



**Facultad de Ciencias**

**Departamento de Biología y Ciencias Ambientales**

**Carrera de Ingeniería Ambiental**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y TRÓFICA DEL  
EMBALSE LO OVALLE Y LINEAMIENTOS PARA UNA  
GESTIÓN AMBIENTAL  
CASABLANCA – V REGIÓN**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

Tesistas: Luis Cosgrove Herrera  
Arturo Silva Muñoz

Profesor Guía: Dr. Hernán Gaete Olivares

**Valparaíso, Chile  
2006**

*.... Dedicamos el presente trabajo de título a nuestras familias y, en especial a nuestros padres, por su sincero e irrestricto apoyo durante toda nuestra vida universitaria; siendo esto para nuestros seres queridos sinónimo de felicidad y orgullo, no sólo por ser una señal más de superación y constancia, sino además por hacerse realidad una parte de sus sueños....*

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos los más sinceros agradecimientos a nuestro Profesor Guía Hernán Gaete por sus valiosos consejos, además de su paciencia y prestancia y, en general, a todas las personas e instituciones que, de una forma u otra, contribuyeron en la elaboración de este trabajo.

# ÍNDICE

Resumen	7
Summary	8
Introducción	9
Marco teórico	11
I.    ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE	11
1.1 Aspectos generales	11
1.2 Función de los nutrientes en la ecología de los ecosistemas acuáticos	12
1.2.1 Ciclo del nitrógeno	13
1.2.2 Ciclo del fósforo	14
1.2.3 Relación nitrógeno fósforo	15
II.   LAGOS NATURALES Y EMBALSES	17
2.1 Aspectos generales	17
2.2 Tipos de embalses	19
III.  CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES	23
3.1 Aspectos generales	23
3.2 Principales contaminantes del agua	24
3.3 Contaminación difusa de las aguas	25
3.3.1 Aspectos generales	25
3.3.2 Principales causas y efectos de la contaminación difusa	26
3.3.3 Contaminación difusa en Chile	28
3.4 Procesos de eutrofización de las aguas superficiales	29
3.4.1 Aspectos generales	29
3.4.2 Efectos de la eutrofización	33
3.4.3 Control de la eutrofización	38
3.4.4 La eutrofización en Chile	43

IV.	CARACTERÍSTICAS DEL VALLE DE CASABLANCA _____	45
4.1	Antecedentes generales _____	45
4.2	Características del suelo _____	45
4.3	Clima _____	46
4.4	Recursos hídricos del Valle _____	47
Planteamiento del problema _____		49
Objetivos _____		50
	Objetivo General _____	50
	Objetivos Específicos _____	50
Metodología _____		51
V.	Área de Estudio: Embalse Lo Ovalle _____	51
VI.	Diseño de Muestreo _____	54
VII.	Esquema general del estudio _____	60
Resultados _____		61
VIII.	Antecedentes morfométricos del Embalse Lo Ovalle _____	61
IX.	Parámetros fisicoquímicos y nutrientes _____	61
X.	Actividades desarrolladas dentro del embalse y actividades productivas realizadas en la cuenca de drenaje _____	72
Discusiones _____		76
XI.	Análisis y discusión de los parámetros fisicoquímicos _____	76
XII.	Comparación con Normativa para estimación del estado trófico del embalse Lo Ovalle _____	79
XIII.	Posibles causas que explicarían el actual estado trófico y eventual mortandad de la población de pejerrey argentino en el embalse Lo Ovalle _____	83

XIV. Propuesta de lineamientos destinados a mejorar el estado trófico de las aguas del embalse Lo Ovalle _____	85
Conclusiones _____	89
Referencias bibliográficas _____	91
Anexos _____	96

## **RESUMEN**

Por su naturaleza y dinámica, los lagos y embalses tienen características especiales que los hacen muy proclives a la contaminación. A través del tiempo, las descargas de contaminantes han provocado la degradación de la calidad del agua y la pérdida de biodiversidad, debido, entre otras razones, a los procesos eutróficos. La eutrofización de un cuerpo de agua consiste en un proceso natural caracterizado por un enriquecimiento de nutrientes y cuyos principales síntomas son el incremento de la productividad y la disminución de la cantidad de oxígeno disuelto, y donde los principales responsables son los contenidos de fósforo y nitrógeno. Hoy en día, la eutrofización está en aumento, dado que las actividades humanas han acelerado en forma peligrosa su avance natural, a tal punto que se considera como uno de los principales problemas de calidad del agua a nivel mundial. En esta ocasión, el embalse Lo Ovalle ubicado en el Valle de Casablanca, --- V Región de Chile ---, se encuentra inserto en una zona esencialmente agrícola, con una creciente actividad vitivinícola, además de cierto desarrollo ganadero (principalmente bovino), actividades que sin duda amenazan los ecosistemas acuáticos colindantes. El proyecto consistió en diagnosticar las condiciones tróficas del embalse, mediante medición de parámetros fisicoquímicos y nutrientes, permitiendo no sólo estimar su actual estado trófico, sino también identificar sus principales causas. En efecto, se constató niveles de nutrientes que indicarían un deterioro importante de la calidad hídrica del embalse y cuyos resultados permitieron delinear propuestas con miras a protegerlo de mejor forma.

## **SUMMARY**

By their nature and dynamics, the lakes and reservoirs have special characteristics that do them very prone to the contamination. Through the time, the discharges of contaminants have caused the degradation of the water quality and the loss of biodiversity, owed, among others reasons, to the eutrophication processes. The eutrophication of a water body consists of a natural process characterized by an enrichment of nutrients and whose main symptoms are the increment of the productivity and the decrease of the dissolved oxygen quantity and where the main heads are the contents of phosphorus and nitrogen. Nowadays, the eutrophication is in increase, due to that the human activities have accelerated dangerously its natural advance, to such extent that is considered like one of the main problems of water quality on a worldwide basis. In this occasion, the reservoir Lo Ovalle located in the Valley of Casablanca, --- V Region of Chile ---, is found in an essentially agricultural zone, with a growing wine activity, besides certain cattle development (mainly bovine), activities that no doubt threaten the adjacent aquatic ecosystems. The project consisted of diagnosing the trophic conditions of the reservoir by means of measurement of physicochemical parameters and nutrients, permitting not only to reckon its present trophic state, but also to identify its main causes. In fact, nutrient levels were verified that would indicate an important deterioration of the water quality of the reservoir and whose results permitted to delineate proposals to protect it of better form.

## **INTRODUCCIÓN**

Los lagos, embalses y escorrentías son las fuentes más valiosas de agua destinada al consumo humano a nivel mundial. La vida de muchas personas depende tanto de los lagos naturales como de aquellos artificiales (embalses), los cuales abastecen de agua bebestible y para el desarrollo industrial y agrícola. Se debe agregar que, los lagos y embalses proveen oportunidades para la recreación de carácter único. Sin embargo, los lagos y embalses tienen características especiales, las que los hacen vulnerables a la contaminación y degradación. La entrada de contaminantes orgánicos proveniente de diversas fuentes se ha traducido en la alteración de la calidad del agua. La eutrofización de lagos y embalses es, en general, un proceso que nace de la incorporación de nutrientes procedente de los desagües agrícolas y de las descargas urbanas e industriales sin tratamiento. La eutrofización acelerada de lagos y embalses que se ha generado a través del tiempo y que prosigue actualmente en la mayor parte del mundo a causa de las actividades antrópicas, constituye una seria degradación de la calidad de las aguas. En efecto, el deterioro de la calidad del agua a causa de la eutrofización, puede acarrear tanto problemas a la salud humana como pérdidas económicas.

Se debe mencionar también que muchos de estos problemas son fruto del incesante desarrollo que experimentan los países. El crecimiento de la agricultura, incluyendo la construcción de sistemas de drenaje y riego, el uso de fertilizantes y pesticidas, además de la tala de bosques y el establecimiento de industrias dentro de las cuencas de lagos y embalses, a menudo causan la eutrofización de dichos cuerpos de agua. En los países desarrollados, la gestión sobre muchos lagos y sobre sus correspondientes cuencas ha traído consigo prevenir la eutrofización. Sin embargo, políticas apropiadas a nivel local y adaptadas nacionalmente, además de pautas tendientes a una verdadera gestión ambiental sobre lagos y embalses, son herramientas necesarias para preservar los preciados recursos hídricos en todas las naciones del mundo.

El presente trabajo muestra la situación actual del embalse Lo Ovalle, haciendo especial énfasis en la calidad de sus aguas, mediante la medición de parámetros fisicoquímicos y nutrientes claves que permitieron no sólo verificar su estado trófico, sino que también ayudar a esclarecer las posibles razones que, en estos últimos años, han provocado la pérdida de biodiversidad, específicamente del pejerrey argentino (*Odontesthes bonariensis*, principal especie íctica del embalse) y posteriormente, proponer lineamientos adecuados para enfrentar situaciones tales como la eutrofización de sus aguas, lo que en terreno se traduzca en un mejor manejo del recurso hídrico y ecosistema del embalse; además de entregar información útil que contribuya a mejorar la gestión de los cuerpos de agua del Valle de Casablanca.

# MARCO TEÓRICO

## I. ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

### **1.1 Aspectos generales**

Los servicios que prestan los ecosistemas de agua dulce a todos los organismos de nuestro planeta se hallan en la raíz misma del desarrollo de la especie humana a través de los tiempos. Los seres humanos han aprendido por experiencia que un suministro constante y confiable de agua limpia es indispensable para la seguridad de todos y cada uno de los seres vivos. Los primeros asentamientos humanos se localizaron a lo largo de los principales ríos, cerca de lagos y fuentes de agua dulce, otorgando no solamente agua, sino también alimento y transporte.

Como todos los ecosistemas, los de agua dulce exhiben un conjunto de condiciones físicas y químicas, y una variabilidad espacial y temporal que en su conjunto le confieren carácter y apoyo a las comunidades y servicios contenidos en ellos; por lo mismo, la mejor manera de conservar los procesos y la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce es entender y preservar este conjunto de características que definen este tipo de ecosistema.

Entre los beneficios y servicios de los ecosistemas de agua dulce tenemos **(1)**:

a) Uso directo de aguas superficiales y subterráneas.

- Usos comerciales y domésticos.
- Riego agrícola.
- Agua para ganadería y acuicultura.
- Energía eléctrica (calefacción y enfriamiento).
- Usos industriales y manufactureros.
- Control de incendios.

b) Productos de los ecosistemas saludables de agua dulce.

- Peces y fauna silvestre (aprovechamiento comercial y de subsistencia).
- Productos de los bosques ribereños (madera y fruta).
- Productos vegetales de las planicies de inundación, humedales y lagos.

c) Servicios prestados por los ecosistemas saludables de agua dulce.

- Transporte (que puede ser proporcionado por sistemas degradados).
- Almacenamiento de agua (en glaciares y cuencas hidrográficas).
- Control de inundaciones (que puede ser proporcionado por sistemas degradados).
- Depósito de nutrientes en áreas agrícolas en las planicies de inundación.
- Purificación natural de desechos.
- Hábitat que sostiene la diversidad biológica.
- Moderación y estabilización de microclimas urbanos y naturales.
- Estética y salud mental.
- Recreación (pesca deportiva, cacería, paseos en bote, natación).

## **1.2 Función de los nutrientes en la ecología de los ecosistemas acuáticos**

En el ambiente pelágico, el crecimiento del fitoplancton es de gran importancia, ya que provee la base de la cadena alimenticia que culmina con los organismos superiores. Este proceso, conocido como fotosíntesis, requiere de ciertos elementos para su desarrollo, como el dióxido de carbono disuelto y otros macronutrientes que son tomados directamente del agua por los organismos. Para ello utilizan la energía solar, que es captada por el fitoplancton y convertida en energía biológica almacenada en forma de compuestos orgánicos de gran potencial energético. El crecimiento y distribución del fitoplancton están controlados por varios factores, tanto físicos (luz, temperatura, corrientes), como biológicos (índices de crecimiento, interacciones entre especies) y químicos (disponibilidad de nutrientes o de sustancias promotoras del crecimiento). Para un buen desarrollo de las especies fitoplanctónicas es necesario un abastecimiento suficiente de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes; como silicio y cobre, entre otros.

### 1.2.1 Ciclo del nitrógeno

Dentro de las características del ciclo del nitrógeno hay que señalar que, a diferencia de los ciclos del fósforo y del silicio, es mucho más complejo, ya que presenta diversos cambios en el estado de oxidación, su depósito no es de tipo sedimentario sino gaseoso, sus sales son altamente solubles y sólo es termodinámicamente estable en sus formas de nitrógeno molecular, nitratos en condiciones óxicas y amoniacal en condiciones anóxicas **(2)**.

El nitrógeno se puede encontrar en el medio de diferentes formas: disuelto utilizable por el fitoplancton, disuelto no utilizable por el fitoplancton, formas orgánicas disueltas complejas y nitrógeno orgánico particulado, que forma parte de la materia viva y muerta. Los aportes más importantes de nitrógeno a los ecosistemas acuáticos son suministrados por las aguas superficiales y corrientes subterráneas, la fijación microbiana del nitrógeno atmosférico y en los sedimentos, y los depósitos húmedos y secos de la atmósfera en la superficie expuesta de los dominios acuáticos **(2)**.

Aunque al principio se pensó que la única fuente de nitrógeno para el fitoplancton eran las formas inorgánicas, con el tiempo se ha ido comprobando que éste es capaz de utilizar formas orgánicas disueltas como la urea, el ácido úrico y los aminoácidos **(3)**.

La utilización de las formas inorgánicas implica un primer paso de absorción y posteriormente la transformación de las diferentes especies hasta integrarlas en la matriz orgánica de la célula. No obstante existe, desde el punto de vista del costo energético, diferencias claras entre la utilización de las formas oxidadas (nitratos y nitritos) y el amonio. Los nitratos y nitritos deben ser reducidos previamente a amonio (por medio de la nitrato y nitrito reductasa) y el amonio es convertido en glucosamato (por medio de glucosamato deshidrogenasa) Estas diferencias hacen que el amonio sea utilizado preferencialmente frente al nitrito y nitrato **(2)**.

En los ecosistemas acuáticos, la mayor parte de la fijación del nitrógeno la realizan las cianobacterias fotosintéticas (las antiguas algas verde azuladas) que viven libres en el agua y que fijan el nitrógeno, tanto como nitratos o como amonio. En los ecosistemas de agua dulce, cianobacterias son consideradas como las fijadoras del 78% del total de

nitrógeno **(3)**.

