

La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio.

OSCAR O. PARRA*

ABSTRACT. *Information on the cultural eutrophication process in "Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile", is presented. A brief consideration is given to each of the following topics: i) origin and consequences of the process; ii) actual limnological characteristics and iii) trophic category and potential use of the freshwater body taking into account its current ecological features. Recommendations on the control and management of the eutrophication process are presented.*

* Laboratorio de Ficología y Limnología, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Biológicas y Recursos Naturales, Universidad de Concepción.



Introducción

La ciudad de Concepción es única en Chile por su riqueza de lagunas enclavadas en su espacio urbano. Según sea su ubicación en relación al río Bío-Bío, distinguimos dos sistemas de lagunas, uno al sur, conformado por las lagunas Chica y Grande de San Pedro, y el sistema de lagunas al norte del Bío-Bío, integrado por la Laguna Price, Redonda, Las Tres Pascuales, Lo Méndez, Lo Galindo, Lo Custodio y la laguna Pineda. Si uno observa el desarrollo urbano pareciera que Concepción ha ignorado sus lagunas, ya que aparecen como escondidas y, lo que ha sido peor, algunas de ellas en peligro de desaparecer por fuertes procesos de eutroficación cultural.

Hasta la década del 60 las dos lagunas más importantes de la ciudad, Laguna Chica y Grande de San Pedro, constituían el mayor centro de atracción. Sin apreciar lo que tenía, Concepción se podía dar el lujo de tener dos hermosos lagos ubicados en su plano urbano. Hoy día estos dos cuerpos acuáticos se encuentran con la calidad de sus aguas seriamente deteriorada. El impacto económico de esta situación no ha sido dimensionado y sólo existe una percepción cualitativa de la situación.

Nuestro grupo de trabajo (Laboratorio de Ficología y Limnología, Departamento de Botánica de la Universidad de Concepción) ha estado desde hace una década realizando estudios ficológicos y limnológicos en los pequeños lagos de la región de Concepción, con especial énfasis en aquellos cuerpos de aguas ubicados en el área urbana [Le., Parra *et al.*, 1978, 1980, 1981, 1986; Dellarosa y Parra, 1985; Parra *et al.*, 1989). Algunos de estos trabajos han sido financiados por organismos públicos, tales como la Dirección General de Aguas y la Ilustre Municipalidad de Concepción y por la propia Universidad. El objetivo de ellos se ha centrado principalmente en conocer el grado trófico de estos cuerpos de agua, a través de una caracterización física, química y biológica, y conocer las causas que originaron y están causando el deterioro de la calidad de sus aguas.

Laguna Grande de San Pedro constituye el recurso hídrico más grande de aguas empozadas de Concepción y sus alrededores, para muchos el paisaje más bello que jamás tuvo la ciudad y que ha sido materia de preocupación de la comunidad y de las autoridades comunales y regionales. Consecuencia de esta preocupación fue la constitución de la "Comisión de Recuperación de la Laguna Grande de San Pedro", integrada por representantes de instituciones públicas (Secretarías Regionales Ministeriales, Ilustre Municipalidad de Concepción y la Universidad de Concepción), y que ha realizado importantes acciones en orden de mejorar la situación de esta laguna.

Notable ha sido la preocupación de la Ilustre Municipalidad de Concepción, ya sea mejorando el entorno de ésta y de otras lagunas de la ciudad y contratando estudios para incrementar el conocimiento ecológico. También se deben destacar las campañas del diario "El Sur", que han servido para popularizar el fenómeno de la eutroficación y despertar conciencia sobre el problema.

A continuación se presenta un breve análisis sobre el proceso de la eutroficación o eutrofización, un resumen de la información limnológica obtenida de la Laguna Grande de San Pedro, el origen de su deterioro ecológico y las posibles soluciones que a nuestro juicio debieran aplicarse a este cuerpo de agua para iniciar su proceso de recuperación.

El proceso de la eutroficación o eutrofización

La palabra eutroficación o eutrofización significa literalmente "el proceso de la buena nutrición". Pero en relación a un lago o laguna, hoy día esta palabra se refiere a una fertilización excesiva de una masa de agua que da por resultado el crecimiento perjudicial de plantas acuáticas, tales como algas y macrófitas.

Es significativo que etimológicamente el término eutroficación se relaciona con las causas del problema, *i.e.*, excesiva nutrición o alimentación de las aguas (del griego: eu= bien, y trofein= alimentar o nutrir), más que con sus efectos, *e.g.*, florecimiento o "blooms de algas", disminución marcada de la concentración del oxígeno disuelto y anoxia. Esto sugiere una percepción más científica que popular del problema. Eutroficación también ha sido descrita metafóricamente como el proceso de envejecimiento de los lagos, una descripción que enfatiza más los efectos que las causas (Vollenweider, 1980). Esta interpretación tiene alguna validez, ya que encierra ambos problemas, el de eutroficación artificial o cultural y natural.

El fenómeno de eutroficación sucede naturalmente, pero puede ser acelerado por la intervención del hombre (eutroficación artificial o cultural). El control del proceso de eutroficación es hoy uno de los problemas más importantes y urgentes de la ecología y en particular de la limnología. Es también uno de los problemas ambientales que concita el interés de los países desarrollados y en desarrollo por el impacto que tiene en el valor paisajístico y recreativo.

Un lago o laguna está recibiendo constantemente entradas de agua desde su cuenca o área de drenaje (entorno terrestre) y desde la atmósfera (entorno atmosférico). La calidad del agua de un lago es el reflejo de los efectos acumulados de estos eventos. En el tiempo, un lago

recibe y acumula materiales traídos por las corrientes de entrada, alterándose la relación superficie-volumen al disminuir cada vez más en profundidad. Esta continua transformación origina una fase de pantano y finalmente un sistema terrestre. Este proceso, en forma natural, demora miles de años en completarse. Bajo estas condiciones, el crecimiento de algas y plantas acuáticas está en equilibrio con las entradas de nutrientes. La calidad del agua de un lago sometido a eutroficación natural generalmente satisface la mayoría de los usos que le da el hombre.

