

# CARACTERIZACIÓN Y MONITOREO DE SISTEMAS LACUSTRES EN CHILE

*Carlos Salazar, Ingeniero Jefe Depto de Estudios y Planificación, [carlos.salazar@moptt.gov.cl](mailto:carlos.salazar@moptt.gov.cl)*

*Marco Soto, Director Regional DGA II Región, [marco.soto@moptt.gov.cl](mailto:marco.soto@moptt.gov.cl)*

## *Dirección General de Aguas.*

### **1.- Introducción**

La Dirección General de Aguas (DGA) dentro de sus programas de medición del recurso hídrico ha venido desarrollando un proyecto de monitoreo de lagos a nivel nacional, iniciado en la década del 80 con el estudio Red Nacional Mínima de Control de Lagos.

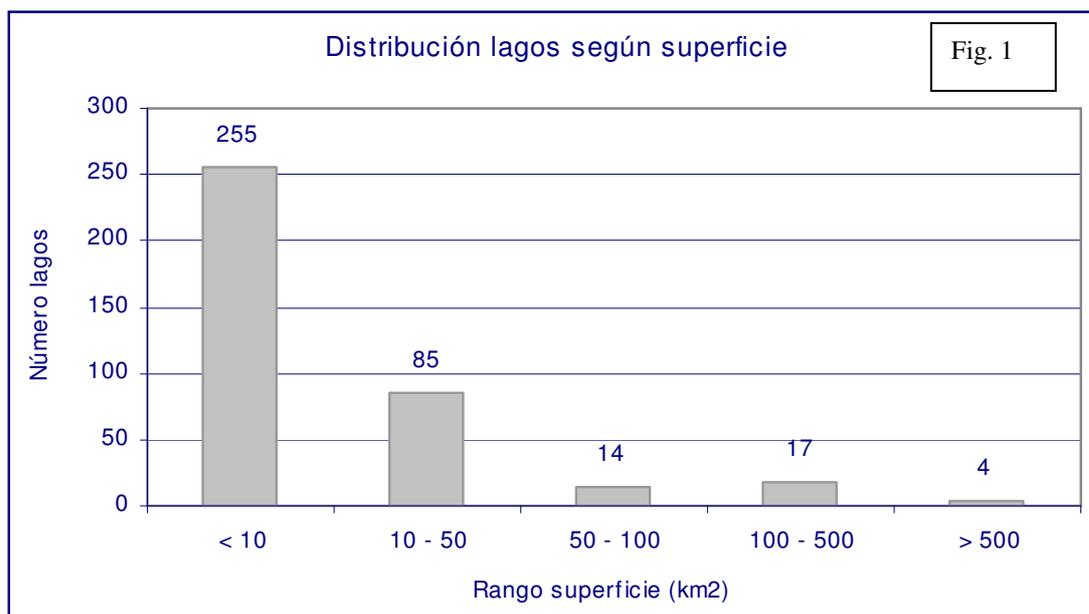
A partir de esto se desarrolló una serie de estudios específicos en diversos lagos considerados representativos para el establecimiento de una Red Mínima Nacional, producto de dichos estudios a fines de la década del 80 se dio inicio al programa de monitoreo limnológico orientado a disponer de información sistemática que permitiese conocer las características básicas de dichos cuerpos de agua y constituirse en una base objetiva para evaluar su evolución en el tiempo. La DGA también ha estado incorporando otros aspectos en esta materia, en la perspectiva de disponer de elementos de juicio basados en criterios científico-técnicos que permitan avanzar en la gestión de estos cuerpos de agua en una perspectiva integrada. Es así como se ha venido trabajando en balance de nutrientes y en el conocimiento de la hidrodinámica.

El objetivo del presente trabajo es presentar una síntesis de los resultados obtenidos a partir de cerca de 10 años de monitoreo señalando también tendencias que es posible apreciar para parámetros relevantes que permiten evaluar su condición trófica.

## 2.- Red de Monitoreo de Lagos

La DGA en el inicio de su programa Red Nacional Mínima de Control de Lagos efectuó un levantamiento catastral de lagos, a partir del cual se identificaron cerca de 380 lagos, con una superficie mayor a 3 km<sup>2</sup>, presentándose tabla siguiente un detalle por Región y la distribución de frecuencia según rangos de superficie (fig. N°1).