Los procesos por los cuales el nitrógeno es reconvertido en amonio son principalmente bacterianos (descomposición bacteriana). Las especies aeróbicas utilizan la materia orgánica disuelta o suspendida como alimento y satisfacen sus requerimientos de energía con su oxidación a dióxido de carbono, utilizando el oxígeno disuelto presente en el agua. Cuando el alimento se termina, las bacterias mueren y se descomponen rápidamente, aportando amonio y fosfatos al medio **(3)**.

El oxígeno disuelto en el agua puede ser consumido a una velocidad mayor a la que es reemplazado desde la atmósfera, lo que ocasiona que los organismos acuáticos compitan por el oxígeno y en consecuencia se vea afectada la distribución de la vida acuática.

### **1.2.2 Ciclo del fósforo**

El fósforo es un elemento vital e irremplazable en todos los organismos, ya que forma parte del ADN, ARN, fosfolípidos, ATP y C – AMP. Los compuestos fosforados como el ATP juegan un papel muy importante en la fotosíntesis y otros procesos en las plantas.

Existen tres ciclos del fósforo en las aguas naturales; uno es un ciclo anual, en el cual el fitoplancton incorpora a las células fósforo disuelto y se hunde como células viables o biodetritus a capas más profundas, donde la autólisis y la actividad bacteriana remineralizan el fósforo orgánico a ortofosfatos el cual es devuelto a la capa eufótica por mezcla vertical; el segundo ciclo ocurre completamente en la capa eufótica, donde el zooplancton consume al fitoplancton y remineraliza el ortofosfato con la ayuda de bacterias intestinales; el tercer ciclo es un estado estacionario que se mantiene entre el fósforo contenido tanto en bacterias como en fitoplancton y el fósforo disuelto **(2)**.

Cuando el fitoplancton y las bacterias mueren, el fósforo orgánico de sus tejidos se convierte rápidamente a fosfatos por medio de las fosfatasa en las células. La mayor

parte del fitoplancton es consumido por animales, así estos consiguen el fósforo que necesitan. El material no asimilado se pierde en las heces fecales que contienen cantidades apreciables de fosfatos orgánicos además de ortofosfatos **(2)**.

En estuarios y dominios de agua cerrados se pueden encontrar altas concentraciones de nutrientes como resultado de las descargas urbanas o efluentes que contienen detergentes ricos en polifosfatos. Estas concentraciones pueden ser aumentadas por nitratos y fosfatos introducidos por los aportes de tierra de cultivos a las que se les han añadido fertilizantes. Estas condiciones pueden llevar a proliferaciones de fitoplancton que al morir producen una deficiencia de oxígeno disuelto en la columna de agua **(2)**.

### **1.2.3 Relación Nitrógeno Fósforo**

Es indudable que las variaciones en la cantidad de nutrientes y sus fuentes, juegan un papel primordial en todos los ecosistemas acuáticos. La presencia de nutrientes determina en primera instancia la cantidad de productividad primaria del sistema, base fundamental de una parte sustancial de la trama trófica acuática.

Los fenómenos más comunes asociados a los nutrientes son la carencia o su exceso; ambos con severas consecuencias en la biota acuática. La escasez de nutrientes está asociada a aguas oligotróficas, esto es, con áreas o sistemas acuáticos completos con una mínima producción primaria. En el otro extremo, se encuentran las aguas o sistemas distróficos o hipereutróficos, en donde la generación continua y masiva de biomasa, principalmente fitoplantónica, auspicia serios problemas en los flujos energéticos **(4)**.

Cuando existe suficiente cantidad de N y P, se produce un crecimiento masivo de algas en la superficie de las masas de agua, que al morir caen al fondo, donde se descomponen agotando el oxígeno en profundidad.

En efecto, la relación media N:P en la materia vegetal suele ser 16:1, mientras que en las aguas no eutrofizadas es mayor de 100:1, con el resultado de que generalmente el fósforo (que en su ciclo biogeoquímico no tiene una reserva atmosférica), actúa como limitador en el crecimiento de la biomasa vegetal. En determinados ambientes acuáticos eutrofizados esta relación puede llegar a ser menor de 16:1, y entonces el nitrógeno se convierte en el elemento limitador **(5)**.

Si existe mucho nitrógeno y poco fósforo hay una gran posibilidad de que proliferen algas verdes. Cuando ocurre lo contrario, es decir, poco nitrógeno y mucho fósforo es muy probable la multiplicación algas verde-azules **(6)**.

Por otra parte, las características químicas del agua condicionan la composición del fitoplancton de los embalses, la escasa concentración de nitrógeno inorgánico, da lugar a un valor muy bajo del cociente N:P, lo que favorece el desarrollo de cianobacterias **(7)**.

## II. LAGOS NATURALES Y EMBALSES

### 2.1 Aspectos generales

Los lagos naturales tienen diferentes orígenes, los contruidos por represa de un valle (ventisquero, lava, rocas derrumbadas, lodos, etc.) y los demás, que pueden ser de origen tectónico, formados por disolución de rocas, etc. Los primeros son considerados represas naturales y su edad es variable **(8)**. Los lagos naturales normalmente ocupan depresiones naturales de la topografía local. Por consiguiente están localizados en el centro de cuencas de drenaje relativamente simétricas y contiguas con entradas al lago desde varios puntos de su alrededor **(9)**.

Los embalses –que tienen la particularidad de ser de edad reciente **(8)**- se forman generalmente mediante la construcción de una presa en un río o arroyo, consiguiéndose embalsar el agua mediante el obstáculo de la presa, principalmente en regiones donde se producen fluctuaciones por exceso o déficit de agua. Los excesos provocan inundaciones, mientras que la falta de agua obliga a almacenarla por un tiempo o a largo plazo. Los embalses están contruidos generalmente en el límite inferior de una cuenca de drenaje. De ahí que las cuencas de drenaje de un embalse sean frecuentemente estrechas y alargadas, con sólo una pequeña porción de la cuenca contigua al embalse **(9)**.

Desde un punto de vista físico, un lago natural –con afluentes más o menos importantes- posee una evacuación superficial que le confiere un nivel casi constante, aunque variable según las estaciones, de acuerdo con los cambios en las precipitaciones y en la cuenca del río. Estas variaciones de nivel imponen a las condiciones del medio ambiente cierta reproductibilidad. Los organismos vivos responsables de la evolución biológica de las aguas son capaces de soportar estas variaciones estacionales, lo cual determinará la constitución del sistema lacustre, por lo menos en su zona litoral **(8)**.

En un embalse, en la mayoría de los casos, una gran parte del agua anual, sedimentos y entrada de nutrientes penetran en el embalse a través de un único y gran afluente, ubicado en un punto superior a cierta distancia de la presa. Debido a estas características, se produce frecuentemente un gradiente espacial en los patrones de concentración de los sedimentos y nutrientes a lo largo de la masa de agua, especialmente en embalses alargados y estrechos. Esto va acompañado por un gradiente en la productividad biológica y en la calidad del agua del embalse **(9)**.

Cuando se establece el balance de entrada y salida de agua en un lago, sea natural o artificial, es posible definir tres tipos de cuerpos de agua **(8)**:

\_ Lagos con balance hidrológico positivo, en que las entradas de agua son lo bastante importante para que haya un sobrante de evacuación.

\_ Lagos con balance hidrológico nulo, son cuerpos de agua poco estables, ya que es difícil que tengan un equilibrio entre las entradas y salidas de agua, teniendo en cuenta la evolución en el tiempo de los factores climáticos.

\_ Lagos con balance hidrológico negativo, son temporarios. En efecto, si las salidas (principalmente por evaporación) son más importantes que las entradas (superficiales o subterráneas), la masa de agua va a disminuir y tenderá a desaparecer. La evaporación está relacionada con superficie de contacto agua-aire y con el volumen de agua presente. En ciertos casos se establece un equilibrio, al llegar una cierta situación de reducción, por lo cual estos lagos se estabilizan. En otros casos algunos lagos desaparecen completamente, por lo que son llamados de temporada.

Los lagos naturales descargan sus aguas superficiales mediante desbordamientos no controlados, mientras que el agua de los embalses generalmente sale mediante compuertas sumergidas en la presa, localizadas con frecuencia a distintas profundidades en la columna de agua. El efecto neto de estos factores es que los embalses pueden presentar gradientes físicos, químicos y biológicos que ordinariamente no se dan en los lagos naturales **(9)**. De este modo y desde el punto de vista químico, hay grandes diferencias entre lagos naturales y embalses, ya que los primeros siguen un ciclo anual de variaciones en la composición química del agua, el cual está en directa relación con las fluctuaciones de los caudales de entrada y salida y con la evaporación; esto en un cuerpo de agua estacionalmente estratificado térmicamente; mientras que en un embalse, los fenómenos son los mismos cualitativamente, pero a menudo están desplazados temporalmente, lo cual produce múltiples reacciones en cadena, entre las cuales está la modificación de las condiciones del ambiente de los organismos pelágicos. Por lo tanto, la evolución térmica del cuerpo de agua es diferente para los dos casos, al igual que la repartición del oxígeno disuelto **(8)**.

Desde el punto de vista biológico, las diferencias son más notables. La estabilidad biológica depende de la presencia constante de organismos de todo tamaño, función y duración media de sus vidas. Los que viven más y tienen una inercia biológica suficiente son los que mejor caracterizan a un lago natural o artificial. En un lago natural se

establece un equilibrio entre organismos con ciclo de vida corto o largo, el que evoluciona con las estaciones. En un embalse, la precariedad de las condiciones de vida elimina a menudo estos últimos y sólo se desarrollan animales y vegetales que se multiplican rápidamente: algas, infusorios, rotíferos, microcrustáceos del plancton, bacterias y hongos **(8)**. En un lago natural, la biocenosis evoluciona de acuerdo a las variaciones de las condiciones únicas del medio y estas variaciones tienen una periodicidad regular. Por el contrario, en un embalse explotado, al ser regulado el balance hídrico, los organismos vivos se seleccionan según su adaptabilidad a cambios bruscos **(10)**.

La diversidad es una medida del equilibrio de una biocenosis lacustre. Los lagos mantienen biocenosis tanto más diversificadas cuanto más estables son biológicamente. Por otra parte, las represas tienen, por lo general, una diversidad menor. Se producen explosiones de ciertas especies vegetales o bien el desarrollo anárquico de algunos animales libres o parásitos. Sus aguas se ven enriquecidas con productos de secreción, excreción y descomposición que provienen de las especies ya mencionadas, las cuales, además, reducen por heteroantagonismo la diversidad del medio **(8)**.

Existen lagos naturales que presentan un metabolismo análogo a los embalses, son aquellos que muestran señales de eutrofización. De hecho, todos los embalses no están en el estado de productividad que les correspondería, muy por el contrario. Sin embargo, a menudo ambos tienen un metabolismo, una diversidad y una sensibilidad comparables, en relación a los agentes externos.

## **2.2 Tipos de Embalses**

Un embalse siempre es una acumulación de agua que tiene como particularidad poder ser parcial y/o totalmente vaciada por gravedad o por aspiración. Los embalses reciben distintas denominaciones de acuerdo a su origen, tipo o destino.

Más que el origen, es el uso que se les da a los embalses el que nos interesa. Sin embargo, conviene no dejar de lado las características esenciales de un embalse, relacionadas con su situación geográfica y su morfología. De este modo, Shadin distingue **(10)**:

\_ Embalses creados sobre el curso de un río, son profundos (lago de represa) o de variados lagos en el curso de agua.

\_ Embalses creados por modificación morfológica de un lago natural.

\_ Lagos artificiales constituidos por aportes de agua en un valle seco.

Cada uno de estos tipos puede dividirse, además, según la forma de la parte sumergida en:

\_ Embalses en forma de arroyo en que la longitud es muy diferente a la del ancho.

\_ Embalses de fondo plano o extendido, cuya longitud y ancho son más o menos similares.

Los embalses son clasificados según sus usos, teniendo en consideración que cada uno de ellos no es exclusivo y que varios usos pueden ser compatibles, sobre todo en el caso de grandes embalses. La clasificación de los embalses de acuerdo a los usos preferentes que justificaron su creación es **(8)**:

\_ Potencial Energético.

Los embalses destinados a producir energía hidroeléctrica son los que resaltan más por ser los de mayor tamaño. Por lo general, son los que necesitan mayores inversiones y los que, en los países más industrializados, son requeridos para acrecentar el potencial económico de la región y la comodidad de sus habitantes.

\_ Regulación de caudales.

Las crecidas están vinculadas con las fluctuaciones estacionales de pluviosidad y con la permeabilidad de las rocas de la cuenca del río. Sostener esta agua permite ayudar a evacuar con regularidad los desperdicios líquidos y sólidos que transporta un río.

\_ Estanques de compensación.

La función esencial de los estanques de compensación es regularizar los caudales, así como también la calidad del agua, sobre todo por su capacidad de autodepuración aguas abajo.

\_ Navegación.

Los embalses destinados a la navegación son de tres tipos: los destinados a asegurar la profundidad del agua necesaria para la navegación en ríos muy poco

profundos, los que se destinan a almacenar agua necesaria para el funcionamiento de las esclusas en los canales y las esclusas en sí, que sirven de represas y de paso para todo lo que flota o nada.

\_ Usos recreativos y/o estéticos.

Los embalses destinados a este tipo de uso son en general verdaderos lagos, de no ser por la contaminación. La mayoría de las veces están bajo la estrecha dependencia de las condiciones del ambiente (precipitaciones, aportes, evaporación y vientos) y su evacuación es superficial, por lo que su nivel es poco variable. Se crean para satisfacer la vista, reservar un espacio destinado a reducir molestias por ruido, contaminación del aire (represas estáticas) y permitir la práctica de algunos deportes náuticos: embarcaciones a motor, vela, remo, baño (represas recreativas).

\_ Pesca, caza y acuicultura.

De no ser por algunas pocas excepciones, en todos los embalses pueden vivir peces y aves acuáticas. Se caracterizan por la presencia de canales que permiten la recuperación de los peces y por su esclusa construida para ajustar la altura del agua. Contrariamente a los otros tipos de embalses, éstos a menudo se fertilizan con abonos minerales para acrecentar su producción.

\_ Riego.

Las exigencias de la agricultura son grandes en agua de calidad y se manifiestan en períodos de sequía. La capa freática de la cual se sacaba esta agua ya no es suficiente en muchas regiones por lo que los embalses son cada vez más necesarios. Se crean por represamiento y acumulación de la cuenca de un río en un período húmedo, de las aguas lluvias y del escurrimiento, con el objetivo de utilizarlas en el período seco. Estos embalses se caracterizan por presentar fuertes variaciones estacionales del nivel de sus aguas y por sus aportes ricos en materiales en suspensión.