Los asentamientos humanos, la deforestación y cualquier proceso de artificialización en el área de la cuenca de drenaje de un lago puede cambiar la velocidad del proceso de eutroficación. Los ciclos químicos y biológicos se alteran, provocando un aumento no deseado de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, los que estimulan el crecimiento de algas y plantas acuáticas, disminuyendo la calidad del agua del recurso lago.

Es más seguro, y por lo general más económico, tomar medidas preventivas contra la eutroficación que aplicar estrategias correctivas cuando la calidad del agua ya se ha deteriorado. Esto último es especialmente válido para la Laguna Chica de San Pedro. De ahí la importancia de diseñar y mantener políticas y programas de manejo encaminados a prevenir y contrarrestar los síntomas indeseables de la eutroficación de las masas de aguas, como parte fundamental de la planificación de la utilización de los recursos hídricos. Lo anterior debe efectuarse considerando el uso particular, el propósito o la función asignados a los diferentes tipos de recursos hídricos con que cuenta la comunidad.

El efecto de la eutroficación que la comunidad de Concepción percibe más vivamente es el que afecta al recreo y al turismo. Inciden directamente para este objetivo la aparición de malos olores, la acumulación de aguas estancadas, el aumento de las poblaciones de insectos y el crecimiento desmedido de vegetación litoral que impiden la natación, navegación, pesca, el solaz y esparcimiento.

Metodología

El presente trabajo como se expresó anteriormente corresponde a parte de la información obtenida en estudios desarrollados por nuestro grupo de trabajo. Una detallada descripción de los numerosos métodos utilizados para el estudio de los parámetros morfométricos, físicos, químicos y biológicos se encuentran en los trabajos de Dellarossa y Parra (1985) y *Parra et al.* (1989).

Principales síntomas y agentes causantes de la eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro

La Laguna Grande de San Pedro se ubica en la parte noroccidental de la cordillera de Nahuelbuta, al sur del río Bío-Bío y a unos 5 km de la Plaza de Armas de la ciudad de Concepción ($36^{\circ}05'1''S$ y $73^{\circ}06'30''W$). En el lado oriental se encuentra rodeada por un cordón montañoso que alcanza una altura aproximada de 350 metros y del cual se desprenden pequeños valles y quebradas que se descuelgan hacia el cuerpo de agua. Hacia el lado occidental se ubica una extensa llanura que actúa como represa natural del sistema. Gran parte de ella se encuentra ocupada por la Villa de San Pedro. Esta población consta de 2.000 viviendas, que empezaron a ser construidas el año 1962 y fueron terminadas en el año 1967. En la figura 1 se



Figura 1. Ubicación de la Laguna Grande de San Pedro.

observa la Laguna Grande de San Pedro (fotografía del año 1978) y el desarrollo habitacional a su alrededor. Sin duda alguna fue la presión del desarrollo urbano (viviendas e infraestructura) la que ocasionó el proceso de eutrofización cultural. Los síntomas más evidentes de este proceso en la laguna son:

- cordones litorales de vegetación invasora (*Egeria densa* Planchón).
- florecimientos de microalgas verde-azules (*Microcystis aeruginosa* Kuetzing).
- Turbiedad o poca transparencia de las aguas.
- Desarrollo de bolsones anóxicos en el fondo.
- Presencia de espuma en la zona litoral.

En los trabajos ejecutados por INTEC (1980) y por EMESA (1984) se encuentran importantes antecedentes respecto al uso del sistema terrestre de la cuenca (uso urbano del suelo, uso recreacional y habitacional, las redes y sistemas de urbanización, *i.e.*, drenaje de aguas subterráneas, alcantarillado de aguas servidas y de aguas lluvias). Otro estudio importante dentro del contexto del problema que nos preocupa fue el financiado por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas en el año 1985, dentro del marco del programa "Red nacional mínima de control de lagos", que entregó información sobre las principales características limnológicas de la laguna (Dellarossa y Parra, 1985).

El último estudio (Parra *et al.*, 1989) corresponde a una de las acciones planificadas por la comisión anteriormente mencionada, que fue financiado por la Ilustre Municipalidad de Concepción. Sin embargo, hay que hacer notar que este estudio era complementario a otra acción que tomó la Municipalidad con la asesoría de la Universidad de Concepción, cual era la extracción experimental de una hectárea de vegetación invasora y el estudio inmediato de la reacción de este cuerpo de agua a la extracción que se había efectuado el año 1985. Una parte de esto se pudo cumplir gracias al estudio hecho por esta misma Universidad a la Dirección General de Aguas (*op. cit.*).

No existen dudas de que una de las causas de la eutrofización en la Laguna Grande fue el aporte de nutrientes que provinieron de los desagües de aguas servidas permanentes o intermitentes que se evacuaban directamente en ella.

La infraestructura sanitaria construida en la villa es, según EMESA, bastante completa y compleja, y en teoría nunca debió ocurrir que las aguas servidas llegaran a la laguna. Sin embargo, sucedió y hay varias causas consideradas como posibles generadoras de contaminación, algunas de las cuales fueron reseñadas por el Servicio de Obras

Sanitarias (SENDOS), en informes elaborados para la Comisión Intersectorial. Estas son las siguientes:

— Debido a la evacuación de las aguas lluvias hacia la laguna, éstas arrastran desechos naturales que pueden encontrarse en las calles, rebases de sistemas públicos o privados en mal estado, detergentes, etc.

— La existencia de posibles conexiones clandestinas de alcantarillado al canal de desagüe de la Laguna Chica de San Pedro, el que posteriormente evacúa a la Laguna Grande de San Pedro.