REGIÓN	N° DE LAGOS	SUPERFICIE TOTAL (km <sup>2</sup> )
I	7	46
II	6	25
III	8	62
IV	6	45
V	7	18
VI	5	90
VII	8	105
VIII	7	201
IX	8	379
X	52	2.850
XI	124	4.748
XII	130	2.595
RM	7	28
TOTAL	375	11.191



En dicho programa se define una red de monitoreo básico para lo cual se inicia un conjunto de estudios específicos orientados a una caracterización de los lagos en términos de su calidad físico-química y parámetros de carácter biológico con el objeto de efectuar una evaluación de su condición trófica y proponer un plan de monitoreo de carácter sistemático.

El programa de monitoreo establecido identificó inicialmente 15 lagos, sobre la base de criterios de representatividad espacial, importancia regional y condición de uso. A partir de esta identificación la DGA inició a mediados de los 80 el desarrollo de estudios limnológicos específicos orientados a: 1) caracterizar el lago en términos físicos; químicos y biológicos 2) efectuar una evaluación de la condición trófica del lago y 3) proponer un plan de monitoreo de carácter permanente.

## **LOCALIZACIÓN DE LAGOS**

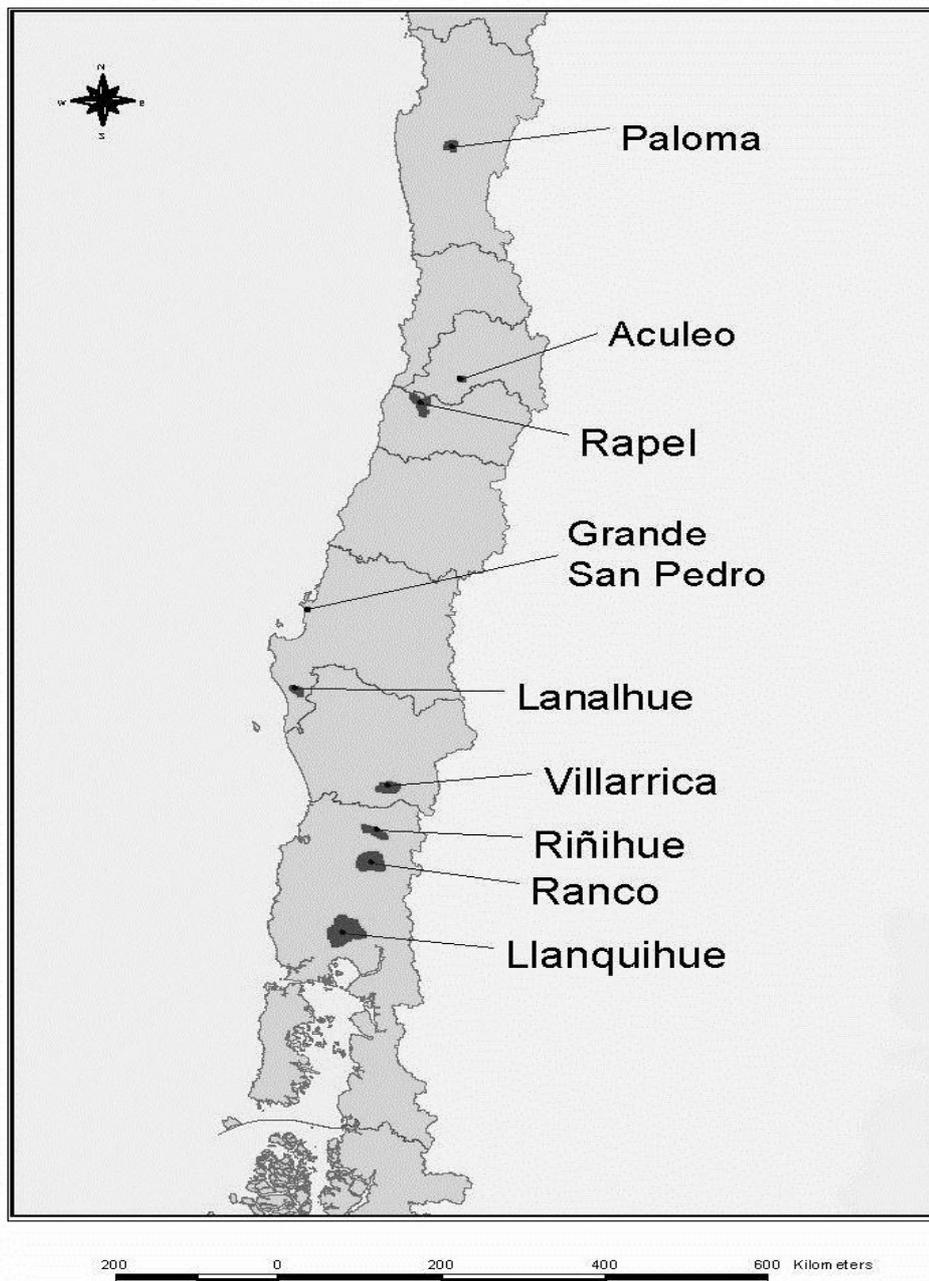


Fig N° 2

Cabe señalar que dichos estudios han sido desarrollados a través de convenios de cooperación técnica entre la DGA y diversas Universidades del país (U. de Chile, U. Austral, U. Concepción, U.