\_ Aguas para consumo humano.

Los embalses destinados a este uso están protegidos de contaminación de origen agrícola, urbano e industrial por un perímetro de protección. Son alimentados por ríos que concuerdan con las normas de calidad exigidas o bien por la capa freática local.

\_ Usos múltiples.

De hecho, son relativamente escasos los embalses con un solo tipo de uso. La mayor parte tiene aguas que son utilizadas para varios fines, sin embargo, no todos los usos son compatibles.

### III. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

#### 3.1 Aspectos generales

Las aguas continentales dulces constituyen un recurso natural limitado y escaso, afectado por un constante conflicto de intereses por su uso, ya que es esencial tanto para la mantención de la vida como también indispensable para las actividades productivas de la población. Tal situación ha provocado un constante proceso de pérdida de los usos potenciales de las aguas continentales y su posterior encarecimiento de las opciones de aprovechamiento. El fuerte crecimiento de la población y el acelerado desarrollo económico ha desencadenado el factor principal de inutilización de las aguas continentales: la contaminación ambiental.

Se puede entender por contaminación de aguas, a la presencia de materias extrañas que alteran o modifican las propiedades físicas, químicas, biológicas y/o radiactivas del agua, tendiendo a deteriorar su calidad, lo que puede degradar su utilización y/o constituir un riesgo para la salud **(11)**. En el contexto propio de Chile, no se restringe conceptualmente la contaminación a un fenómeno de origen humano, sino que se acepta también la connotación de fenómeno natural; aunque es evidente que la contaminación de origen humano es la de mayor interés, tanto por extensión como por magnitud y toxicidad y sus posibilidades de control.

Entre las principales consecuencias de la contaminación de las aguas se cuentan:

- la alteración o muerte de vida acuática,
- la transmisión de enfermedades entre los seres vivos (incluido el ser humano), especialmente por el contacto con aguas sucias,
- la reducción de los usos potenciales del agua (para vida acuática, para riego, para recreación),
- el aumento del costo de producción de agua potable, y
- la pérdida de belleza escénica y del potencial de uso turístico o recreativo.

### 3.2 Principales contaminantes del agua

En la siguiente tabla se entrega una lista con los principales contaminantes de las aguas superficiales junto a la fuente de la contaminación y una breve descripción del proceso.

**Tabla n° 1.** Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua (12):

Contaminantes y procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes Orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Industrial, domésticas, asentamientos urbanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento induce eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía agrícola.	Industrial, doméstica, agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares y o a través de lixiviados.	Industriales, mineras, act. militares.
Contaminación microbiológica.	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (E. coli, Amebas, Protistas, etc.).	Municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos.	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos poli cíclicos originados de la combustión de petróleo, compuestos orgánicos persistentes.	Industriales, asentamientos humanos, agrícola.
Químicos traza y compuestos farmacéuticos.	Desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidas necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos como carcinogénicos.	Industria Química, farmacia.
Partículas suspendidas.	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, deforestación y erosión.	Industriales, asentamientos humanos, agrícola.

Contaminantes y procesos	Descripción	Fuentes
Salinización.	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de aguas provenientes de zonas altas, donde se riega (lavado de sales)	Suelos, yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación.	Está relacionado con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica del agua producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Industriales, municipales.
Contaminación térmica	Los principales contribuyentes a la contaminación térmica son las plantas de energía eléctrica. Éstas, después de hacer circular grandes cantidades de agua a través de condensadores de vapor, devuelven el agua a una temperatura superior a la inicial.	Industria

Fuente: Escobar, 2002

### 3.3 Contaminación difusa de las aguas

#### 3.3.1 Aspectos generales

La contaminación difusa de las aguas corresponde a la provocada por las fuentes no puntuales de contaminación terrestre (fuentes difusas) que se generan por una amplia gama de actividades humanas en la que los contaminantes producidos por ellas y contenidos en sus descargas, no tienen un punto obvio de entrada a los cuerpos de agua receptores **(12)**. En otras palabras, la contaminación difusa no presenta una fuente de descarga fija, sino que hay una suma de aportes desde fuentes diversas - cada una con un aporte prácticamente imperceptible - que actúan por períodos largos de tiempo y cuyos efectos son acumulativos. Por ello, la contaminación difusa no está tan localizada espacialmente, como la contaminación por fuente fija (sector aguas debajo de un vertido), sino que generalmente tiende a afectar toda una cuenca, incluyendo el área marina

asociada.

Las fuentes difusas más evidentes corresponden a la agricultura, por el uso de pesticidas e insecticidas, así como también el aporte de residuos de insumos agrícolas y restos de vegetales y animales. La actividad forestal intensiva, sobre todo de plantaciones, también es una fuente difusa de contaminantes y produce, al igual que la actividad agrícola, cargas de nutrientes, pesticidas y sedimentos.

En el caso de las aguas subterráneas (como pozos y norias), el que las aguas deban cruzar suelo y subsuelo hace que sean recibidas por las napas, filtradas y libres de los sólidos en suspensión. Por ello, la contaminación difusa se manifiesta aquí, como un aumento de concentración de formas solubles de nutrientes (básicamente, nitrógeno) y plaguicidas (básicamente, herbicidas hidrosolubles) y en la reducción del oxígeno disuelto **(13)**.

### **3.3.2 Principales causas y efectos de la contaminación difusa**

La actividad agrícola utiliza un promedio cercano al 70 % de todas las fuentes de suministro de agua y ha sido reconocida como una de las principales fuentes difusas de contaminación de las aguas dulces, estuarinas y costeras **(12)**. Todas las fuentes causan contaminación debido a la descarga de contaminantes agrícolas y sedimentos a las aguas superficiales y subterráneas por efecto de la escorrentía que erosiona y causa pérdidas netas de suelo. También la contaminación se origina por el uso de aguas servidas en el riego, lo cual transmite enfermedades a los consumidores de estos productos agrícolas.

En la agricultura, es de suma importancia la utilización de fertilizantes en los suelos, principalmente en base a nitrógeno y fósforo.

Al aportar nitrógeno mediante fertilizantes, las plantas aprovechan únicamente el 50% del nitrógeno aportado en el abonado y además el suelo presenta bajo poder de adsorción para el nitrógeno, lo que supone que el exceso de nitrógeno se pierde, generalmente por lavado de suelo y por el agua que se filtra en el subsuelo. Esta situación se debe a que las sales de nitrato son muy solubles y la posibilidad de lixiviación es elevada. Estas aguas con alto contenido de nitrógeno son arrastradas hacia los acuíferos, ríos y embalses, contaminando las aguas destinadas al consumo humano, así como las mismas aguas de riego **(14)**.

Por otro lado, los abonos fosfatados son mucho menos móviles que los abonos

nitrogenados, por lo que el riesgo de que pasen a las aguas freáticas es mínimo. Sólo pasan a las aguas superficiales mediante su arrastre desde la superficie del suelo por escorrentía, cuando se producen fuertes lluvias después de su aplicación a la superficie. El riesgo que conlleva su paso a las aguas es la de la sobreeutrofización, ya que el fósforo suele ser el factor limitante en la eutrofización **(15)**.

La industria agro-procesadora de productos agrícolas es también una fuente importante de contaminación orgánica. La actividad agropecuaria es una fuente de contaminación en crecimiento, es responsable de la introducción de fertilizantes, pesticidas y sedimentos a las aguas costeras a través de los ríos. Las alteraciones de la cubierta vegetal y la corteza terrestre es la principal fuente de introducción de sedimentos a los ríos por acción humana. Se estima que cerca del 80% de los sedimentos finos que llegan a las aguas superficiales, son movilizados por prácticas agrícolas y cambios en la cobertura vegetal **(12)**.

En la tabla nº 2 se entrega una lista con las principales actividades agrícolas contaminantes y sus principales efectos en las aguas superficiales.

**Tabla nº 2.** Actividades agrícolas e impactos de la contaminación de las aguas **(12)**:

Actividad agrícola	Impacto en las aguas superficiales
Labranza - Arado	Sedimentación y turbidez: los sedimentos transportan fósforo y pesticidas absorbidos a las partículas de sedimentos, produciéndose pérdida de hábitats.
Fertilización	La escorrentía que transporta nutrientes, especialmente de fósforo, lleva a la eutrofización y causa olores y sabores en los sitios de captación de agua para consumo humano. Los excesos en el crecimiento de las algas llevan a una reducción del oxígeno disuelto en el agua y a la mortandad de peces.
Esparcimiento de abonos	Llevado a cabo como una actividad de fertilización, en los suelos poco permeables resulta en altos niveles de contaminación de las aguas receptoras con metales, nitrógeno y fósforo, y microorganismos patógenos. Inducen la eutrofización.
Pesticidas	La escorrentía con pesticidas resulta en contaminación de las aguas superficiales y de la biota, disfunción de los sistemas ecológicos por pérdida de los predadores por daños en las presas y en la velocidad de crecimiento, impactos en la salud pública por el consumo de organismos acuáticos contaminados. Los pesticidas pueden ser transportados como aerosoles a distancias mayores de 1000 Km de los lugares de aplicación.

Corrales – pérdida alimentos	Contaminación de las aguas superficiales con organismos patógenos (virus y bacterias), problemas crónicos en la salud humana, contaminación con metales contenidos en la orina y heces de los animales de granjas.
Riego y drenaje	Escorrentía con sales lleva a una salinización de las aguas superficiales, aporte de pesticidas y fertilizantes y elementos químicos, bioacumulación en organismos acuáticos vulnerables.
Limpieza y desmonte	La erosión de suelos conlleva altos niveles de turbidez en las aguas superficiales, pérdida de fondo de cauces y lechos, pérdida de hábitats, disfunción y cambios en el régimen hidrológico, problemas de salud humana y pérdida de fuentes de agua para consumo humano.
Silvicultura	Tiene un rango amplio de efectos, como escorrentía de pesticidas y contaminación de aguas superficiales y recursos acuáticos vivos, problemas de erosión y sedimentación.
Acuicultura y piscicultura	Liberación de pesticidas y otros químicos, altos niveles de nutrientes en las aguas por restos de alimentos y depósitos fecales.

Fuente: Escobar, 2002.

### 3.3.3 Contaminación difusa en Chile

A nivel nacional el uso del agua totaliza del orden de 2.300 m<sup>3</sup>/s, de los cuales un 30% corresponde a usos consuntivos y el 70% restante a usos no consuntivos; estos últimos principalmente hidroeléctricos. Las estimaciones futuras, al año 2015, consideran un fuerte incremento del uso hidroeléctrico, y dentro de los usos consuntivos un importante crecimiento relativo de los usos domésticos, industrial y minero. En relación con los usos consuntivos, el riego representa el mayor uso, con un 80,9%. Los restantes usos son de similar importancia: agua potable (4,4%), industria (7,9%) y minería (6,8%) (16).

El uso consuntivo del recurso hídrico reviste importante interés, si se considera

que el uso de fertilizantes en las zonas regadas del país entre 1980 y 1990 aumentó a una tasa promedio de aproximadamente 50 Kg/há a 150 Kg/há, este último valor es comparable con el de países desarrollados que tienen un agudo problema por contaminación de este tipo **(17)**.

Dicha contaminación por el uso de fertilizantes en la actividad agrícola, se ha observado en las áreas regadas de la VI región al norte, en especial en las aguas subterráneas de los cursos inferiores **(17)**.

Por otra parte, con relación a la posible contaminación por pesticidas, se puede señalar que no ha sido detectada en los estudios realizados por la DGA en aguas subterráneas y superficiales de Santiago al norte. Por su parte, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) ha medido trazas de pesticidas organoclorados en el 61,9% de las muestras obtenidas en los ríos de la VI región y en el 33,3% de las muestras correspondientes a la VII y VIII regiones. De acuerdo a estos antecedentes, se ha indicado que al parecer, los ríos no son vías preferentes de dispersión de estos compuestos **(17)**.

El control de la contaminación difusa (forestal, agrícola, acuícola y minera) ha sido muy escaso o casi nulo, debido a que no se presenta como un problema generalizado en la actualidad y porque su control es aún más complejo que para las fuentes puntuales **(17)**.

### **3.4 Procesos de eutrofización de las aguas superficiales**

#### **3.4.1 Aspectos generales**

La contaminación difusa de las aguas impone una vasta gama de cambios en el sistema ambiental afectado, todos ellos negativos desde la perspectiva de sus usos posibles (uso productivo, hidroelectricidad, uso turístico, goce de belleza escénica, recreación, etc.) Uno de los principales efectos de alto riesgo, dada su fuerte irreversibilidad, es la eutrofización de los cuerpos de aguas.

Conviene resaltar que todo cuerpo hídrico está sometido naturalmente a un proceso de eutrofización, que se entiende como la tendencia general de un cuerpo de agua a la maduración de los biotopos acuáticos y de sus biocenosis hacia una condición de máxima productividad y capacidad biogenética **(10)**.

La eutrofización de las aguas es el proceso de fertilización acelerada causada por el enriquecimiento de nutrientes provenientes de desechos urbanos, agrícolas e industriales; que se manifiesta por la ocurrencia de floraciones algales (proliferación desmedida de algas) y el avance de plantas acuáticas, que inducen a una variedad de cambios químicos y biológicos que en definitiva conducen al deterioro de la calidad de agua **(18)**. En términos simples, todo cuerpo de agua va experimentando un aumento progresivo de nutrientes en solución (especialmente, nitrógeno y fósforo, que son los más limitantes de la vida acuática), incrementando la densidad de microalgas, con un consiguiente aumento de la turbiedad y reducción del oxígeno disuelto, y avance progresivo de la vegetación acuática en las orillas. Su velocidad es tan lenta, que es imperceptible en términos de vida humana **(13)**.

La eutrofización afecta sobre todo a las masas de agua estancada, en especial a los embalses, ya que presentan una relación muy alta entre la superficie de la cuenca y la superficie del embalse, lo que implica un mayor aporte de nutrientes, produciendo efectos no deseables en el medio natural con un descenso de la biodiversidad y de la capacidad de autodepuración del ecosistema afectado **(5)**.

Lagos y embalses pueden ser clasificados generalmente como: ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutróficos y/o hipereutróficos, dependiendo de la concentración de nutrientes en el cuerpo de agua y/o basadas en las manifestaciones ecológicas de la carga de nutrientes. Estrictos límites para estas agrupaciones son, a menudo, difíciles de aplicar debido a las variaciones regionales de los parámetros limnológicos, y también debido a que los lagos caen en diferentes categorías dependiendo del criterio usado **(9)**.