— La existencia de conexiones equivocadas de alcantarillado al sistema de drenaje de la napa subterránea, cuyas tuberías van en paralelo con el verdadero colector de alcantarillado.

— Dado que el sistema de drenaje se inspecciona a través de las mismas cámaras del alcantarillado por medio de tapones que al estar cerrados independizan los sistemas, es dable suponer que en 25 años algunos tapones se hayan deteriorado y pudieran permitir el traspaso de agua entre los diferentes sistemas.

— Las dos plantas elevadoras de agua servidas poseen rebases de emergencia. Cualquier falla en las plantas habría incidido con grandes cargas orgánicas en la laguna: estas fallas parecieron ser frecuentes o, al menos, las plantas dejaron de cumplir sus funciones permanentes. Adicionalmente, el sistema de agua potable tiene un rebalse en el estanque elevado que desemboca en la laguna.

A lo anterior habría que agregar, 1) el vaciamiento de basura dentro o inmediatamente a orillas de la laguna, y 2) la construcción de la población Miramar en un área de fuerte pendiente, en la cual, por negligencia de la empresa constructora, no se tomaron las precauciones correspondientes, provocando en un invierno de fuertes lluvias el deslizamiento de grandes cantidades de sedimento al cuerpo de agua.

La figura 2 muestra la disposición de los sistemas de drenaje, de alcantarillado y de aguas lluvias en la villa y la distribución del colector construido por SENDOS, para desviar y eliminar así la evacuación de aguas servidas del sistema de rebalse. Esto último correspondió a otra de las acciones emprendidas por la comisión aludida.

El último estudio efectuado por la Universidad de Concepción deja en evidencia que los principales aportes de nutrientes provienen de las entradas artificiales. En la figura 3 se muestran las estaciones que fueron controladas durante 1988 para identificar y evaluar el aporte, tanto de las entradas naturales como artificiales. En la Tabla N° 1 se presentan los valores correspondientes a los principales compuestos nitrogenados y fosforados de estas entradas.

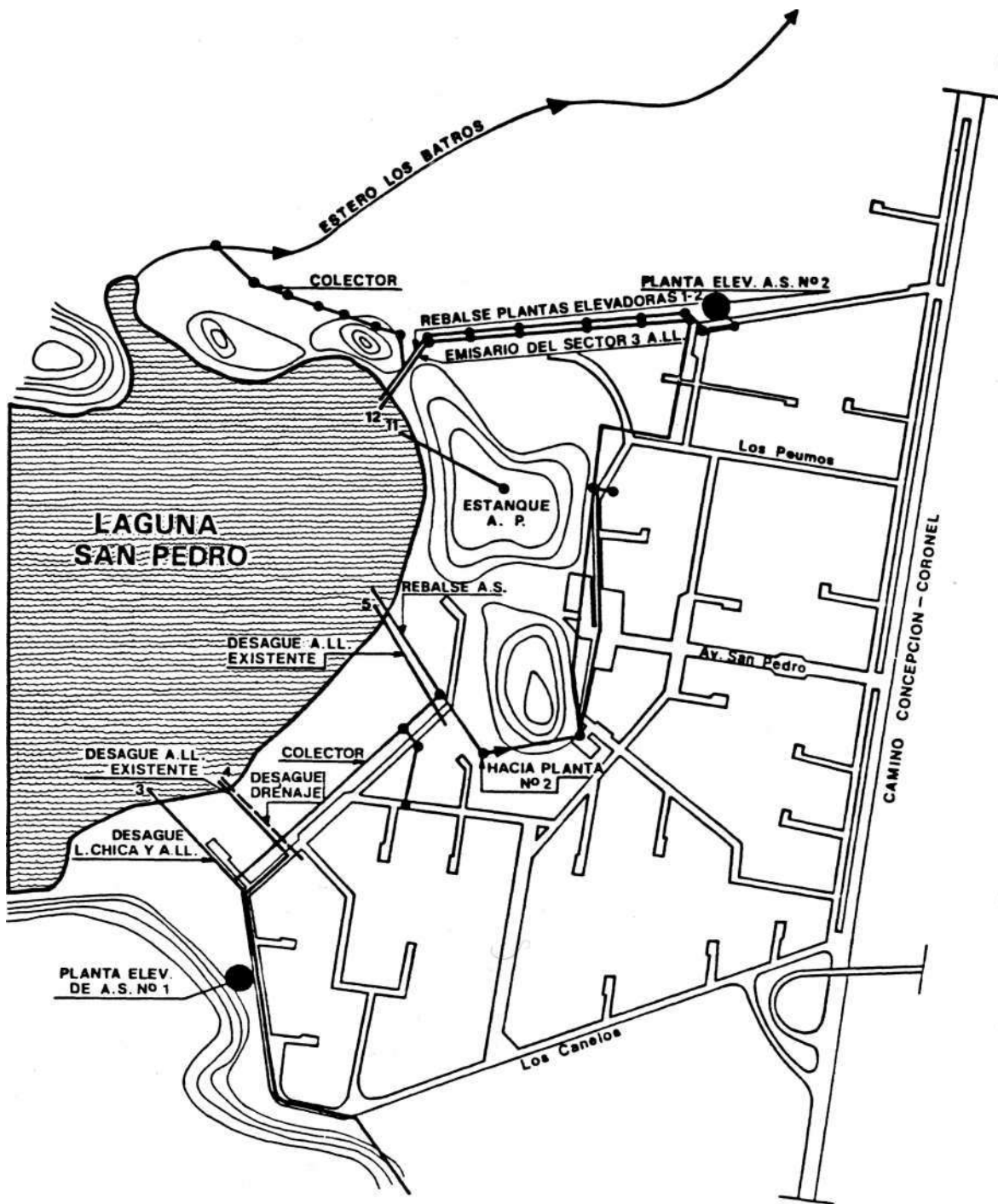


Figura 2. Ubicación de los diferentes sistemas sanitarios de la Villa San Pedro.