Tarapacá), habiéndose abordado estudios para los lagos Chungará, I Región; Embalse Paloma, IV Región; Laguna Aculeo y Embalse El Yeso en la Región Metropolitana; Embalse Rapel, VI Región; Lanalhue y Laguna Grande San Pedro, VIII Región; lagos Villarrica, Calafquén y Caburgua, IX Región; lagos Panguipulli, Riñihue, Ranco, Neltume, Pihueico, Maihue y Llanquihue, en la X Región y lagos Elizalde y Riesco, XI Región.

Dentro de estos lagos la implementación de un programa de monitoreo permanente y sistemático ha sido paulatina y gradual contándose con información procesada para los lagos (Paloma, Aculeo, Rapel, Lanalhue, Villarrica, Ranco, Riñihue y Llanquihue), información base para la elaboración del presente trabajo.

### 3. **Resultados**

En el presente trabajo presenta una relación sucinta de resultados obtenidos para aquellos lagos que disponen de información procesada. En el cuadro siguiente se presenta una síntesis de los parámetros medios y representativos de los lagos considerados y en la figura 2 se presenta la ubicación de ellos.

El monitoreo que se ha venido desarrollando en los lagos ha considerado mediciones con frecuencia estacional, considerando distintas profundidades a fin de obtener información sobre la variabilidad vertical, particularmente en aquellos cuerpos que presentan estratificación. La cobertura especial se aborda a partir del establecimiento de estaciones de medición en puntos representativos que varían entre 3 y 4 puntos por lago, dependiendo de sus dimensiones y características morfológicas.

Los parámetros de control corresponden, en esta primera fase de caracterización, a variables de tipo físico (temperatura, transparencia, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH); variables químicas tales como macroelementos, nutrientes y algunos metales pesados, dependiendo de eventuales situaciones de contaminación, y finalmente variables de tipo biológico (clorofila y productividad primaria).