Aunque estas descripciones tróficas no tienen un significado absoluto, hoy se utilizan de forma general para denotar la situación de cantidad de nutrientes de una masa de agua, o para describir los efectos de los nutrientes en la calidad de las aguas y/o de las condiciones tróficas de una masa de agua.

En términos generales, los lagos y embalses oligotróficos se caracterizan por poseer entradas bajas en nutrientes y baja productividad primaria, alta transparencia y una diversa biota. En contraste, aguas eutróficas tienen altas entradas en nutrientes y alta productividad primaria, baja transparencia y alta biomasa de pocas especies y con una mayor proporción de cianobacterias que en aguas oligotróficas **(9)**.

Un programa de control de eutrofización en un lago o embalse puede dirigirse a alcanzar ciertas condiciones tróficas deseadas en la masa de agua. Por consiguiente, se

ha intentado relacionar estos términos tróficos descriptivos con valores límites específicos de ciertos parámetros de la calidad de las aguas.

La siguiente tabla contiene los rangos de nitrógeno total y fósforo total de los tipos de lagos clasificados según su estado de trofia.

**Tabla n° 3.** Rangos de fósforo y nitrógeno total según estado de trofia **(19)**:

<b>Fósforo Total</b> (µg/l)	< 5: ultra oligotrófico.
	5 – 10: oligo - mesotrófico.
	10 – 30: meso - eutrófico.
	30- 100: eutrófico.
	> 100: hiper eutrófico.
<b>Nitrógeno Total</b> (µg/l)	< 200: ultra oligotrófico.
	200 – 400: oligo – mesotrófico.
	400 – 500: meso – eutrófico.
	500 – 1500: eutrófico.
	> 1500: hiper eutrófico

Fuente: Campos, 1994.

Con respecto a parámetros nacionales, Conama (Comisión Nacional del Medio Ambiente) confeccionó en 2005, la guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales y aguas marinas. Ahora bien, para efectos de la elaboración de normas secundarias de calidad ambiental para la protección del estado trófico de los cuerpos lacustres, los valores máximos y mínimos a considerar están contenidos en la tabla que se muestra a continuación. Las aguas que excedan los límites establecidos para el estado mesotrófico indican un cuerpo de agua lacustre eutrofizado **(20)**.

**Tabla n° 4.** Parámetros para determinar el estado de trofía de un cuerpo de agua lacustre<sup>1</sup> (20):

<b>Elemento o Compuesto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Estado Ultraoligotrófico</b>	<b>Estado Oligotrófico</b>	<b>Estado Mesotrófico</b>
Clorofila a	µg/L	<1	3	10(15)
DBO5	mg/L	<1	5	20
Fósforo	µg/L	<5(7.5)	10(10)	20(30)
Nitrógeno	µg/L	<60(300)	250(450)	400(750)
Productividad Primaria	mg c/m <sup>2</sup> año	<30	80	250
Transparencia (Disco Secchi)	m	<20(12)	10(6)	5(3)

Fuente: CONAMA, 2005.

La transformación de un ambiente acuático oligotrófico (lagos de aguas cristalinas, como los lagos araucanos chilenos) a otro eutrófico, genera como consecuencia cambios substanciales en el uso potencial no sólo de las aguas sino que de todo el escenario ambiental asociado a éstas. Las aguas oligotróficas poseen todas las aplicaciones posibles: consumo humano, riego, recreación con o sin contacto directo y valor como paisaje, valor necesario para el desarrollo de actividades económicas no industriales tanto o más importantes que éstas, como el turismo. Por el contrario, aguas eutrofizadas presentan colores verdosos y condiciones de putrefacción, lo que involucra perder gran parte de sus usos potenciales y encarecer cualquier utilización factible.

1. Según CONAMA, los valores señalados en esta tabla serán válidos para los lagos araucanos y norpatagónicos. Para otros cuerpos lacustres los valores se expresan entre paréntesis no asignándose valores para todos los compuestos o elementos.

Si bien todos los ríos, lagos y napas emplazadas en zonas agrícolas -sobre todo si son intensivas- están expuestos a recibir derrames o filtraciones de aguas con alta carga de nutrientes, no todos corren el mismo riesgo de eutrofizarse; éste dependerá, básicamente, de dos factores: el tiempo de residencia de las aguas en el cuerpo y la carga de nutrientes recibida. De este modo, los lagos siempre tienen más riesgo de eutrofizarse que los ríos y, dentro de estos últimos, uno con avance lento más que uno torrentoso. Por ejemplo, el riesgo de eutrofización es varias veces mayor en el Lago Llanquihue (renovación en 60 años) que en los lagos Ranco, Villarrica o Riñihue (renovación en 5, 4 y 1 año, respectivamente) **(13)**.

### **3.4.2 Efectos de la Eutrofización**

#### **3.4.2.1 Floraciones de cianobacterias (Algas verde-azules)**

Las floraciones algales, también conocidas como “blooms”, son eventos de multiplicación y acumulación de las microalgas que viven libres en los sistemas acuáticos o fitoplancton, y que presentan un incremento significativo de la biomasa de una o pocas especies, en períodos de horas o días. Sin embargo, se ha registrado un incremento mundial en su frecuencia y duración, asociados a las condiciones de eutrofización de los cuerpos de agua **(21)**.

Las floraciones pueden ser desarrolladas por diversas especies de fitoplancton pertenecientes a las Clases de *Bacillariophyceae* (diatomeas), *Chlorophyceae* (algas verdes), *Dinophyceae* (dinoflagelados), *Chrysophyceae* y *Cryptophyceae* dentro de las algas eucariotas, y *Cyanophyceae* (cianobacterias) como procariota. Son muchas las especies de cianobacterias que desarrollan floraciones en agua dulce, salobre o marina.

Los factores que favorecen el desarrollo de floraciones de cianobacterias pueden resumirse en **(21)**:

- 1- La eutrofización de los sistemas acuáticos debido al incremento de los niveles de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (N y P).
- 2- El alto tiempo de permanencia del agua en el sistema acuático, que favorece la dominancia de las cianobacterias en la comunidad fitoplanctónica. El manejo del tiempo

de residencia, mediante la regulación de flujos de salida o de entrada, constituye una forma de control o prevención de estos eventos.

3- La aridez de regiones próximas o dentro de la cuenca hidrográfica, o los efectos similares debidos a suelos sin vegetación, que aportan minerales al agua además de provocar mayor turbidez por la presencia de partículas disueltas. Esto interfiere con la actividad fotosintética de otras algas que mueren y sedimentan, dejando un nicho que es colonizado por las cianobacterias.

4- Existen otros factores naturales como el incremento de la temperatura ( $> 20^{\circ} \text{C}$ ) e intensidad luminosa o la baja turbulencia del agua por vientos menores a 3 m/s, que junto a la eutrofización son los factores más importantes que favorecen el desarrollo de las floraciones. También contribuye el efecto de la prelación natural (trama alimenticia) sobre las especies de fitoplancton que compiten con las cianobacterias que desarrollan floraciones.

En aguas dulces y estuarinas, las floraciones de cianobacterias son indicadoras de un proceso de eutrofización acelerada a la vez que ocasionan perjuicios diversos con relación al uso del recurso. Estos perjuicios están relacionados principalmente con **(21)**:

- La síntesis de cianotoxinas, y su eliminación al medio acuático, la presencia de organismos patógenos incluidos en el mucílago de las colonias de cianobacterias, durante las floraciones se incrementan las interacciones entre las algas y los microbios (bacterias, hongos, ciliados y ameboides) existentes en su entorno, algunos de los cuales pueden ser patógenos. Las interacciones pueden ser azarosas e inespecíficas o muy específicas, como la asociación entre *Pseudomonas aeruginosa* y los heterocistos (células especializadas para la fijación de nitrógeno atmosférico) de *Anabaena oscillarioides*. Si bien estas asociaciones son mutuamente beneficiosas entre los organismos planctónicos, pueden tornarse nocivas para organismos de niveles superiores, a los cuales pueden perjudicar por contacto o ingestión.

- Alto consumo de oxígeno por respiración algal y por incremento de la actividad bacteriana durante la degradación de la materia orgánica que sedimenta cuando la floración desaparece. Con frecuencia se registra anoxia (ausencia de oxígeno) en los niveles más profundos del sistema acuático, ocasionando la muerte de los peces, especialmente los que viven próximos al sedimento.

- Olor y sabor desagradable del agua y los productos acuáticos, debido a los compuestos volátiles sintetizados por las cianobacterias y hongos asociados (Geosmina y 2 - metil - isoborneol o 2 - MIB) o a la liberación de gas sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) por anoxia.

- Efectos mecánicos o químicos sobre los organismos acuáticos debido al incremento de microalgas, ya sea colmatando las agallas de los peces e impidiendo el intercambio gaseoso o intoxicando, directa o indirectamente, a los organismos a través de la cadena trófica.

#### **3.4.2.2 Toxinas algales**

Las toxinas en el agua dulce son producidas casi exclusivamente por cianobacterias de varios géneros que producen diferentes compuestos tóxicos generalmente clasificados como neurotoxinas, hepatoxinas, citotoxinas y endotoxinas; a pesar de que las neurotoxinas son altamente tóxicas, en general su descomposición en la columna de agua es rápida, sin embargo las saxitoxinas son una excepción, ya que requieren semanas para su proceso de descomposición. También, la remoción de hepatotoxinas desde tranques que contienen cianobacterias tóxicas se torna difícil, ya que algunas de ellas tienen formas estables y resistentes a hidrólisis química ó a oxidación y pueden persistir por meses o años, e incluso, mantenerse potente hasta después de hervirse el agua. Por otra parte, el alcaloide denominado cilindrospermopsina es considerado una citotoxina porque ataca células de todo el cuerpo. Gastroenteritis, mal funcionamiento renal y hepatitis son patologías que han sido observadas en poblaciones animales y humanas intoxicadas por agua que contiene cianobacterias que sintetizan este alcaloide. Las endotoxinas son lipopolisacáridos que han sido implicadas en irritaciones de piel y respuestas alérgicas en tejidos de animales y humanos y que han estado en contacto con estos compuestos. Varios factores ambientales como por ejemplo: luz, temperatura, concentración de nutrientes o pH pueden influenciar el grado de producción de toxina, pero la estructura genética de un florecimiento de algas parece ser el factor mayor que determina su toxicidad **(9)**.

Frecuentemente, alrededor de la mitad de todos los florecimientos que han sido sujetos a prueba son tóxicos y la ocurrencia de florecimientos tóxicos es cada vez más frecuente. El contenido de toxinas es más alto dentro de células cianobacteriales que

están en crecimiento activo, y la liberación de estas sustancias al agua parece ocurrir durante la última etapa o muerte de las células **(9)**.

#### **3.4.2.3 Crecimiento de plantas acuáticas**

Densas capas de plantas acuáticas flotantes como por ejemplo: el helecho acuático y el repollo del Nilo pueden cubrir grandes áreas cerca de la orilla y pueden flotar hacia zonas de aguas más profundas. Estas capas impiden que la luz llegue a plantas vasculares sumergidas y a fitoplancton y, a menudo, producen grandes cantidades de detritus orgánico que puede, a su vez, llevar a producir anoxia y a emisiones de gases como por ejemplo; metano y sulfuro de hidrógeno **(9)**.

El material derivado de estas plantas es usualmente de baja calidad nutricional y no es usualmente un componente importante en la comida ó en el alimento para peces ó zooplancton. Acumulaciones de macrófitos acuáticos pueden restringir el acceso a pesca ó usos recreacionales de lagos y tranques y pueden bloquear la irrigación, canales de navegación y la cantidad necesaria de agua requerida por las plantas hidroeléctricas **(9)**.

#### **3.4.2.4 Anoxia**

Un sub-producto de los incrementos en la abundancia de algas y macrófitos acuáticos es la generación de más materia orgánica. A medida que la materia orgánica se descompone en la columna de agua o en los sedimentos, la concentración del oxígeno disuelto disminuye. En lagos de baja profundidad donde la producción de plantas es alta, puede ocurrir la completa desoxigenación de los sectores más profundos. Estas condiciones no son compatibles para la supervivencia de peces e invertebrados; además, bajo estas condiciones anóxicas, las concentraciones del amonio, hierro, manganeso y ácido sulfhídrico pueden subir a niveles dañinos para la biota. Además el fósforo, fosfato y amonio son lanzados dentro del agua por sedimentos anóxicos, enriqueciendo el lago mucho más **(9)**.

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua que necesita un organismo depende de la especie de éste, su estado físico, la temperatura del agua, los contaminantes presentes, entre otros. Consecuentemente por esto es imposible predecir con precisión el

mínimo nivel de oxígeno disuelto en el agua para peces específicos y animales acuáticos **(22)**. Por ejemplo, muchas especies de la familia *Salmonidae* requieren de elevadas concentraciones de oxígeno en el agua (10-16 mg/l), muriendo por debajo de valores de 7 mg/l, mientras que la mayoría de los ciprínidos admiten una menor concentración de oxígeno en el agua (hasta 0,7 mg/l) **(23)**.

Numerosos estudios científicos sugieren que 4-5 partes por millón (ppm) de oxígeno disuelto es la mínima cantidad que soportará una gran y diversa población de peces. Niveles de oxígeno que continúan debajo de 1-2 mg/l por unas pocas horas pueden resultar en grandes cantidades de peces muertos **(22)**.

El nivel de oxígeno disuelto en las buenas aguas de pesca generalmente tiene una media de 9.0 partes por millón (ppm) **(22)**.

#### **3.4.2.5 Cambios en las especies**

Cambios importantes en la abundancia y en la descomposición de especies de organismos acuáticos, a menudo, ocurren en asociación con alteraciones multifacéticas de los ecosistemas causados por la eutrofización. La reducción de los niveles de luz bajo el agua, a causa de florecimientos densos de algas ó de macrófitos flotantes, puede reducir o eliminar macrófitos sumergidos. Cambios en la calidad del alimento asociado a cambios importantes en la composición algal o de macrófitos acuáticos y disminuciones en la concentración del oxígeno, a menudo alteran la composición de las especies de peces. Por ejemplo, especies menos deseadas tales como: *Cyprinus carpio* (carpa) u otras pueden llegar a ser dominantes. Sin embargo, en algunas situaciones estos cambios pueden ser considerados favorables **(9)**.