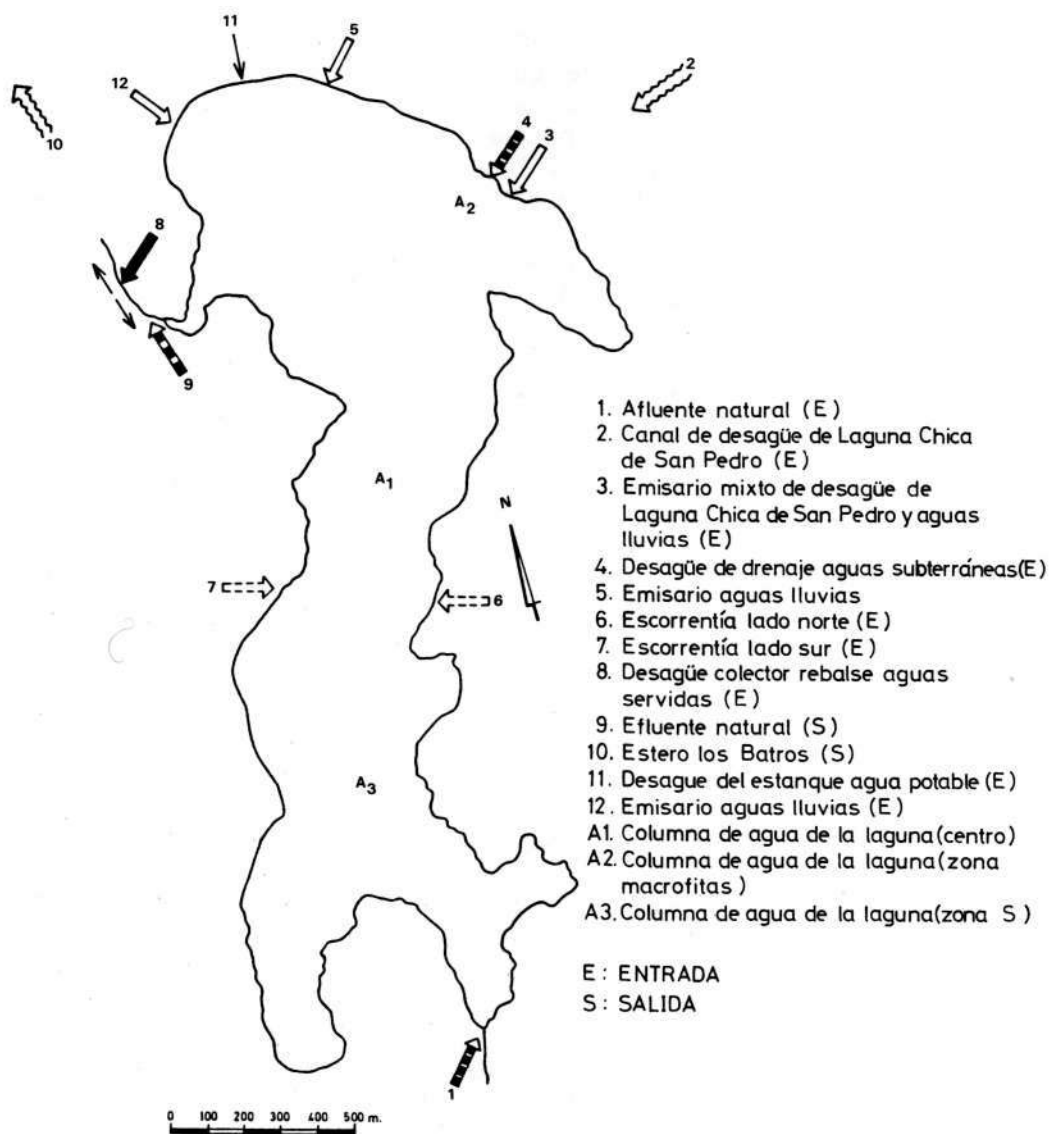


Figura 3. Ubicación de las diferentes estaciones de muestreo.

TABLA N° 1

Valores mínimos y máximos de compuestos nitrogenados y fosforados de los afluentes de la Laguna Grande de San Pedro ($\mu\text{g}/1$)

Estación	NH ₄		NO ₂		NO ₃		PO ₄		P. tot.	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
1	9,38	206,05	<1,00	40,60	45,58	847,00	1,45	38,88	18,29	475,72
3	15,32	5.643,00	2,11	115,79	42,29	11.984,00	3,72	160,37	14,88	1.154,54
4	23,84	10.020,00	6,17	512,40	72,01	13.188,00	25,68	424,10	59,34	1.335,16
5	4,44	149,22	<1,00	42,00	16,03	2.758,00	1,45	109,82	34,80	475,45
9	9,59	121,66	1,39	46,20	11,40	630,00	2,90	109,82	10,15	925,90
10	15,32	210,00	2,20	71,40	23,67	1.400,00	5,80	117,30	36,27	1.154,54
11	17,09	634,40	2,82	105,00	16,03	2.030,00	2,90	185,31	30,38	939,80
12	7,68	228,50	4,28	82,60	25,67	9.716,00	28,87	170,10	62,78	877,73

PARRA

Del análisis de la Tabla N° 1 se puede inferir claramente que el aporte de nutrientes asociados al problema de la eutroficación es bastante alto, especialmente los referidos a amonio, nitritos, nitratos, fósforo total y ortofosfatos. Los valores alcanzados por estos parámetros son muy superiores a los encontrados en el cuerpo de agua y a los que aporta el afluente natural controlado (estación 1). Especialmente altos son los aportes del emisario de aguas lluvias que recibe también el desagüe de la Laguna Chica de San Pedro (estación 3) y el desagüe de la red de drenaje de la napa subterránea (estación 4). Ambos afluentes deben ser considerados como "artificiales". Por otra parte, según la información bacteriológica obtenida, el afluente de la red de drenaje (estación 4) aparece como el principal foco de contaminación bacteriana de la laguna. Esto último confirma que la red de drenaje de las aguas subterráneas está siendo contaminada por conexiones clandestinas o erróneamente conectadas a este sistema de drenaje. Lo mismo sucede, en menor grado, en el emisario de aguas lluvias que recibe el canal de desagüe natural de la Laguna Chica de San Pedro.