**CUADRO N°1**

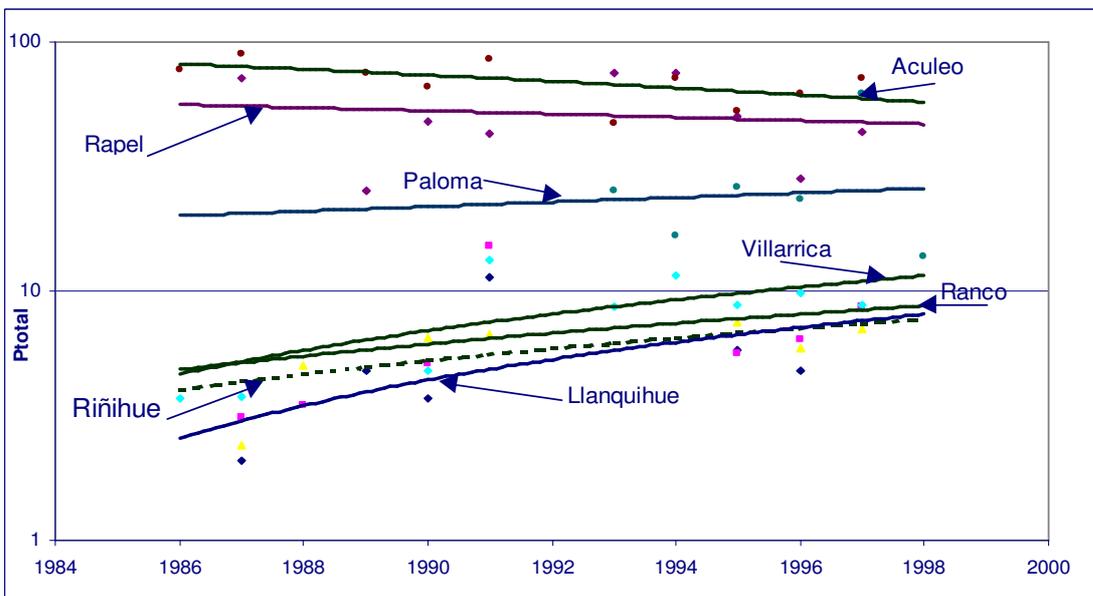
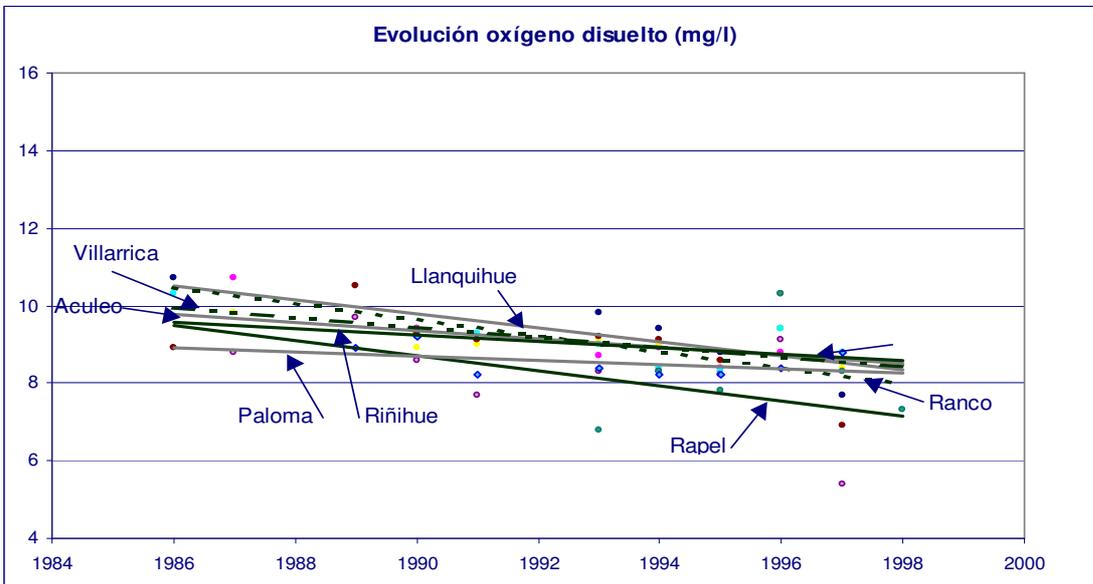
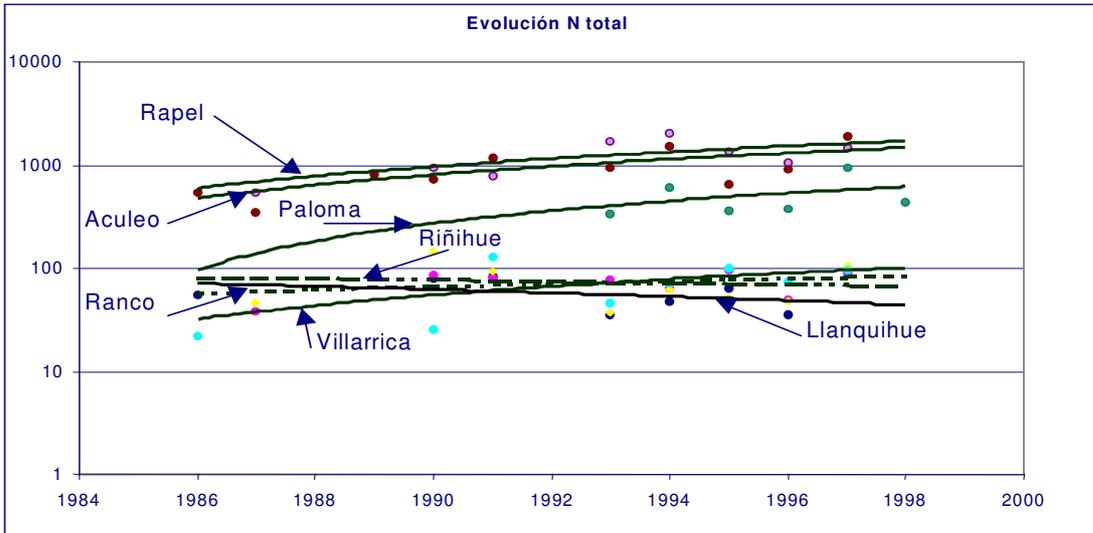
	<b>S</b> <b>(Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Prof. media</b> <b>(m)</b>	<b>Prof. max</b> <b>(m)</b>	<b>pH</b>	<b>C.E.</b> <b>(uS/cm)</b>	<b>T</b> <b>°C</b>	<b>O.D.</b> <b>mg/l</b>
<b>PALOMA</b>	46.0	25.6	69.5	7.3	301	19.2	7.5
<b>ACULEO</b>	11.5	3.4	5.0	8.9	84	18.8	9.0
<b>RAPEL</b>	72.8	7.4	25.6	8.0	419	16.4	7.3
<b>LANALHUE</b>	32.7	12.7	26.0	7.0	46	15.7	8.5
<b>VILLARRICA</b>	175.0	120.0	165.0	7.4	53	11.0	8.6
<b>RIÑIHUE</b>	87.9	162.0	323.0	7.2	46	11.7	8.7
<b>RANCO</b>	424.6	122.0	199.0	7.3	63	12	8.6
<b>LLANQUIHUE</b>	864.0	182.0	317.0	7.4	88	12.1	9.1