#### **3.4.2.6 Hipereutrofia**

Lagos y embalses hipereutróficos representan la última etapa del proceso de eutrofización. A diferencia de otros sistemas eutróficos donde reducciones en la carga de nutrientes pueden revertir el proceso, estas medidas son raramente viables en lagos hipereutróficos. Por lo general, los lagos hipereutróficos reciben fuentes de nutrientes

desde zonas no puntuales e incontrolables que se originan en suelos naturalmente ricos y fertilizados en exceso. Los lagos pueden sufrir florecimientos desagradables de cianobacterias, episodios de caídas de florecimiento de algas que desencadenan masivas muertes de peces, mortalidad de ganado a causa de toxinas algales, playas asquerosas y uso recreacional dañado. Ahora bien, asumiendo una sanitización adecuada para minimizar riesgos a la salud, estos lagos pueden ser una parte integral del paisaje, suministrando santuarios para aves e importantes hábitats acuáticos. Por ejemplo, en Africa oriental, los lagos hipereutróficos poseen densas suspensiones de la cianobacteria: *Spirulina platensis*, las cuales ayudan a un número inmenso de flamengos, los que por cierto, son una gran atracción turística. Lagos de agua dulce hipereutróficos se presentan en todo el mundo y si son administrados adecuadamente como lo es en algunas partes de China, puede otorgar una valiosa y altamente productiva pesca (9).

### 3.4.3 Control de la eutrofización

Basada en el concepto de nutriente limitante, la experiencia práctica indica que la disminución de la carga externa de fósforo es a largo plazo una medida efectiva de control de la eutrofización (15).

Dados los elevados tiempos de retención que se producen en determinados embalses y su relación con el desarrollo de las poblaciones de cianobacterias, parece recomendable evitar la entrada de fósforo en el embalse. El efecto que se persigue es que sea este nutriente el limitante al crecimiento de las algas, ya que se sabe que cuando aumenta y pasa el nitrógeno a ser el limitante las cianobacterias ven favorecido su desarrollo frente a las demás algas (7).

Hay que reconocer que la disminución de la carga externa de fósforo puede no ser factible en una determinada situación. En tales casos es posible que haya que considerar programas de control que intenten abordar los síntomas o impactos de la eutrofización. Con ello no se elimina el problema básico, ya que se ignoran las causas del mismo. No obstante, en algunas situaciones este procedimiento puede ser la única alternativa de control y ofrecer posibles soluciones a distintos niveles de los impactos negativos de la eutrofización (15).

Las técnicas disponibles para el manejo de la eutrofización, pueden abarcar el control de nutrientes tanto dentro como fuera del embalse, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes (24):

**a) Control de la carga externa de nutrientes:**

Dado que la reducción de la carga externa de fósforo y nitrógeno en un lago o embalse constituye la primera medida para el control de la eutrofización, resulta importante conocer las principales fuentes de dichos nutrientes en la cuenca de drenaje y la vía por la que éstos acceden a la reserva de agua. Entre las medidas que se deben ejecutar están las siguientes:

- Tratamiento de aguas de afluentes tributarios.

\_ Pre-embalses:

Son llamados biorreactores, los cuales retienen las aguas ricas en nutrientes durante un corto período de tiempo antes de que éstas entren en el cuerpo principal de agua, acentuando así la oportunidad para el crecimiento de las algas. La eliminación del fósforo que en ellos se consigue guarda relación con el aumento en bioproductividad. El fósforo queda fijado en la biomasa de las algas que lo utilizan, con lo que resulta retenido en el pre-embalse por sedimentación.

\_ Tratamiento físico-químico de aguas tributarias antes de que entren en la masa de agua:

Los lagos y embalses se pueden tratar mediante precipitación y filtración de fósforo de las aguas afluentes complementarias. La precipitación del fósforo se consigue con hierro férrico (+3).

\_ Adición directa de floculantes de fósforo a las aguas tributarias:

La carga externa de nutrientes a un lago puede disminuirse por adición directa de productos químicos que precipitan el fosfato en el agua del afluente al mismo tiempo que ésta penetra en el lago.

\_ Filtración de aguas afluentes a través de un filtro de óxido de aluminio:

El uso de columnas de alúmina activa constituye otro método para eliminar fósforo en los tributarios pequeños y sin grandes fluctuaciones.

## **b) Métodos de control de la eutrofización dentro de un embalse:**

- Aumento del flujo de desaguado.

Este método implica el transporte de más agua (usualmente de bajo contenido en nutrientes) al embalse, incrementando por consiguiente su velocidad de desagüe. Dicho aumento en la velocidad de desagüe disminuye la acumulación de biomasa, a la vez que se diluyen los niveles de nutrientes en el embalse como consecuencia del aumento del volumen de las aguas. Este método es particularmente importante en embalses donde es factible retirar aguas de ciertas profundidades. Debido a esta posibilidad las capas más bajas de agua con altos contenidos en nutrientes pueden circular evitando las capas más elevadas ricas en algas. También se pueden conseguir por este método diluciones directas o reducciones de los niveles de algas. Un inconveniente es la necesidad de grandes cantidades de agua con bajo contenido en nutrientes.

- Aireación hipolimnética.

Este método consiste en la introducción de oxígeno a las aguas hipolimnéticas de forma que se respete la termoclina. El hecho de mantener condiciones oxigenadas en el hipolimnion disminuirá la liberación de fósforo y otros materiales reducidos desde el sedimento a la columna de agua. La capacidad de este método para limitar de forma efectiva el crecimiento de algas en largos períodos de tiempo no ha podido ser aun demostrada. Por otra parte, aun no se ha aceptado la tecnología para este método a escala global.

- Circulación.

Este método es similar a la aireación hipolimnética, excepto que esta es lo suficientemente vigorosa como para que no se respete la termoclina. Con ello se pretende inducir el mezclado de la masa de agua, lo que origina su desestratificación. Las ventajas e inconvenientes de este método son similares a los de la aireación hipolimnética. Otro método técnicamente relacionado es la circulación epilimnética, sin embargo, la finalidad de este último método no es añadir oxígeno al agua, sino impedir el crecimiento de las algas haciéndolas circular fuera de la zona de penetración de luz durante largos períodos.

- Eliminación selectiva de aguas hipolimnéticas.

Este método implica la extracción de aguas ricas en nutrientes del hipolimnion. Con ello se disminuye considerablemente el volumen hipolimnético así como el contenido global de nutrientes de la masa de agua. Este procedimiento se aplica generalmente tan sólo a lagos pequeños y profundos, y a embalses en los que se pueda retirar o descargar agua desde profundidades dadas.

- Disminución del nivel de la masa de agua.

Este método consiste en bajar el nivel de agua del embalse de forma que se expongan a la atmósfera todos o parte de los sedimentos del fondo. Este método se usa en particular para controlar macrófitas y algas asociadas, y puede acompañarse de dragado o cobertura de sedimentos. Los inconvenientes serían la destrucción de seres vivos sensibles al proceso y la necesidad de mantener el embalse a bajos niveles de agua o vacío durante períodos prolongados de tiempo.

- Cobertura de sedimentos de fondo.

Este método implica cubrir los sedimentos del fondo con láminas de plástico o materiales particulados para evitar el intercambio de nutrientes entre el sedimento y el agua, y disminuir el crecimiento de macrófitas. Los inconvenientes de este método son los costos asociados y los posibles efectos de los materiales particulados sobre la biocenosis.

- Eliminación de sedimentos (dragado).

Este método implica el dragado de sedimentos ricos en nutrientes del fondo del embalse. La eliminación de sedimentos disminuye la carga interna de nutrientes y de otros materiales (por ejemplo sustancias tóxicas). Este método ha sido eficaz en lagos que han experimentado un severo enriquecimiento de nutrientes durante un largo período de tiempo. Los inconvenientes son los gastos asociados, los posibles efectos del dragado sobre la biocenosis y los problemas de eliminación de sedimentos.

- Recolección.

Este método implica cortar y eliminar los crecimientos indeseados de macrófitas y algas asociadas en la masa de agua. Con ello se obtiene una solución inmediata para las condiciones que dificultan la natación, navegación y esquí acuático. Los inconvenientes

son los gastos inherentes, la necesidad de repetidas aplicaciones y los problemas de eliminación de la vegetación.

- Control biológico.

Este método implica el uso de organismos específicos para controlar el crecimiento de algas y/u otros componentes de la cadena trófica. Como ejemplos se tiene el uso de peces para controlar las macrófitas, el uso de zooplancton para controlar el fitoplancton, etc. Sin embargo, se aconseja extremar las precauciones al introducir especies foráneas o exóticas en una masa de agua, ya que pueden alterar drásticamente su estructura ecológica.

- Reestructuración de población de peces.

Estudios internacionales han demostrado que la excreción de peces suministra aproximadamente la mitad de la carga anual de fósforo en determinados lagos, por lo cual es aconsejable estimar la población de peces de los cuerpos de agua en donde se han comprobado cargas importantes de nutrientes y estimar el aporte de sus excretas en los contenidos totales de nutrientes del lago. Dependiendo del aporte real de estas excretas, se puede realizar una completa reestructuración de la población de peces de un determinado lago, disminuyendo el número de individuos de las principales especies existentes.

**Tabla n° 5.** Resumen de medidas de control de la eutrofización en un embalse cualquiera (24):

Medida de control	Problema de calidad del agua							
	Olores	Mortandad de peces	Algas tóxicas	Interferencias con la natación	Pesca comercial disminuida	Crecimiento excesivo de macrófitas	Potabilidad pobre del agua	Excesivo crecimiento de algas
Dragado		x			x			x
Aireación hipolimnética	x	x		x			x	
Inactivación de nutrientes				x	x	x		x
Circulación alterada	x	x						x
Algicidas	x							x
Biomanipulación			x	x		x		x
Dilución/desagüe	x	x			x		x	x
Eliminación de aguas hipolimnéticas	x	x			x			
Disminución del nivel en el embalse	x							x
Recolección			x	x		x		
Cobertura de sedimentos	x	x						x

Fuente: Ryding, S. 1992.

### 3.4.4 La eutrofización en Chile

Las evidencias disponibles en nuestro país, aunque fragmentarias, denotan una situación de eutrofización masiva de los lagos. Por ejemplo, el sistema lacustre de San Pedro (VIII Región) ha experimentado drásticos cambios desde la llegada de los españoles, entre los que se cuenta una evolución desde aguas oligotróficas a eutróficas, en Laguna Grande, y de oligotrofia a mesotrofia, en Laguna Chica; las concentraciones de nutrientes en el agua, se han incrementado en los últimos 10 años, aumentando el riesgo de que se convierta en pantano (13).

Un estudio concluyó que el Lago Puyehue, en la actualidad, tiene sobre el 40% más del fósforo que puede soportar sin producir efectos nocivos a su naturaleza, que el Lago Ranco, también, cuenta con aguas con un 26% de exceso de fósforo y que la

excedencia también alcanza al nitrógeno (con sobrecargas de 983 y 4.222 ton, respectivamente); hoy, dichos lagos dejaron de ser oligotróficos, ya que contienen más de 10µg fósforo/litro, lo que los convierte en mesotróficos. El Lago Villarrica, estudiado por la Universidad Austral de Chile (UACH), contiene más de 20 µg fósforo /L, lo que lo convierte definitivamente en mesotrófico, dudándose de la posibilidad de recuperar su estado inicial o, al menos, reducir su trofía en un corto o mediano plazo **(13)**.

Debido a procesos de cambio de uso de la tierra, el Lago Rupanco se encuentra cerca de sus límites críticos, en tanto que, debido a una mayor carga de nutrientes de sus aguas tributarias, la cultivación acuícola y fuentes externas, el Lago Huillinco ya los excedió. Cabe decir también, que no se puede dejar de mencionar el acelerado proceso de eutrofización que experimenta el Río Cruces, en la Provincia de Valdivia **(13)**.

Un caso emblemático sobre esta problemática ambiental es el del lago Rapel. Desde 1988 sus comunidades bióticas han comenzado a modificarse en forma significativa, especialmente las microalgas y los microcrustáceos. Se ha detectado varias muertes masivas de especies, siendo muy recordada la de 1990 que afectó a 200.000 pejerreyes argentinos. De tal forma, en un plazo no tan largo, no sólo la producción de electricidad se verá afectada sino la vida misma del embalse, a causa de la desoxigenación producida por la saturación de elementos externos **(25)**.

Sin embargo, no todo es desalentador, puesto que existen ejemplos que indican una efectiva gestión ambiental al respecto; como lo que se hizo en Concepción para la recuperación ambiental de sus lagunas urbanas. La ciudad de Concepción es única en Chile por la riqueza de sus lagunas dentro de su radio urbano, las cuales poseen un gran valor recreacional, además de servir como refugio y fuente de alimento para una gran variedad de especies. Sin embargo, estos ecosistemas cayeron en un creciente deterioro por acción del ser humano, debido al progresivo poblamiento de las áreas ribereñas, ocurridas especialmente dentro de los últimos 50 años. Los principales problemas han sido causados por una importante entrada de nutrientes a las lagunas, provenientes principalmente de filtraciones de alcantarillados y de pozos sépticos, que han eutrofizado los cuerpos de agua. En los últimos años, gracias a un programa de recuperación de las lagunas impulsado por la Municipalidad de Concepción, se ha reducido significativamente el deterioro de estos sistemas de agua dulce **(26)**.

## **IV. CARACTERISTICAS DEL VALLE DE CASABLANCA**

### **4.1 Antecedentes generales**

Casablanca es un valle prelitoral ubicado en la planicie costera de la Región de Valparaíso. Lo cruza la carretera que une Santiago con Viña del Mar, a 80 Km. al noroeste de la capital de Chile y sólo a 41 km de Valparaíso. Específicamente el Valle de Casablanca se encuentra situado a 33°15` latitud sur y a 71°30` longitud oeste. Con sus 952.5 km<sup>2</sup> de superficie, es una de las comunas más extensas de la V Región en términos de habitabilidad **(27)**.

Su variabilidad ambiental y territorial ofrece condiciones favorables para el desarrollo de distintos tipos de actividades (agroindustriales, industriales, turísticas, culturales, etc.), en donde destaca de sobremanera la vitivinicultura. La zona está rodeada de cordones montañosos y su relieve es, en general, con cerros lejanos y suaves lomas que no sobrepasan los 400 m.s.n.m. Las alturas van aumentando hacia el noreste y sureste, donde se emplaza la Cordillera de la Costa. Aunque es considerado por muchos como parte del Valle del Aconcagua, el Valle de Casablanca se puede considerar hoy como independiente y con un nombre importante que se ha ganado en el rubro de la vitivinicultura chilena **(27)**.