Los valores de los demás afluentes controlados, aun cuando son altos, están por debajo de las estaciones 3 y 4, pero deben ser considerados como importantes aportes de nutrientes. Ellos, en su mayoría, corresponden a emisarios de aguas lluvias. El aporte por escorrentía en los puntos 6 y 7 no se controló en esta oportunidad, por no ser posible la construcción de vertederos que hubieran permitido el acopio del agua y su posterior control. En todo caso, se puede inferir que el aporte de nutrientes por escorrentía debe ser muy inferior al aporte de los afluentes naturales (estación 1), ya que el uso del suelo en el sector noreste es eminentemente forestal sin explotación intensa, y en el sector opuesto el área de drenaje es muy pequeña con poca actividad humana (ej., agrícola, habitacional). Los valores del afluente natural controlado (1), que prácticamente recibe el aporte de aproximadamente el 80% de la hoya hidrográfica, son inferiores a los registros en dos de las estaciones dentro del cuerpo de agua. Sólo algunas veces son superiores y casi siempre son bastante inferiores a los de los "afluentes" artificiales (estaciones 3 y 4, especialmente).

Caracterización limnológica general de Laguna Grande de San Pedro

Las Tablas N° 2, 3, 4 y 5 contienen los valores de los principales parámetros morfométricos, físicos, químicos y biológicos, que resumen el actual conocimiento lim-

TABLA N° 2

Datos básicos y parámetros morfométricos

Latitud	36°51'
Longitud	73°06'W
Altitud	4 m.s.n.m.
Largo máximo	2.675 m
Ancho máximo	1.375 m
Perímetro	9.800 m
Desarrollo de la línea costa	2,2
Profundidad máxima	11,8 m
Profundidad media	8,3
Area superficial	1.557.250 m ²
Volumen	11.765.759 m ³
Relación área superficial Volumen	1:8
Superficie de hoya hidrográfica	12,5 km ²
Origen	Erosional y depositacional
Tributarios:	Esteros y arroyos ubicados en la parte sur y suroeste
Tiempo teórico de retención	24 meses
Precipitaciones	1.300 mm/año
Uso de la tierra en la hoya hidrográfica	Forestal, agrícola habitacional y recreacional

TABLA N° 3

Parámetros físicos

Parámetro	Mín.	Máx.
Temperatura (°C)	10	22,8
Conductividad (μ mhos. cm ⁻¹)	51	148
Sólidos disueltos (mg/l)	50,4	71,6
Sólidos volátiles (mg/l)	4,6	12,8
Transparencia (m) Disco Secchi	1,5	4,0

TABLA N° 4

Parámetros químicos

Parámetro	Mín.	Máx.
pH	6,36	9,01
Oxígeno disuelto (mg/l)	0,06	13,96
Alcalinidad (meq/l)	0,395	0,505
NH ₄ (μ g/l)	3,05	402,55
NO ₂ (μ g/l)	1,00	159,60
NO ₃ (μ g/l)	1,00	768,00

Parámetro	Mín.	Máx.
P-total ($\mu\text{g/l}$)	1,45	747,76
PO_4 ($\mu\text{g/l}$)	1,00	27,5
SiO_2 (mg/l)	0,1	55,7
SO_4 (mg/l)	0,17	4,35
Cl (mg/l)	8,38	16,96
Ca (mg/l)	2,40	13,60
Mg (mg/l)	2,40	4,84
Na (mg/l)	6,7	10,0
K (mg/l)	0,27	0,98
Dureza cálcica (mg/l)	5,00	14,01
Dureza magnésica (mg/l)	2,10	4,84
Dureza total (mg CaCO_3)	10,33	24,32

TABLA Nº 5

Parámetros y componentes biológicos

Parámetro	Mín.	Máx.
Productividad (mg/C/m ³ /h)	2,4	122,6
Biomasa (mg Cl "a"/m ³)	0,9	15,2
Especies fitoplanctónicas dominantes:		
<i>Microcystis aeruginosa, Rhodomonas minuta, Peridinium sp., Asterionella formosa, Melosira granulata, Closterium aciculare, Nephroclytium agardhianum Dictyosphaerium pulchellum</i>		
Especies de zooplancton dominantes:		
Sin información		
Especie de macrófitas dominantes:		
<i>Egeria densa</i> y <i>Limnobium leavigatum</i>		
Especies bentónicas dominantes:		
<i>Aphanothece stagnina</i>		
Peces:		
<i>Geotria australis, Cheirodon galusdae, Galaxia maculatus, Salmo trutta trutta, Gambusia affinis, Odontesthes bonariensis, Cyprinus carpio.</i>		

nológico que se tiene de esta laguna. La figura Nº 4 muestra el mapa batimétrico correspondiente al año 1988. A esta caracterización general se agrega información referente a la contaminación bacteriana y vegetación invasora y florecimientos de microalgas.