### 3.1 Tendencias interanuales

Para los efectos de analizar la evolución del lago, principalmente desde el punto de vista de la eutroficación, se ha considerado variables tales como oxígeno disuelto, nitrógeno total, fósforo total, transparencia y clorofila\_a. Para tal efecto es de interés contar con la red de monitoreo con el fin de identificar tendencias, especialmente en lo que respecta a condiciones de deterioro de la calidad de las aguas.

A partir de la información obtenida es posible advertir un proceso de deterioro en los lagos monitoreados, particularmente en los lagos de la zona sur (Villarrica, Riñihue, Ranco y Llanquihue) en los cuales los niveles de nutrientes y transparencia indican una tendencia clara, aun cuando su clasificación se mantiene en oligotrófica (Wetzel,1983. Limnology). Los lagos ubicados en la zona centro (Paloma, Aculeo y Rapel) presentan una condición de deterioro bastante más marcada, los niveles de P y N los ubican en una condición eutrófica; sin embargo no se detecta, a nivel de valores medios anuales, una tendencia de agravamiento. En las figura N° 3 es posible apreciar las tendencias globales al respecto identificándose claramente el agrupamiento de los lagos indicados.

Fig N° 3



### 3.2. Interrelación entre variables de estado

Por otra parte se han correlacionado las distintas variables indicadas con el propósito de establecer relaciones entre ellas que permitan su aplicación con fines de generar información que no estuviera disponible o disponer de elementos de apoyo con fines predictivos desde el punto de vista de la planificación o gestión. Para tal efecto se han considerado la transparencia (disco secchi), nitrógeno total, fósforo total y clorofila-a, dado que corresponden a parámetros generalmente utilizados para la evaluación de la condición trófica de un lago.

Se obtuvieron ajustes bastante razonables a través de ecuaciones del tipo potencial ( $y=ax^b$ ) con coeficientes de correlación  $r^2$  entre 0.74 y 0.85. En síntesis se han identificado para valores medios anuales las siguientes relaciones:

<i>Transparencia v/s clorofila_a</i>	$T = 11.044 CI^{-0.782}$	( $r^2 = 0.848$ )
<i>Trasparencia v/s Fósforo Total</i>	$T = 63.902 PT^{-1.042}$	( $r^2 = 0.857$ )
<i>Nitrógeno Total v/s Transparencia</i>	$NT = 714.31 T^{-0.958}$	( $r^2 = 0.844$ )
<i>Nitrógeno Total v/s Fósforo Total</i>	$NT = 8.846 PT^{1.127}$	( $r^2 = 0.833$ )
<i>Clorofila v/s Fósforo Total</i>	$CI = 0.188 PT^{1.134}$	( $r^2 = 0.736$ )
<i>Clorofila_a v/s Nitrógeno Total</i>	$CI = 0.033 NT^{0.899}$	( $r^2 = 0.743$ )

donde

**T:** Transparencia (m)

**CI:** Clorofila\_a (ug/l)

**PT:** Fósforo Total (ug/l)

**NT:** Nitrógeno Total (ug/l)

En las figuras 4 y 5 se presentan los ajustes obtenidos, cabe señalar que las ecuaciones resultantes concuerdan con los resultados obtenidos en otros países.