### **4.2 Características de los suelos**

Los suelos son de origen aluvial, de textura franco-arenosa muy fina; de muy rápida permeabilidad y escasa retención de humedad. Es un suelo pobre, de poca profundidad y de bajo contenido de materia orgánica, además posee un cierto grado de alcalinidad y, a veces, presenta problemas de salinidad **(27)**. No obstante, Casablanca posee una gran variedad de suelos en relación a las aptitudes de uso, que favorecen los distintos tipos de producción, entre los cuales tenemos:

### Suelos Clase I y II.

Excelentes tierras, sin limitaciones de uso, pueden ser cultivadas sin riego. Son suelos planos, con pendientes muy suaves y de mediana profundidad. Representan el 1.62 % de la superficie total **(28)**.

### Suelos Clase III y IV.

Presentan de moderadas a severas limitaciones de uso. Pueden ser buenas para ciertos cultivos y requieren de muy cuidadosas prácticas de manejo y de conservación. Pueden usarse para cultivos, praderas, frutales, praderas de secano, etc. Representan el 21.43% de la superficie total **(28)**.

### Suelos Clase V y VI.

Ambas clases son buenas tierras para pastoreo y desarrollo forestal, limitados para cultivos. Tienen limitaciones continuas que no pueden ser corregidas, tales como: pendientes pronunciadas, susceptibles a severa erosión; efectos de erosión antigua, pedregosidad excesiva. Representan el 12.7% de la superficie total **(28)**.

### Suelos Clase VII y VIII.

Son suelos con limitaciones muy severas, inadecuados para los cultivos debido a pendientes muy pronunciadas, erosión, suelo delgado, piedras, humedad, sales o sodio, clima no favorable, etc. Su uso es solamente para pastoreo y plantaciones forestales, además de hábitat de vida silvestre, recreación o protección de hoyas hidrográficas. Representan el 64.38% de la superficie total **(28)**.

## **4.3 Clima**

En términos generales, Casablanca se encuentra ubicada en la zona de climas templados de tendencia semiárida, con inviernos cortos y relativamente lluviosos, mientras que los veranos son largos y secos. La temperatura al interior del valle presenta variaciones espaciales y temporales determinadas por los cordones montañosos que

definen varias unidades al interior de él. El sector se somete a la influencia de vientos originados por el anticiclón del pacífico sur. Durante los meses cálidos, los vientos proceden del sur y suroeste, mientras que durante los meses invernales son del noroeste. En el día los vientos soplan en dirección oeste-este y durante la noche en dirección este-oeste **(27)**.

#### **4.4 Recursos hídricos del Valle**

La hoya hidrográfica del valle corresponde a la del estero de Casablanca, que nace de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa y recibe los afluentes de varios esteros por la ribera norte, entre los cuales están Los Perales, Lo Ovalle, Lo Orozco, entre otros. Los aportes de agua de estos esteros están regulados por tranques de acumulación que captan las aguas del invierno. Sin embargo, el estero presenta índices de gran degradación de sus aguas en la mayoría de su tramo. Según un estudio realizado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios en 1999 en la Región de Valparaíso, el estero presenta problemas de contaminación con materia orgánica, presentando una DBO<sub>5</sub> de 137 (ton/año) **(29)**.

La explotación de los recursos subterráneos de agua en el Valle de Casablanca es de carácter intensivo, dada la poca disponibilidad de recursos superficiales. Dicha explotación está orientada de preferencia al uso agrícola y en menor grado al uso potable e industrial **(30)**.

Cabe destacar el hecho de que los recursos hídricos de carácter superficial del Valle de Casablanca son sumamente escasos, con esteros prácticamente secos, por lo que el conjunto de embalses representa una importante reserva del recurso. Dichos embalses pueden llegar a almacenar más de 41 millones de m<sup>3</sup> de agua lluvia. Entre los más importantes se hayan: el Embalse Lo Ovalle, Embalse Los Perales, Embalse Lo Orozco, Embalse Pitama, Embalse San Jerónimo, entre otros. Estos embalses fueron construidos con el objetivo principal de almacenar agua para riego, sin embargo, con el pasar de los años, surgieron otras actividades asociadas a los embalses, como la pesca deportiva, los deportes náuticos, entre otras.

Tema aparte es el importante rol ecológico que desempeñan la serie de embalses que encontramos en la zona, los cuales forman parte de los ejes oriente- poniente con los valiosos humedales costeros de la región. Este corredor biológico es valioso para las aves

migratorias, que visitan las costas chilenas en primavera provenientes del hemisferio norte **(31)**.

Los citados ejes oriente-poniente corresponden a: el Río Maipo y el Río Aconcagua, los que unen la Cordillera de Los Andes con la Cordillera de la Costa y el mar; y, corredores que unen la Cordillera de la Costa con el mar como el Estero Puchuncaví, el Estero San Jerónimo y el Estero Casablanca que se encuentran en el valle. Los humedales de este corredor presentan una alta diversidad de especies. En efecto, un estudio de línea de base realizado en la desembocadura del Estero Casablanca, específicamente respecto del Humedal de Tunquén, identificó 57 especies de aves **(31)**.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En nuestro país existen diversos cuerpos de agua muy vulnerables a ser afectados por los diversos residuos provenientes de las actividades generadas por los asentamientos humanos, con su consecuente impacto en la calidad del recurso y la biodiversidad asociada.

En la V Región, la comuna de Casablanca se destaca por poseer diversos embalses que permiten el desarrollo de actividades agrícolas mediante la utilización de sus aguas principalmente para regadío, además de otras actividades, como la pesca deportiva, actividades de camping, deportes náuticos, entre otros; lo cual representa un aporte importante al desarrollo turístico de la comuna.

Sin embargo, el embalse Lo Ovalle ubicado en la localidad rural que lleva el mismo nombre, dentro del Valle de Casablanca, ha experimentado en los últimos años importantes acontecimientos de muertes masivas de peces; específicamente del pejerrey argentino (*Odontesthes bonariensis*) y a lo cual se debe agregar la presencia prácticamente nula de estudios científicos que, hasta la fecha, puedan explicar tal fenómeno y la situación ambiental de sus aguas. En consecuencia, la realización de un análisis fisicoquímico del cuerpo de agua de dicho embalse es clave para dilucidar su estado actual y, a su vez, contribuir al conocimiento respecto de sus características hídricas, ecológicas, entre otras. Por otra parte, se debe señalar el desarrollo intensivo de cultivos vitivinícolas alrededor del embalse, lo que teóricamente aumentaría los riesgos de contaminación de sus aguas; situación que justifica de manera urgente la realización de estudios al respecto.

Por cuanto el trabajo expuesto a continuación, pretende determinar el actual nivel de trofía de las aguas del embalse Lo Ovalle, mediante la medición de parámetros indicadores de calidad de agua, y su consecuente relación con la pérdida de biodiversidad antes mencionada; donde posteriormente se sugerirán alternativas y recomendaciones a fin de enfrentar, controlar, mitigar y/o prevenir, según sea el caso, situaciones que puedan amenazar la calidad de las aguas del embalse en cuestión y, al mismo tiempo, proteger el ecosistema que alberga.

# **OBJETIVOS**

## **Objetivo General**

Contribuir al conocimiento de las características físicas y químicas del embalse Lo Ovalle, mediante el diagnóstico del estado trófico de sus aguas.

## **Objetivos Específicos**

1. Caracterizar física y químicamente las aguas del embalse Lo Ovalle.
2. Analizar las características físicas y químicas obtenidas tras las mediciones realizadas en las aguas del embalse Lo Ovalle.
3. Identificar las fuentes de contaminación del embalse Lo Ovalle.
4. Proponer medidas que contribuyan a minimizar el impacto de las actividades antrópicas sobre el recurso hídrico, mediante un conjunto de lineamientos tendientes a enfrentar de manera adecuada eventos que amenacen la calidad del agua del embalse Lo Ovalle.

## METODOLOGÍA

### V. Área de Estudio: Embalse Lo Ovalle.

El embalse Lo Ovalle fue construido en el año 1932 y es una de las principales reservas de agua del Valle de Casablanca, representando además un importante atractivo turístico para la comuna. Se encuentra ubicado en la subcuenca del estero de Casablanca, correspondiente a la cuenca costera Aconcagua-Maipo y está ubicado a 10 kilómetros al noreste de Casablanca. El embalse se ubica en las coordenadas UTM 6318523 N y 280396 E; a una altitud de 282 m.s.n.m. y recibe los afluentes del estero de Lo Ovalle y de otras fuentes de quebradas sin nombres **(32)**.

El embalse Lo Ovalle pertenece a la Asociación de Canalistas Embalse Lo Ovalle y como tal, su principal función es proveer de agua de riego para la actividad agrícola de la zona, teniendo una capacidad máxima de almacenamiento de hasta unos 13 millones de m<sup>3</sup> de agua. El embalse posee un tipo de presa de tierra de 12 metros de alto, con un evacuador frontal de fondo **(32)**.

Aparte de su función principal de riego, en el embalse se han desarrollado paralelamente otros tipos de actividades, como la práctica de la pesca deportiva y el desarrollo de actividades recreacionales como camping, zona de picnic, paseos, entre otras. Además, en el último tiempo se ha observado un gran aumento de la práctica de los deportes náuticos.

Cabe señalar que la ictiofauna del embalse está constituida, entre otras especies, por: *Cheirodon pisciculus* (pocha), *Gambusia affinis* (gambusia) y *Odontesthes bonariensis* (pejerrey argentino)<sup>2</sup>.

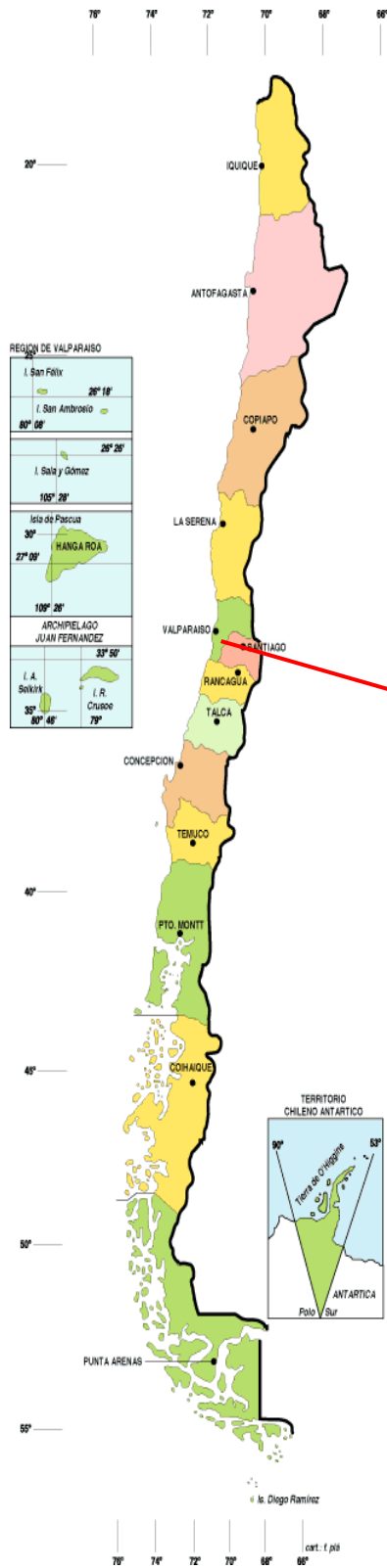
---

2. Si bien es cierto que en el embalse Lo Ovalle, en lo que a ictiofauna se refiere, sólo tres son las especies plenamente identificables que lo habitan (*Cheirodon pisciculus*, *Gambusia affinis* y *Odontesthes bonariensis*), sin embargo se ahondó sólo en la situación de la especie *Odontesthes bonariensis*, ya que fue la única objeto de mortandad masiva en el ecosistema en estudio.

Ahora bien, el desarrollo de la pesca deportiva se basa exclusivamente en el cultivo del pejerrey argentino, especie que se ha adaptado exitosamente en embalses, tranques y sistemas lénticos templados en general, con rangos de temperaturas mínimos entre 7°C y 9°C y máximos de 23°C y 27°C. Además, su alta tasa de reproducción y la calidad de su carne, lo señalan como una especie importante de desarrollar en cultivos intensivos y extensivos en estos ecosistemas **(33)**.



**Figura N° 1:** *Odonesthes bonariensis*.



El estudio se desarrolló en la comuna de Casablanca, provincia de Valparaíso, específicamente en la localidad rural de Lo Ovalle durante el período Marzo-Julio de 2005.

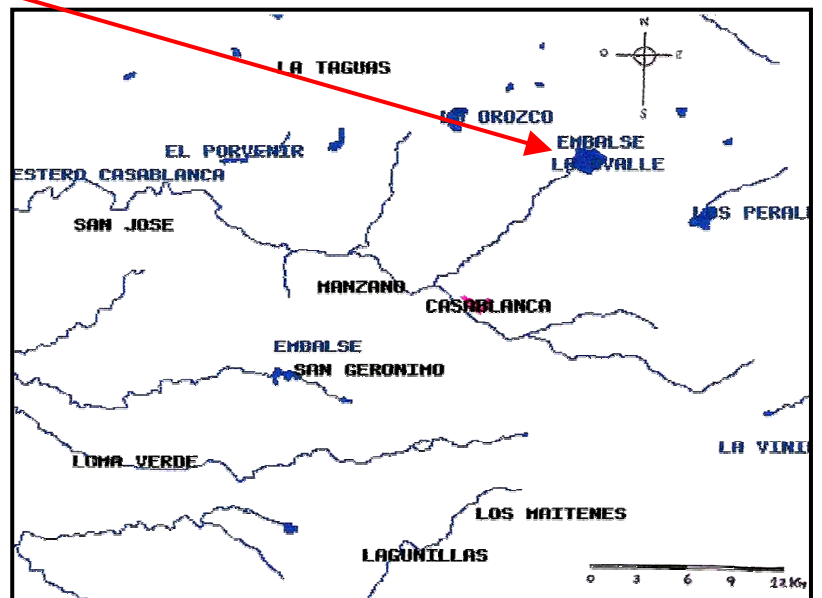


Figura N° 2: Ubicación del área de estudio.



**Figura N° 3:** Embalse Lo Ovalle.

## **VI. Diseño de Muestreo**

Se efectuaron cinco muestreos en el período Marzo-Julio de 2005 (uno por mes); para cada muestreo el embalse se dividió en cinco estaciones, con la finalidad de abarcar la totalidad de la superficie del cuerpo de agua, ubicándose las estaciones de muestreo en los puntos que, a nuestro juicio, son los más representativos (figura N° 4). A su vez, a la misma hora, en cada estación de muestreo se efectuaron mediciones de los siguientes parámetros fisicoquímicos y de nutrientes:

- Temperatura: medida in situ mediante analizador de multiparámetros Arquimed Consort C534.
- Oxígeno disuelto: medido in situ mediante un oxímetro portátil (analizador de multiparámetros Arquimed Consort C534).