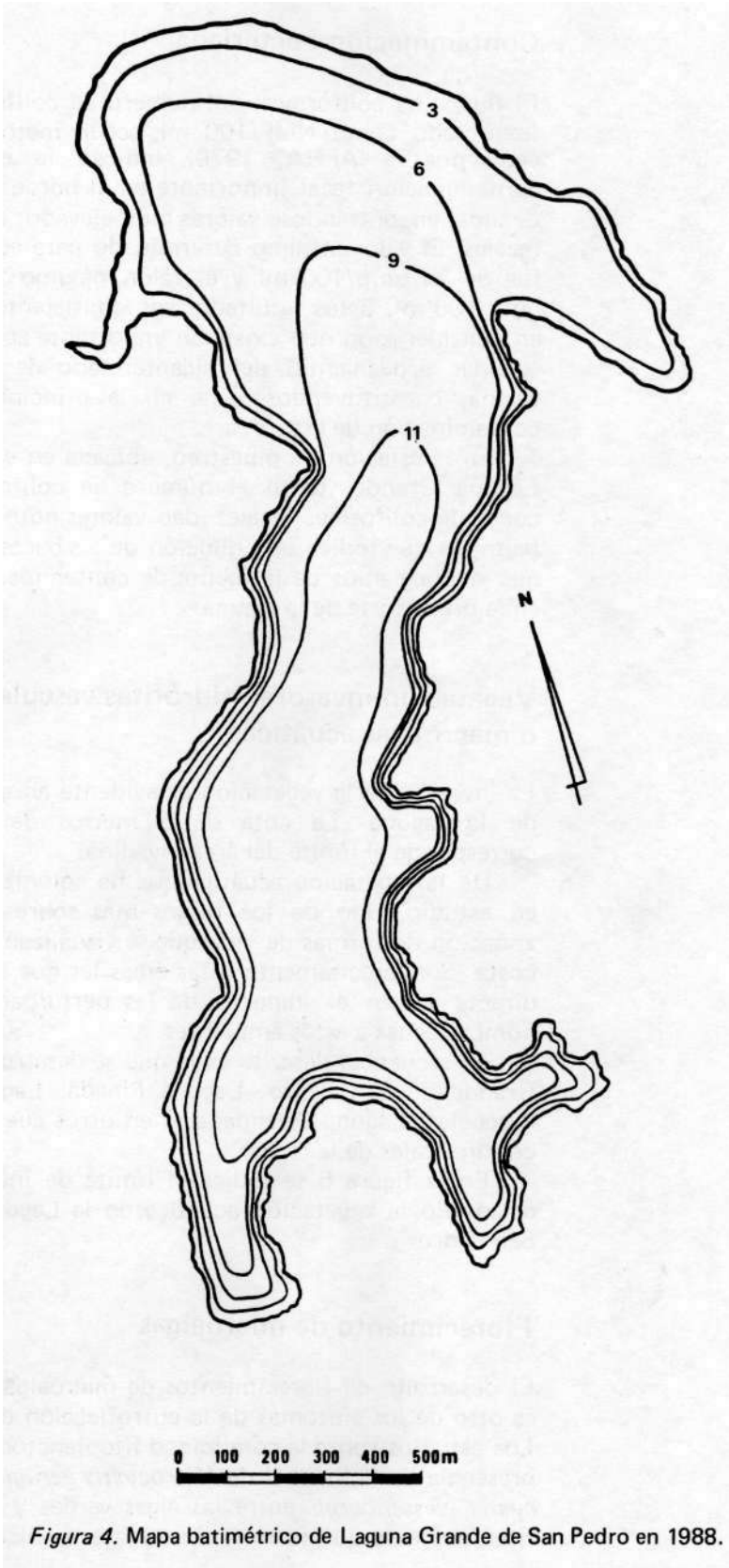


Figura 4. Mapa batimétrico de Laguna Grande de San Pedro en 1988.

Contaminación bacteriana

El índice de coliformes y el número de coliformes fecales (expresado como NMP/100 ml, según metodología indicada por la APHA, 1970) indican la existencia de contaminación fecal importante en el borde de la Laguna Grande, encontrándose valores muy elevados de coliformes fecales. El valor mínimo determinado para este parámetro fue de 35 ump/100 ml y el valor máximo fue > 11.000 ump/100 ml. Estos resultados son consistentes, si se tiene en consideración que existe un importante aporte de aguas servidas provenientes del alcantarillado de la población vecina, constituyéndose éste en la principal fuente de contaminación de esta área.

En la estación de muestreo, ubicada en el centro de la Laguna Grande, tanto el número de coliformes totales como de coliformes fecales dan valores notoriamente más bajos, lo que indica una dilución de las bacterias a medida que nos alejamos de la fuente de contaminación, ubicada en la orilla norte de la laguna.

Vegetación invasora: hidrófitas vasculares o macrófitas acuáticas

La invasión de la vegetación es evidente en el área noreste de la laguna. La cota de 5 metros de profundidad corresponde al límite del área invadida.

De la vegetación acuática que ha colonizado la laguna en estudio, uno de los rasgos más sobresalientes es la zonación de formas de vida que se visualizan paralelas a la costa. Son precisamente estas áreas las que en forma más directa sufren el impacto de las perturbaciones que el hombre causa a estos ambientes.

La secuencia descrita es la que se desarrolla en Laguna Grande de San Pedro, Laguna Pineda, Laguna Las Tres Pascualas, Laguna Avendaño y en otros cuerpos de aguas continentales de la región.

En la figura 5 se indica el límite de invasión que ha alcanzado la vegetación acuática en la Laguna Grande de San Pedro.

Florecimiento de microalgas

El desarrollo de florecimientos de microalgas o "blooms" es otro de los síntomas de la eutroficación de esta laguna. Los estudios sobre la comunidad fitoplanctónica indican la presencia de "blooms" de *Microcystis aeruginosa* y *Microcystis wessenbergii* entre las algas verdes y azules. Otros fitoplanctones que forman abundantes poblaciones son las



Figura 5. Distribución y límite de invasión de los macrofitos en Laguna Grande de San Pedro.

diatomeas *Melosira granulata* y *Asterionella formosa* y las clorofíceas o algas verdes *Closterium aciculare*, *Cosmocladium pusillum*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Nephrocytium agardhianum*.