Figura N° 4

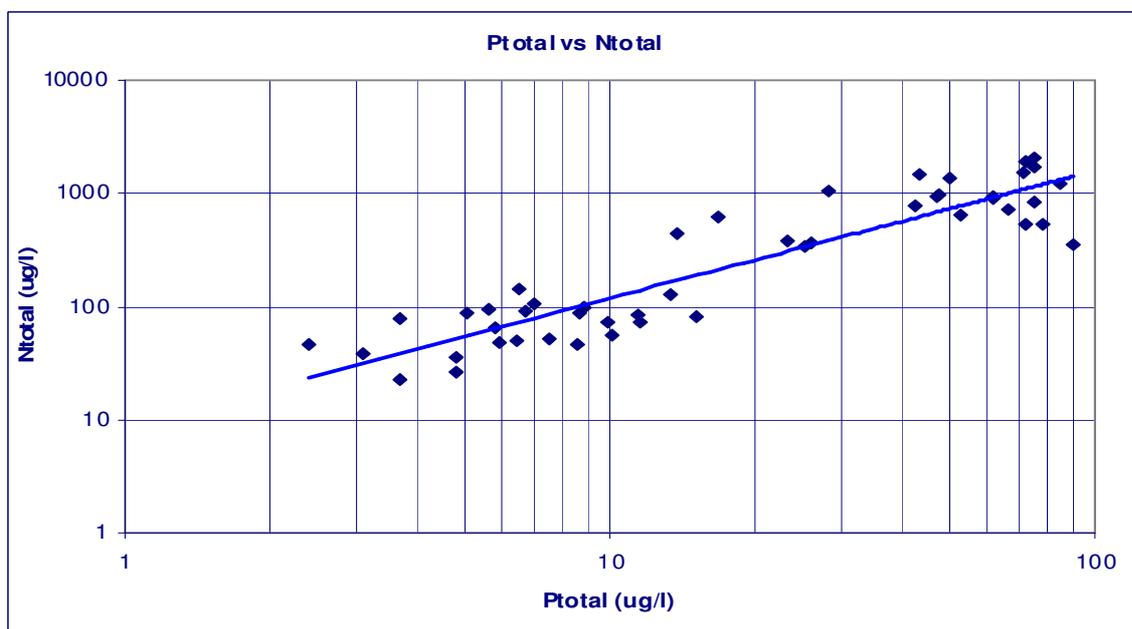
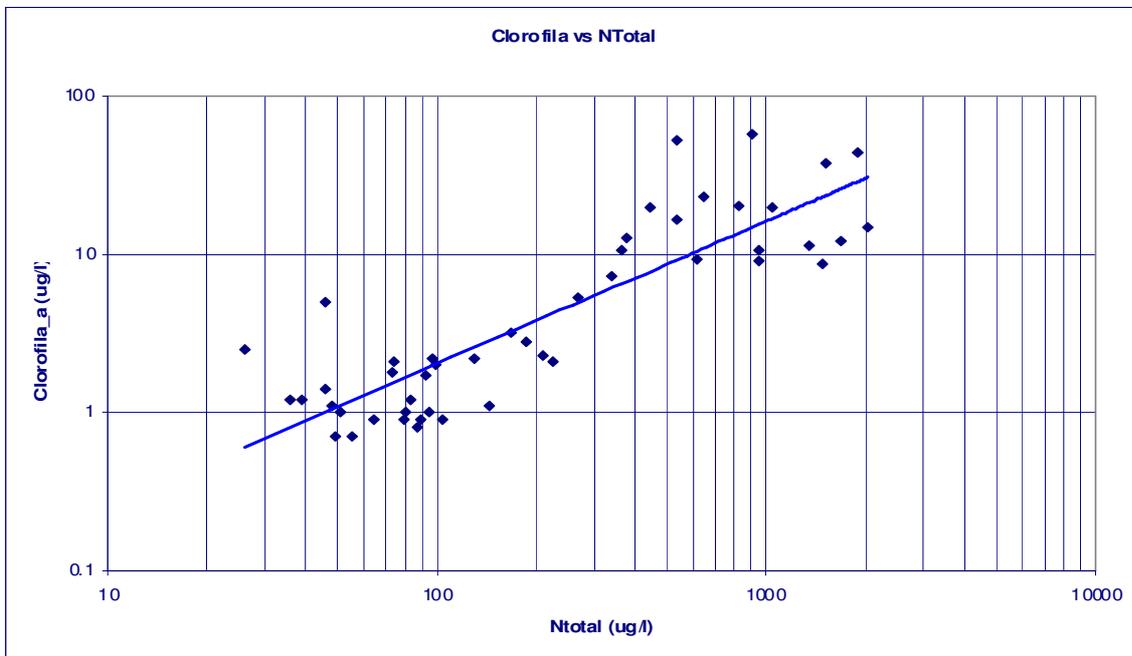
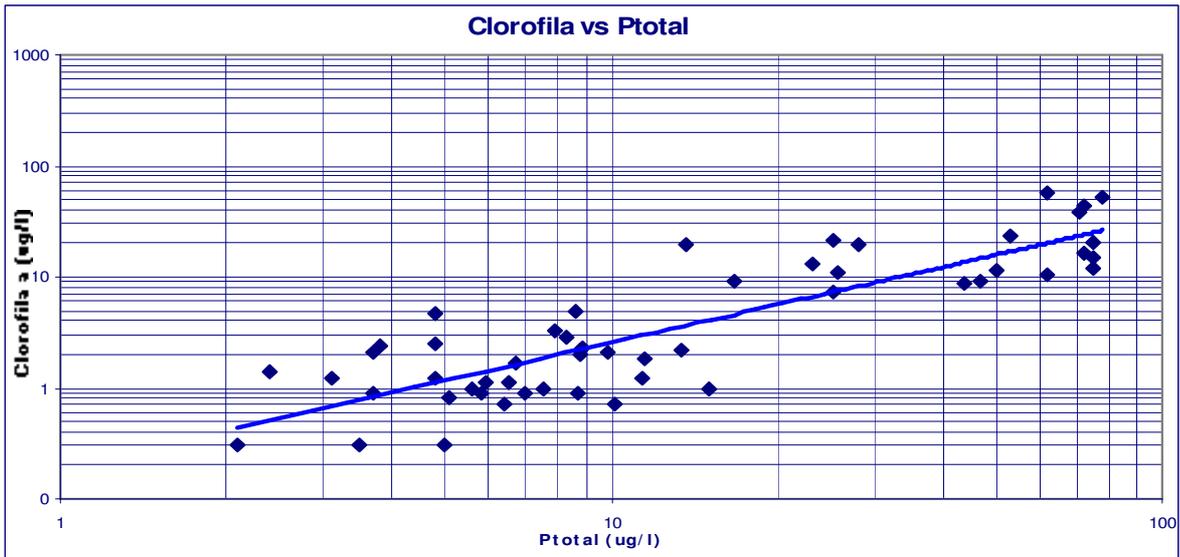
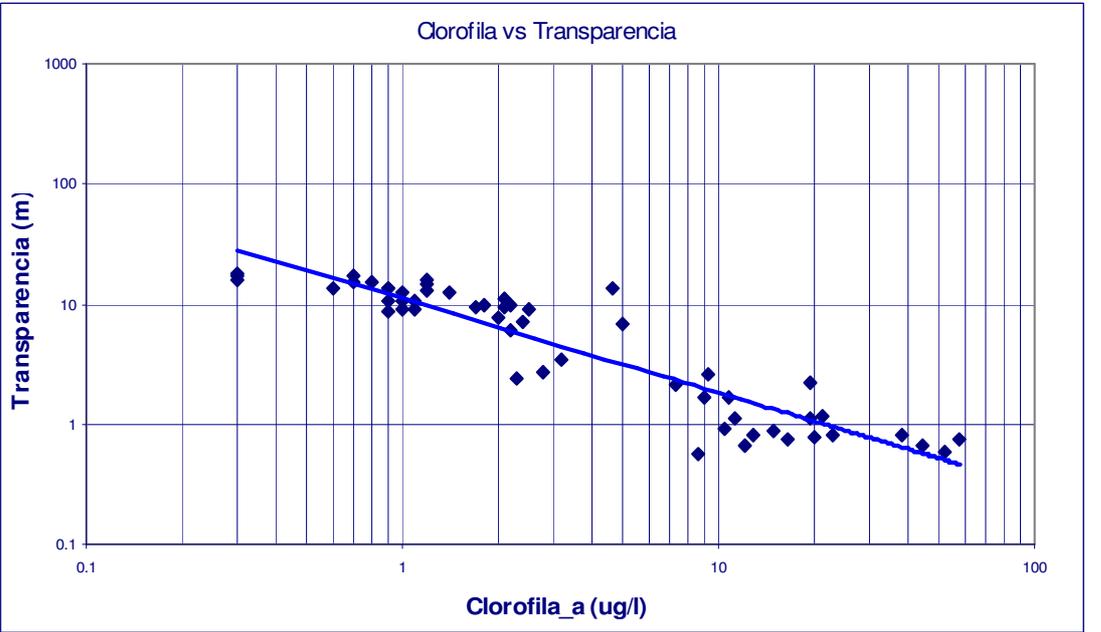
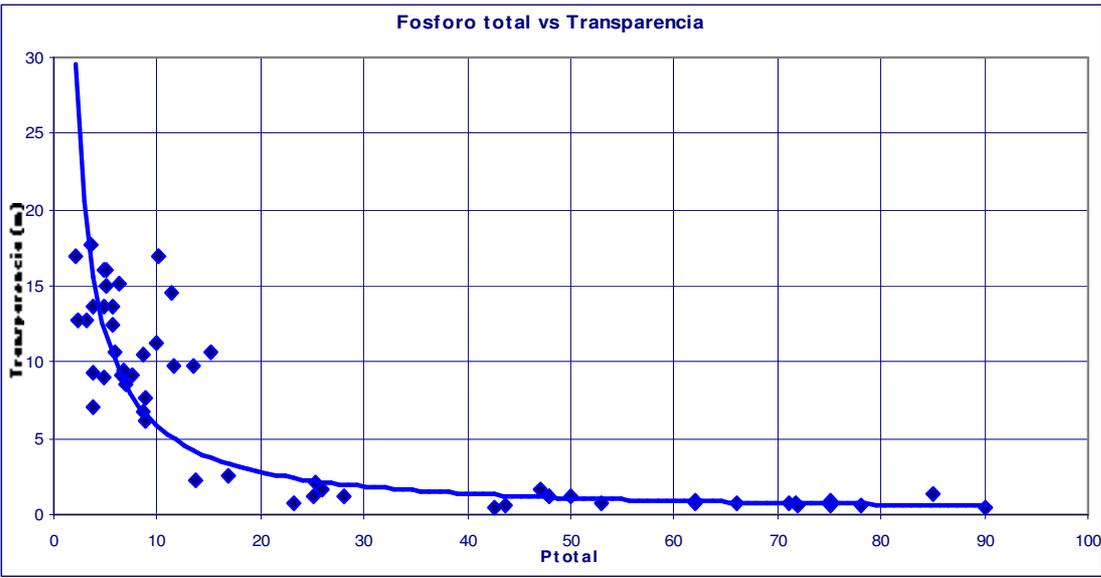
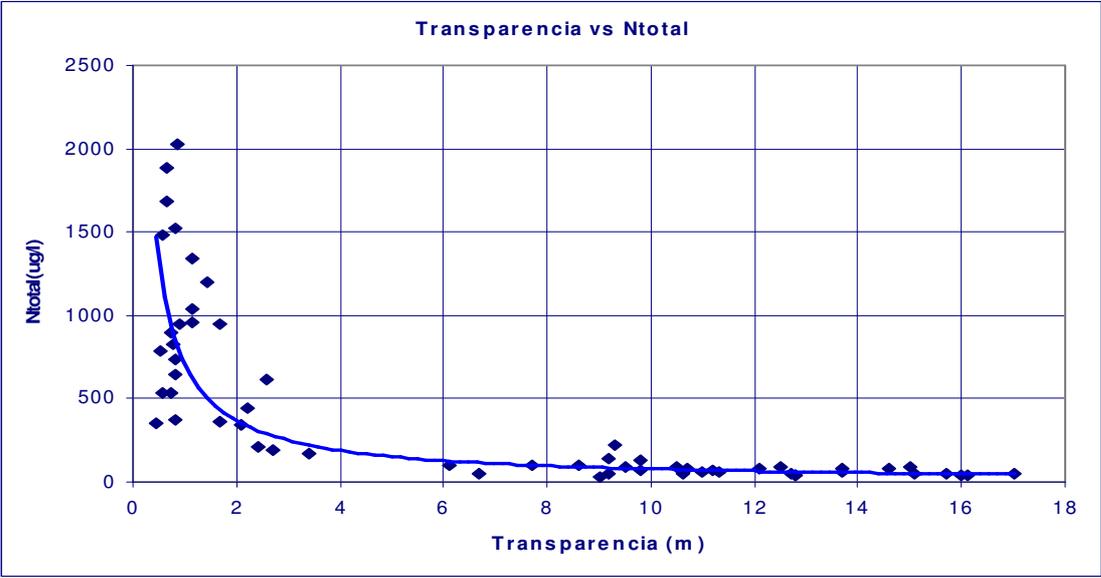


Figura N° 5



#### **4. Conclusiones y recomendaciones.**

- El monitoreo que desarrolla la DGA es la única labor de carácter sistemático que se viene efectuando en los lagos con una visión de carácter nacional.
- Los resultados del monitoreo realizado permiten identificar tendencias y condiciones locales de deterioro en los lagos.
- A partir de la información generada es posible establecer relaciones entre variables relevantes que permitan extrapolar tendencias o escenarios para fines de gestión y planificación, obteniéndose ajustes funcionales adecuados y concordantes con resultados consignados en la literatura.
- Es conveniente revisar periódicamente la calidad (continuidad y representatividad) de información para generar una base de datos homogénea y representativa para cada lago, en este sentido resulta conveniente incorporar dentro del monitoreo parámetros adicionales orientados a la cuantificación de procesos biológicos.