- pH: medido in situ mediante peachímetro digital portátil (analizador multipropósito Hanna).
- Sólidos disueltos totales: medido in situ mediante analizador multipropósito Hanna.
- Conductividad: medida in situ mediante analizador multipropósito Hanna.
- Fósforo total: método de colorimetría del cloruro estanoso para ortofosfatos y posterior lectura en espectrofotómetro Spectronic 20 D+. Análisis químico realizado en laboratorio de Química de la Universidad de Valparaíso.
- Nitratos: método de reducción y diazotización por colorímetro Arquimed Orbecco-Hellige. Análisis químico realizado en instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valparaíso.
- Unidades Relativas de Clorofila: medido en espectrofotómetro Termo Electrón, modelo Genesys. Método de Absorbancia a longitud de onda de 665 nm; realizado en instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valparaíso.

Para el caso de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales y conductividad), se obtuvo un valor medio por cada parámetro testeado en cada estación (valor que a su vez es un promedio de 5 valores). Posteriormente, se calculó un valor medio resultante de las cinco estaciones muestreadas por cada período (Marzo, Abril, Mayo, Junio y Julio).

Con respecto a los nutrientes, sólo se analizó en laboratorio una muestra por estación, para luego obtener un valor medio resultante de las cinco estaciones muestreadas. Del mismo modo, se midieron nutrientes en la principal entrada de agua del embalse, sólo en los meses en que se apreció caudal (período Mayo - Julio).

Por otra parte, en cada estación se midieron unidades relativas de clorofila sólo entre Abril y Julio (una muestra por estación), luego de lo cual se obtuvo un valor medio de las cinco estaciones correspondiente a cada período de muestreo. Finalmente, se realizó un catastro de los usos territoriales del sector donde está inserto el embalse.

**Tabla N° 6.** Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo.

Estaciones Muestreo	Coordenadas UTM *	
	Latitud UTM-N	Longitud UTM-E
1	6318849	280100
2	6318702	281250
3	6318517	281156
4	6318358	281077
5	6318214	280953

(\*) Sistema de Posicionamiento Global Garmin, modelo Etrex Euro con 7 metros de precisión.



**Figura N° 4:** Ubicación de las estaciones de muestreo en el Embalse Lo Ovalle.

Las estaciones de muestreo se ubican en puntos del embalse cuya profundidad fluctúa entre los 2 y 5 metros. Las mediciones fueron realizadas aproximadamente a unos 50 cm de profundidad (calculada desde la línea de flotación). Se realizó un perfil de temperatura y oxígeno disuelto mediante el método escandallo<sup>3</sup>, no observándose la presencia de termoclina ni de capas de diferente temperatura. Tampoco se observó estratificación con respecto al oxígeno disuelto (tablas 7 y 8).

**Tabla N° 7.** Perfil de temperatura y oxígeno disuelto, con fecha 18 de Marzo de 2005.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)
0.5	26.1	4.10
1	26.1	4.05
1.5	26.0	4.05
2	25.9	4.05
2.5	25.9	4.00
3	25.8	4.00
3.5	25.8	4.00
4	25.6	3.94

**Tabla N° 8.** Perfil de temperatura y oxígeno disuelto, con fecha 26 de julio de 2005.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)
0.5	11.2	11.85
1	11.1	11.85
1.5	10.8	11.80
2	10.6	11.80
2.5	10.3	11.75
3	10.3	11.70
3.5	10.2	11.70
4	10.0	11.65

3. Medido frente a la torre de control de profundidad.

Los criterios y procedimientos de muestreo utilizados están contenidos en NCh 411/1.Of96 sobre Calidad del agua –muestreo- parte 1: guía para el diseño de programas de muestreo; en la Norma Chilena Oficial NCh 411/2 Of. 96 sobre Calidad del agua-muestreo-Parte 2: guía sobre las técnicas de muestreo; y en NCh 411/3 Of. 96 sobre Calidad del agua-muestreo-Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de muestras. También se utilizó NCh 411/4.Of97 sobre Calidad del agua –muestreo- parte 4: guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.

Una vez obtenidos los resultados de las muestras, sus valores se compararon con normativa vigente para su posterior análisis y/o discusión. Para temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica se utilizó como referencia los estándares de calidad del agua para los diferentes usos contenidos en la Norma Chilena Oficial 1333.Of78 modificada en 1987 [**anexo 1**] y la Tabla N° 1 de la guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales y aguas marinas elaborada por Conama [**anexo 2**]. En tanto que los valores de nitrógeno y fósforo fueron comparados con los parámetros para determinar el estado de trofia de un cuerpo de agua lacustre, incluidos dentro de la Tabla N° 2 de dicha guía de Conama<sup>4</sup> (**20**), y comparándose también con estándares internacionales al respecto (**19**).

---

4. Conviene aclarar que los parámetros para determinar la trofia de un cuerpo lacustre según CONAMA, en cuanto a nutrientes se refiere, sólo estandariza valores referentes a Nitrógeno y Fósforo, y no específicamente las formas nitrato y fosfato (formas químicas que comúnmente permiten medir desarrollo trófico); sin embargo, se procedió a estimar el estado trófico del embalse, luego de comparar los valores del nitrógeno del nitrato (N-NO<sub>3</sub>) y del fósforo total obtenidos, con aquellos de nitrógeno y fósforo que respectivamente contempla dicha Norma; esto tras sugerencia de profesional calificado de CONAMA de Valparaíso.

## VII. Esquema general del estudio realizado en el embalse.

A continuación se muestra de manera esquemática los diversos procedimientos realizados durante la investigación:

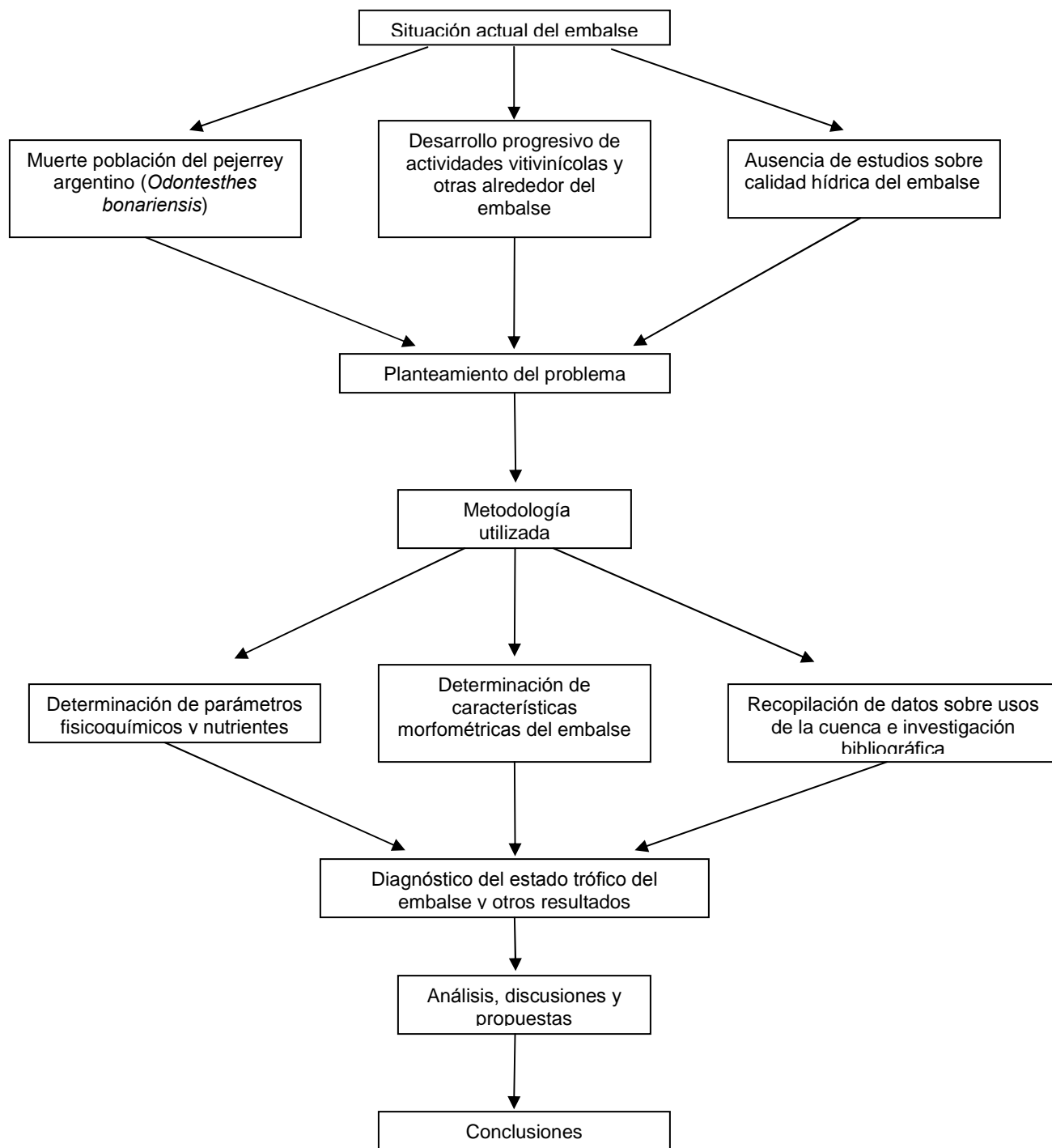


Figura Nº 5: Esquema general del estudio.

## RESULTADOS

### VIII. Antecedentes morfométricos del Embalse Lo Ovalle

**Tabla N° 9.** Parámetros morfométricos del embalse Lo Ovalle.

Parámetros	
Coordenadas UTM:	6318523N-280396E
Altitud (msnm):	282
Largo máximo (km):	1.33
Ancho medio (km):	1.17
Área superficial (km <sup>2</sup> ):	1.55
Profundidad máxima (m):	5 *
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6.5 millones **

(\*) Medida en la torre de control de profundidad del embalse.

(\*\*) SAG.

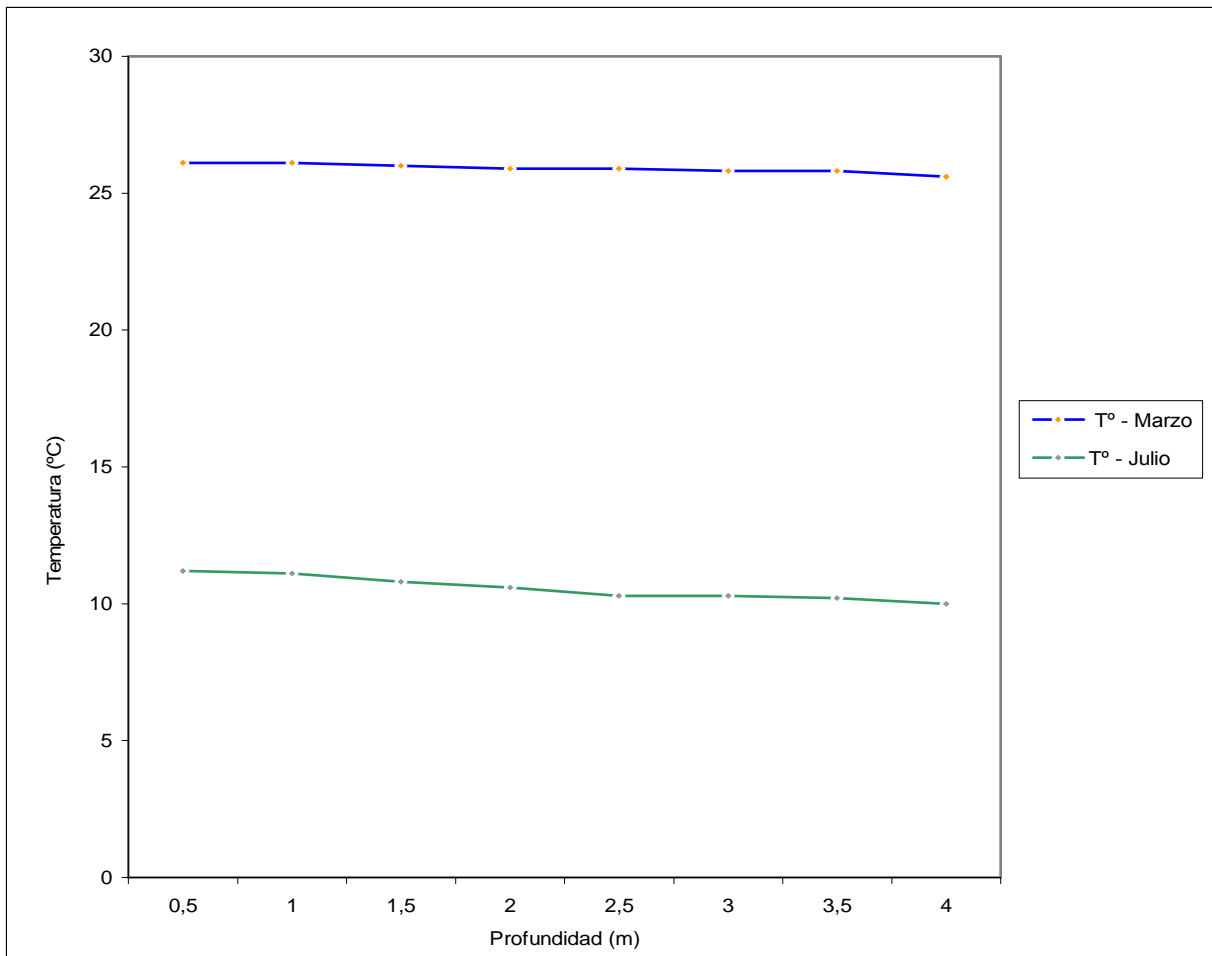
### IX. Parámetros fisicoquímicos y nutrientes

Las siguientes figuras muestran el comportamiento de los diferentes parámetros medidos en los 5 meses que duró el estudio<sup>5</sup>. Los detalles sobre con los valores de los parámetros correspondientes a cada período o mes se adjuntan al final del texto **[anexos 3 y 4]**.