Todas las especies nombradas son indicadores de ambientes acuáticos eutróficos. Además la laguna presenta una gran biomasa fitoplanctónica. Se ha llegado a contar más de 40 millones de células por litro de agua.

A diferencia de la Laguna Redonda, no se ha desarrollado una floración tóxica de microalgas que en esa laguna provocó una mortandad masiva de peces (Parra *et al.*, 1986).

Criterios de calidad del agua, categoría trófica y posibilidades de uso del cuerpo de agua

Rast y Holland (1988) presentan los criterios que se utilizan para determinar calidad del agua y sus respuestas en relación al proceso de eutroficación. Los parámetros considerados son físicos, químicos y biológicos (Tabla N° 6).

TABLA N° 6

Criterios de calidad del agua

Físicos	Químicos	Biológicos
Transparencia (D)	Concentración de nutrientes (I)	Frecuencia de floraciones de algas (I)
Sólidos suspendidos (I)	Clorofila <i>a</i> (I)	Diversidad de especies de algas (D)
	Conductividad (I)	Biomasa planctónica (I)
	Sólidos disueltos (I)	Vegetación litoral (I)
	Déficit de oxígeno hipolimnético (I)	Zooplancton (I)
	Sobresaturación del oxígeno epilimnético (I)	Fauna de fondo (I)
		Diversidad de fauna del fondo (D)
		Producción primaria (I)

(I) = Incrementa.
(D) = Decrece.

Al comparar los resultados obtenidos en los estudios limnológicos (Parra *et al.*, 1977; Dellarossa y Parra, 1985, y Parra *et al.*, 1989), se constata el patrón definido en la

Tabla N° 6, es decir, una tendencia alta de deterioro de la calidad del agua de la laguna.

En la Tabla N° 7 se presentan los valores límites para determinar el grado o categoría trófica de los cuerpos de agua (Rast y Holland, 1988). Los valores encontrados en la Laguna Grande y que se presentan en las Tablas 3, 4 y 5 definen a este cuerpo como fuertemente eutrófico.

TABLA N° 7

Valores límites para determinar el grado o categoría trófica de los cuerpos de agua

Categ. trófica	Fosf. total	Clor. <i>a</i>	Clor. <i>a</i> ($\mu\text{gr/l}$)		Disco Secchi (m)	
	($\mu\text{gr/l}$)	Valor M.	Valor M.	Valor Máx.	Val. medio	Val. mín.
Ultraoligotrófico	< 4,0	< 1,0	< 2,5	> 12,0	> 6,0	> 6,0
Oligotrófico	< 10,0	< 2,5	< 8,0	> 6,0	> 3,0	> 3,0
Mesotrófico	10,35	2,5-8	8-25	6-3	3-1	3-1
Eutrófico	35-100	8,25	22-75	3-1,5	1,5-0,7	1,5-0,7
Hipertrófico	> 100	> 25	> 75	1,5	> 0,7	> 0,7

Fósforo total = Media anual en la concentración de fósforo total en el lago.

Valor de clorofila *a* = Media anual de la concentración de clorofila *a* en aguas superficiales.

Valor máximo de clorofila *a* = Pique anual de la concentración de clorofila *a* en aguas superficiales.

Profundidad media Disco Secchi = Media anual de la profundidad del Disco Secchi.

Profundidad mínima de Disco Secchi = Mínima anual de la profundidad del Disco Secchi.

Estos valores límites son medidos por aproximación a un punto en un espectro de calidad de agua que designa una condición característica de la calidad del agua. Tales límites son, según Rast y Holland (1987), herramientas de trabajo convenientes y proveen en muchos casos una útil "regla indicativa". Sin embargo, su aplicación parcial puede conducir a errores, es decir, un lago debe ser clasificado en una condición trófica dada sobre la base de varios parámetros y nunca sobre uno solo.

En suma, un cuerpo de agua clasificado como eutrófico puede no presentar necesariamente todos los síntomas negativos de eutroficación. Alternativamente, un cuerpo de agua clasificado como oligotrófico puede ocasionalmente experimentar "blooms" o floraciones algales (un buen ejemplo es el Lago Villarica).

Basándose en las condiciones tróficas, una aproximación lógica en la formulación de los objetivos de control o manejo de la eutroficación es determinar la condición trófica y relacionarla con la calidad del agua aceptable para los posibles usos del cuerpo de agua. En seguida intentar

un manejo del cuerpo de agua de modo que estas acciones sean ejecutadas. Se puede identificar calidad del agua, aceptable u óptima para determinados usos. Aunque esto no tiene un carácter cuantitativo en su naturaleza, una revisión de los usos de los cuerpos de agua se muestra en la Tabla N° 8, tanto del estado trófico óptimo como el mínimamente aceptable para tales usos.

TABLA N° 8

Diferentes usos de masas de agua y la condición trófica necesaria

Uso de agua deseado	Condición Trófica	
	Requerido	Todavía tolerable
Producción de agua potable	oligotrófico	mesotrófico
Recreación (natación)	mesotrófico	suavemente eutrófico
Deportes náuticos (sin natación)	mesotrófico	eutrófico
Acuicultura (peces)	oligotrófico	mesotrófico
Riego (por medio de canales)	---	fuertemente eutrófico
Producción de energía	---	fuertemente eutrófico

De acuerdo a la Tabla N° 8, Laguna Grande de San Pedro sólo estaría apta actualmente para deportes náuticos, excluyendo la natación. Hoy en día se practican deportes náuticos, como botes a vela, surfing, etc., pero con cierta dificultad por la presencia de vegetación invasora. Otro uso posible sería el riego, pero debido a la alta contaminación bacteriana presente esto tampoco sería recomendable. En todo caso debe recalarse que el uso lógico de este cuerpo de agua debe ser el recreacional, ya sea por su gran belleza y ubicación, pero, como decíamos, este uso con las actuales condiciones está muy limitado.

