificación se realiza tanto en medio aeróbico como anaeróbico y en un amplio rango de variación de pH y temperatura, existe permanente difusión hacia los estratos superficiales más oxigenados, favoreciendo el proceso de nitrificación y la acumulación de nitratos en la columna de agua, especialmente en la zona trofógena (Fig. 1).

Tanto el proceso de descomposición como el de nitrificación consumen oxígeno y ambos explican el déficit de oxígeno con la profundidad, a

veces no tan claro en la columna de agua, pero siempre presente en los sedimentos.

La alta concentración de nitratos cerca de la superficie excede las necesidades del fitoplancton, por lo que difunde hacia estratos más profundos (Fig. 1). Patrick y Reddy (1976) demostraron que el coeficiente de difusión de los nitratos es casi 6 veces superior al del amonio. La presencia de nitratos en un medio anóxico favorece el proceso de desnitrificación y con ello, la pérdida de nitrógeno gaseoso a la atmósfera a la forma de N_2 o N_2O (Fig. 3). Las pérdidas de nitrógeno gaseoso derivan del amonio oxidado a nitratos en la capa aeróbica, es decir, el nitrato es sólo un producto intermedio en el proceso de conversión de amonio a nitrógeno gaseoso. El amonio es el compuesto que experimenta los procesos de nitrificación y desnitrificación dependiendo de las características de la columna de agua.

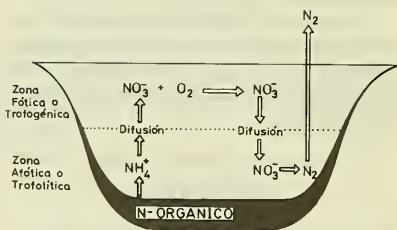


FIG. 3 Vías de conversión del nitrógeno orgánico a nitrógeno elemental en la columna de agua de un lago eutrófico.

La situación descrita en Las Tres Pascualas respecto al nitrógeno es muy similar a la que se presenta en suelos anegados para el cultivo de arroz; en ellos, la tasa de desnitrificación explica más de un 80 por ciento de las pérdidas de fertilizantes nitrogenados agregados a los cultivos (Minzoni et al., 1988; Golterman et al., 1988).

La presencia de macrófitas en la superficie de un lago hipertrófico impide la mayor parte de las pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera y la extracción de la planta deja libre esta vía natural de remoción de nitrógeno del sistema. Este proceso de desnitrificación, que ocurre en forma natural en un lago hipertrófico, luego de la limpieza del

espejo de agua, es muy similar al simulado, según criterio químico, para la recuperación artificial de lagos (Björk, 1982).

E. crassipes recoloniza rápidamente el espejo de agua, ya que es capaz de utilizar tanto el amonio como los nitratos como fuente de nitrógeno (Reddy et al., 1988). La extracción anual de su biomasa significa remover del lago Las Tres Pascualas más de una tonelada de nitrógeno. La magnitud de estas cifras refleja la importancia que adquiere la información sobre la carga interna de nitrógeno y fósforo en los sistemas hipertróficos. El vaciado permanente de desechos orgánicos puede provocar daños irreversibles en un lago (Lundqvist, 1982; Björk, 1982), de manera que el simple desvío del flujo de contaminantes no es garantía de recuperación del recurso.

Los datos permiten probar la hipótesis planteada en este estudio de que el lago Las Tres Pascualas estaría funcionando con una reserva de nutrientes preferentemente intrasistémica.

La extracción de la vegetación acuática cumple un doble objetivo, se satisfacen necesidades estéticas y recreacionales y se mantienen mecanismos de autorregulación tan efectivos como la desnitrificación.

BIBLIOGRAFIA

- Björk, S. 1982. Goals, methods and possibilities for directing development of limnic ecosystems. *Hydrobiologia*, 86: 177-183.
- Dinges, R. 1982. Natural systems for water pollution control. Van Nostrand Reinhold Co., N. Y. 245 pp.
- Gaggino, G.F., E. Cappelletti, R. Marchetti & T. Calcagnini. 1985. La qualità delle acque dei laghi italiani negli anni 80. Proceedings of the International Congress: Lake Pollution and Recovery. Rome, 15-18 aprile 1985. 5-32.
- Golterman, H.L., C. Bonetto & 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.
- Keeney, D.R., R.L. Chen & D.A. Braetz. 1971. Importance of denitrification and nitrate reduction in sediment to the nitrogen budgets of lakes. *Nature*, 233 (3): 66-67.
- Knowles, R. 1981. Denitrification. In C.F. Clark & T.R. Rosswald (eds.) *Terrestrial Nitrogen Cycle*. *Ecol. Bul.*, 33: 315-329.
- Knowles, R. 1982. Denitrification. *Microbiol. Review*, 46 (1): 43-70.
- Koike, I. & A. Hattori. 1978. Denitrification and ammonia formation in anaerobic coastal sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 278-282.
- Lundqvist, I. 1982. The limnological basis for planning quality management. *Hydrobiologia*, 86: 147-151.
- Mercado, B. 1979. Biology, problems and control of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. A monograph. *Biotrop* 16: 1-52.
- Minzoni, F., C. Bonetto & H.L. Golterman. 1988. The nitrogen cycle in shallow water sediment systems of rice fields. Part I: The denitrification process. *Hidrobiologia*, 159: 189-202.
- Musil, C.F. & C.M. Breen 1977. The application of growth kinetics to the control of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms through nutrient removal by mechanical harvesting. *Hydrobiologia*. 53(2): 165-171.
- Patrick, W.H. & K.R. Reddy. 1976. Nitrification-denitrification reactions in flooded soils and water bottoms: dependence on oxygen supply and ammonium diffusion. *J. Environ. Qual.* 5(4): 469-472.
- Reddy, K.R., R.E. Jessup & P.S. Rao. 1988. Nitrogen dynamics in a eutrophic lake sediment. *Hydrobiologia*, 159: 177-188.
- Reichle, D.E., R.V. O'Neil & W.F. Harris. 1975. Principles of energy and material exchange in ecosystem. In W.H. Lowe-Connell (eds.) *Unifying concepts in ecology*. The Hague, W. Junk, 2-43.
- Sculthorpe, C.O. 1967. *The biology of aquatic vascular plants*. London, Arnold. 610 pp.
- Soerjani, M. 1987. Water enrichment and the possible utilization of aquatic plants. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 28: 227-236.
- Strickland, J.D. & T.R. Parsons. 1978. *A practical handbook of seawater analysis*. Bull. Fish. Res. Board Canada. 167: 1-121.
- Wetzel, R. & G. Likens. 1979. *Limnological analysis*. W.B. Saunders Co. 367 pp.