Estrategias de control y manejo del proceso de eutroficación

Los programas de control de la eutroficación pueden estar dirigidos, ya sea directamente a tratar las causas (*Le.*, reduciendo las entradas de nutrientes, principalmente entradas de compuestos fosforados o nitrogenados desde la cuenca de drenaje o bien de entradas puntuales artificiales) o atacar los síntomas [*Le.*, cosechas periódicas de la vegetación de macrófitas invasoras). Ambas estrategias han sido practicadas en Laguna Grande de San Pedro. La

primera a través de la construcción del colector de las tuberías que evacúan el rebalse de las aguas servidas y que actualmente las hace llegar al efluente natural de la laguna (Estero Los Batros). La segunda estrategia se practicó en forma experimental, pero bastaron no más de cinco meses para que la hectárea que se limpió fuera nuevamente cubierta por esta vegetación. Somos de opinión de insistir en la reducción de las entradas artificiales puntuales, ya que según lo indica el último estudio (Parra *et al.*, 1989) estas siguen siendo los aportes más importantes de nutrientes al sistema acuático.

Otro problema que deberá estudiarse en forma prioritaria es el régimen hidrológico de la laguna para poder determinar el balance hidrológico. Ello permitiría establecer el balance de materia y energía necesario para un programa de control de la eutroficación. Al respecto debe tenerse en cuenta que la laguna parece tener un importante aporte de aguas subterráneas y que el efluente natural (Estero Los Batros) deja de vaciar la laguna durante 5 a 6 meses (desde mediados de noviembre hasta fines de mayo), lo que agrava aún más la eutroficación de la laguna. La eficiencia del vaciado del Estero Los Batros probablemente ha sido disminuida por intervención antrópica. Un estudio hidrológico amplio aportaría información importante para diseñar un programa de recuperación.

De acuerdo a Rast y Holland (1988) el desarrollo de estrategias de manejo del problema de la eutroficación debe considerar los siguientes pasos:

1. Identificar el problema de eutroficación y establecer objetivos de manejo.
2. Evaluar la información disponible existente del cuerpo de agua.
3. Identificar métodos disponibles y practicables de control de la eutroficación.
4. Analizar todos los costos y beneficios esperados de las alternativas de estrategias de manejo.
5. Analizar el marco de regulaciones administrativas y legales para implementar estrategias de manejo.
6. Seleccionar estrategias de control y darlas a conocer a las partes interesadas.
7. Utilizar mecanismos institucionales para minimizar futuros problemas de eutroficación.

De lo anterior se desprende que el desarrollo e implementación de estrategias de manejo efectivas de eutroficación deben estar basadas sobre la consideración holística de un complejo de factores técnicos y no técnicos. Tales estrategias deben estar dirigidas hacia la optimización de la calidad del agua para usos deseados del recurso hidrológico en cuestión. Quienes deban tomar decisiones, deben estar seguros de que la calidad de un cuerpo de agua eutroficado puede ser mejorada. El criterio

primario de decisión para establecer programas de control de la eutroficación es definir si los beneficios esperados del programa son una buena inversión para los fondos públicos.

Hasta el momento lo efectuado en Laguna Grande de San Pedro se enmarca dentro de los postulados anteriores. Lo planificado por la "Comisión de Recuperación de Laguna Grande de San Pedro" ha sido ejecutado sólo parcialmente y algunas acciones no han tenido una coordinación adecuada. Por lo tanto, debe procurarse que el programa se mantenga en el tiempo cumpliendo estrictamente la secuencia de lo planificado.

LITERATURA CITADA

- DELLAROSSA, V. & O. PARRA. 1985. Estudio de la Laguna Grande de San Pedro y del Lago Lanalhue. Red Nacional Mínima de Control de Lagos. Convenio Dirección General de Aguas y Universidad de Concepción.
- EMESA Ltda. 1984a. Estudio Laguna Grande de San Pedro. Concepción. Tomo I. Alternativas de uso de suelo riberano. 116 pp.
- EMESA Ltda. 1984b. Estudio Laguna Grande de San Pedro. Concepción. Tomo II. Alternativas de uso de suelo riberano. 100 pp.
- INTEC. CHILE. 1980. Evaluación del impacto causado por actividades industriales en el medio ambiente acuático. Diagnóstico de la situación actual. 183 pp.
- PARRA, O.; E. UGARTE & V. DELLAROSSA. 1978. Estudios limnológicos comparativos de las lagunas Chica de San Pedro, La Posada y Lo Méndez: consideraciones acerca de su contaminación. Universidad de Concepción, 52 pp.
- PARRA, O.; E. UGARTE & V. DELLAROSSA. 1981. Periodicidad estacional y asociaciones en el fitoplancton de tres cuerpos lénticos en la región de Concepción, Chile. *Gayana Bot.* 36: 1-35.
- PARRA, O.; E. UGARTE, L. BALABANOFF, S. MORA, M. LIEBERMANN & A. ARON. 1980. Remarks on a bloom of *Microcystis aeruginosa*. *Nova Hedwigia* 33: 971-1004.
- PARRA, O.; D. AVILES, J. BECERRA, V. DELLAROSSA & R. MONTROYA. 1986. First toxic blue-green algal bloom recorder for Chile: a preliminary report. *Gayana Bot.* 43 (1-4): 15-17.
- PARRA, O., V. DELLAROSSA, M. CONEJEROS, H. CAMPOS & W. STEFFENS. 1989. Estudio de la eutroficación de las lagunas Grande de San Pedro y las Tres Pascualas. Convenio Ilustre Municipalidad de Concepción y Universidad de Concepción.
- RAST, W.; & M. HOLLAND (1988). Eutrophication of lakes and Reservoirs. A framework for making management decisions. *Ambio.* 17 (1): 2-12.
- VOLLENWEIDER, R.A. 1980. Control de la eutroficación. La naturaleza y sus recursos 16 (3): 10-15.