---

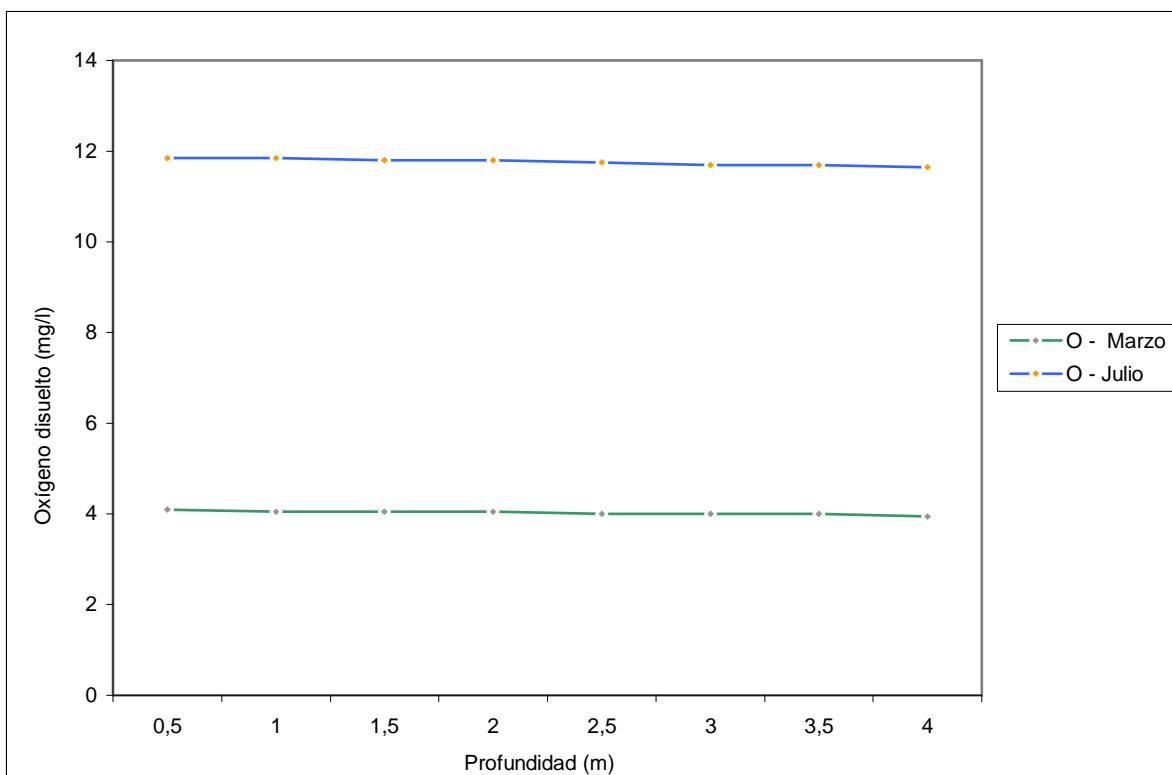
5. Conviene aclarar que en las curvas que se muestran a continuación (figuras 8 a la 15), cada punto corresponde al valor promedio del parámetro producto de las cinco estaciones muestreadas durante los diferentes períodos en que se desarrolló el estudio, excepto los perfiles de temperatura / profundidad y oxígeno disuelto / profundidad (figuras 6 y 7).

En la siguiente figura se observa el perfil de temperatura/profundidad para los meses de marzo y julio. Para el mes de marzo, los valores se mantienen entre 25,6 y 26,1 °C y para el mes de julio entre los 10,0 y 11,2 °C (figura N° 6).



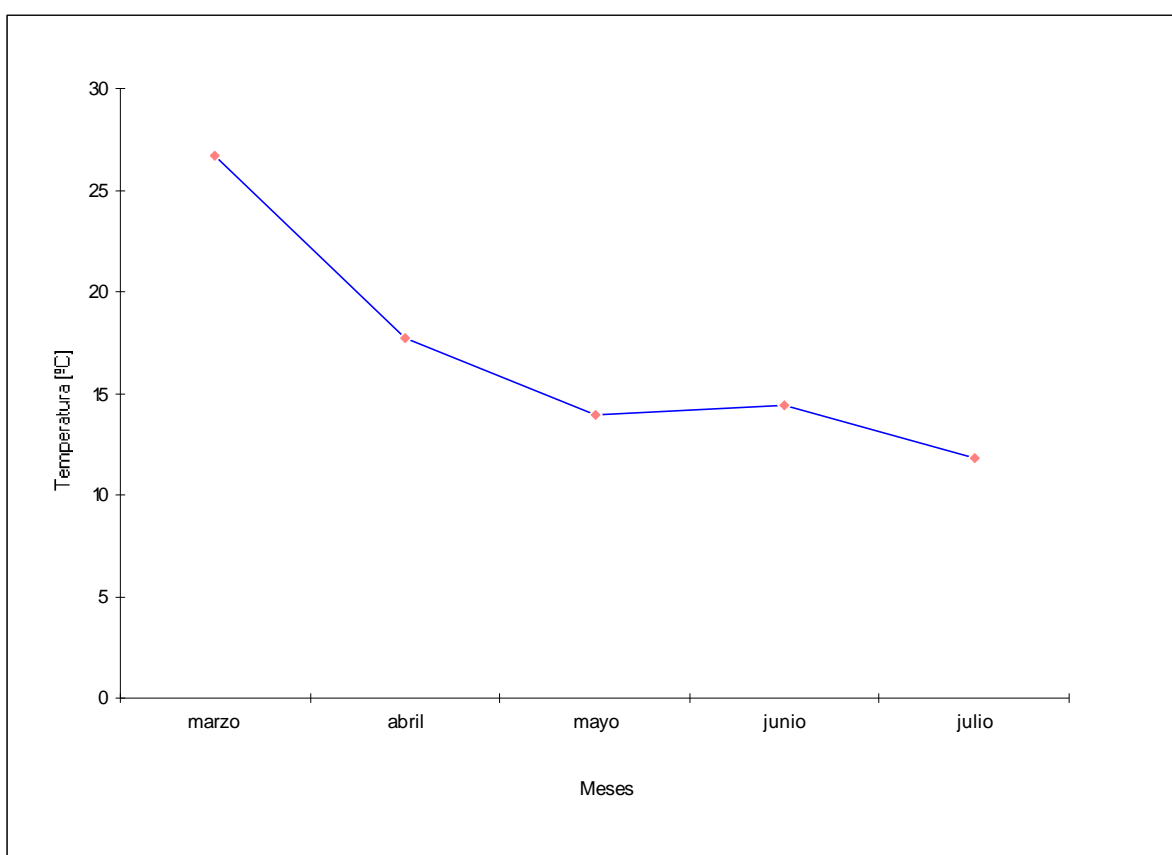
**Figura N° 6:** Relación entre temperatura y profundidad en el Embalse Lo Ovalle.

En la siguiente figura se observa el perfil de oxígeno disuelto/profundidad para los meses de marzo y julio. Para el mes de marzo, los valores se mantienen entre 3,94 y 4,10 mg/l y para el mes de julio entre los 11,65 y 11,85 mg/l (figura N° 7).



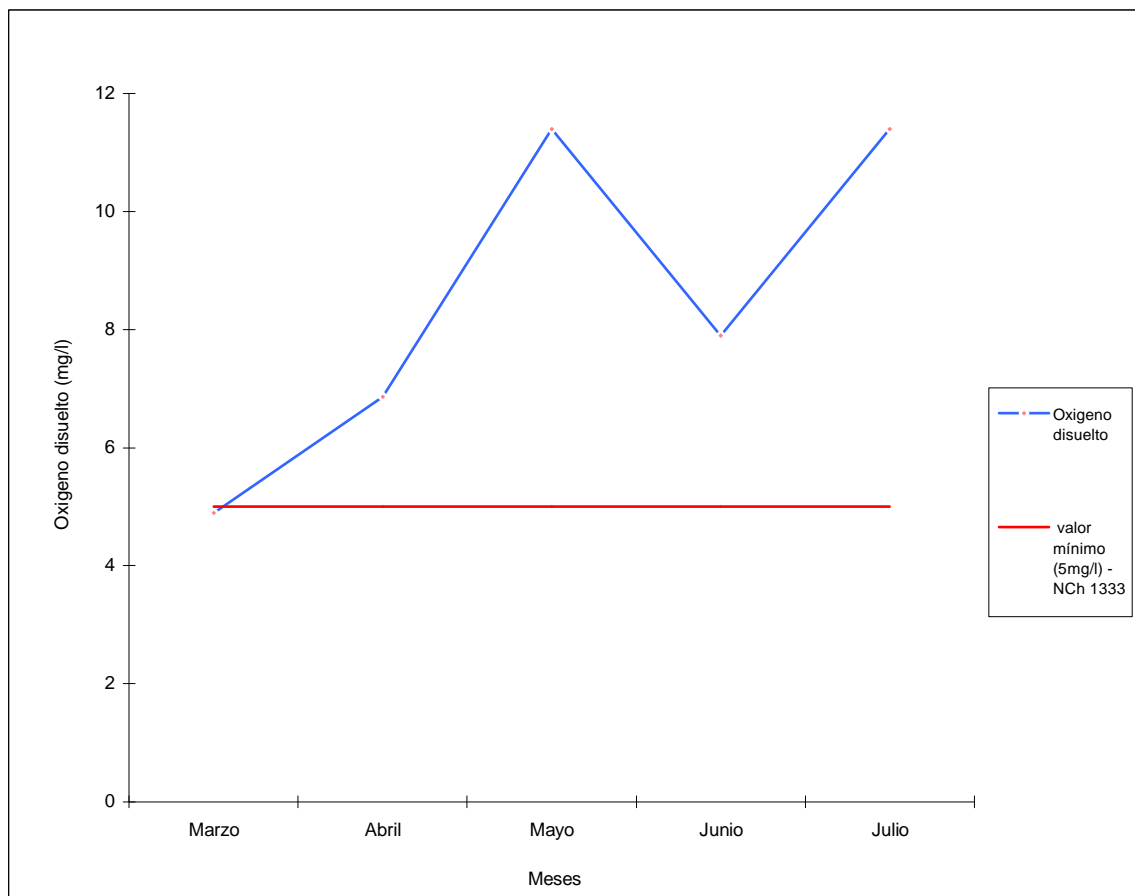
**Figura N° 7:** Relación entre oxígeno disuelto y profundidad en el Embalse Lo Ovalle.

En el período de muestreo correspondiente a Marzo, la temperatura media del agua corresponde al valor más alto (26.7 °C) y Julio al más bajo (11.8 °C); cifras que indican que, para el caso de Marzo, todavía predominaban las temperaturas veraniegas; luego desciende abruptamente en Abril (casi 10 grados), no apreciándose diferencias térmicas importantes entre Mayo y Junio; finalmente Julio presenta el mayor descenso térmico, asociado a la estación invernal transcurrida en ese período (figura N° 8).



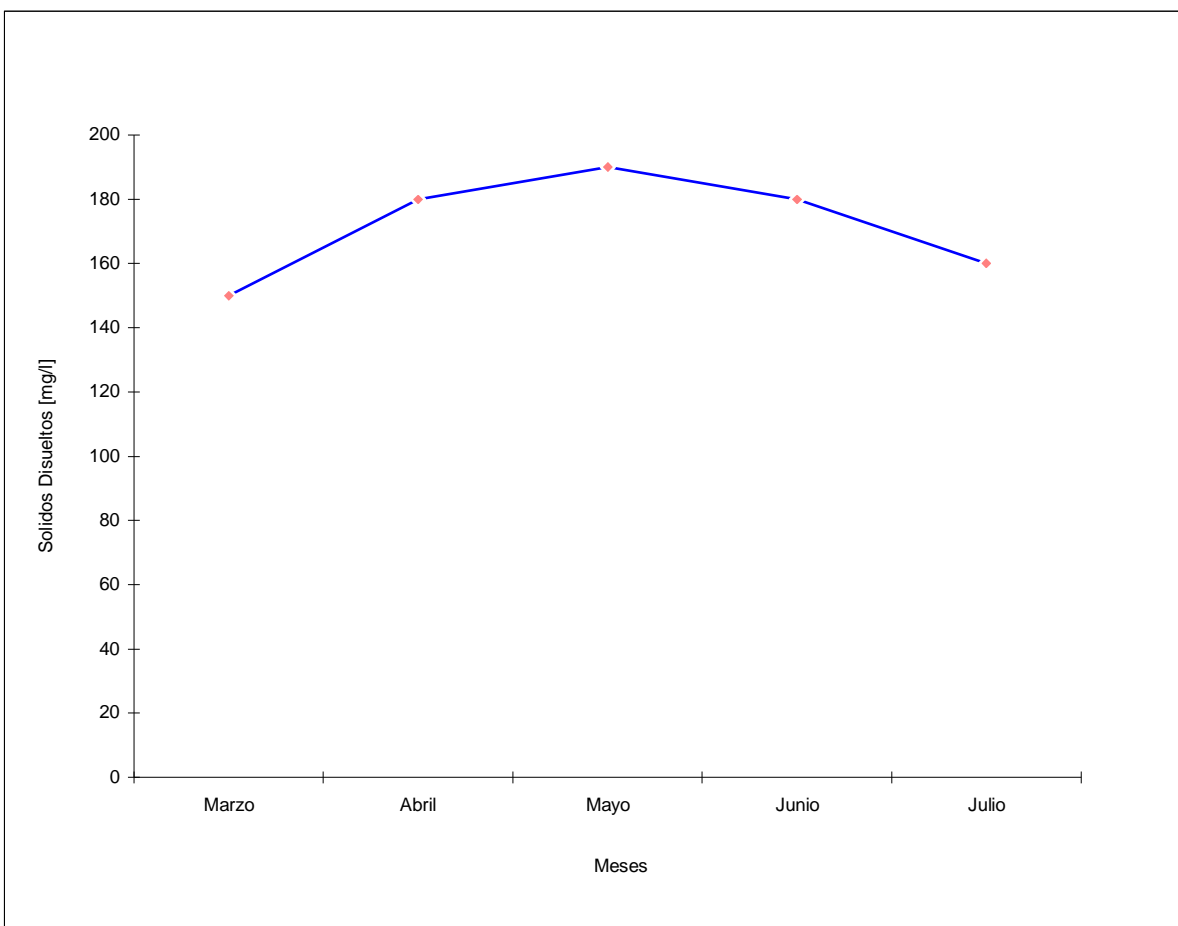
**Figura N° 8:** Distribución de temperatura media en los diferentes períodos de muestreo.

En cuanto al parámetro oxígeno disuelto, el valor más alto se registró en los meses de Mayo y Julio (11,40 mg/l), en tanto que el más bajo se presentó en Marzo (4,90 mg/l); ahora bien, dicho valor podría obedecer a condiciones estivales que aún persisten en dicho mes (figura N° 9).



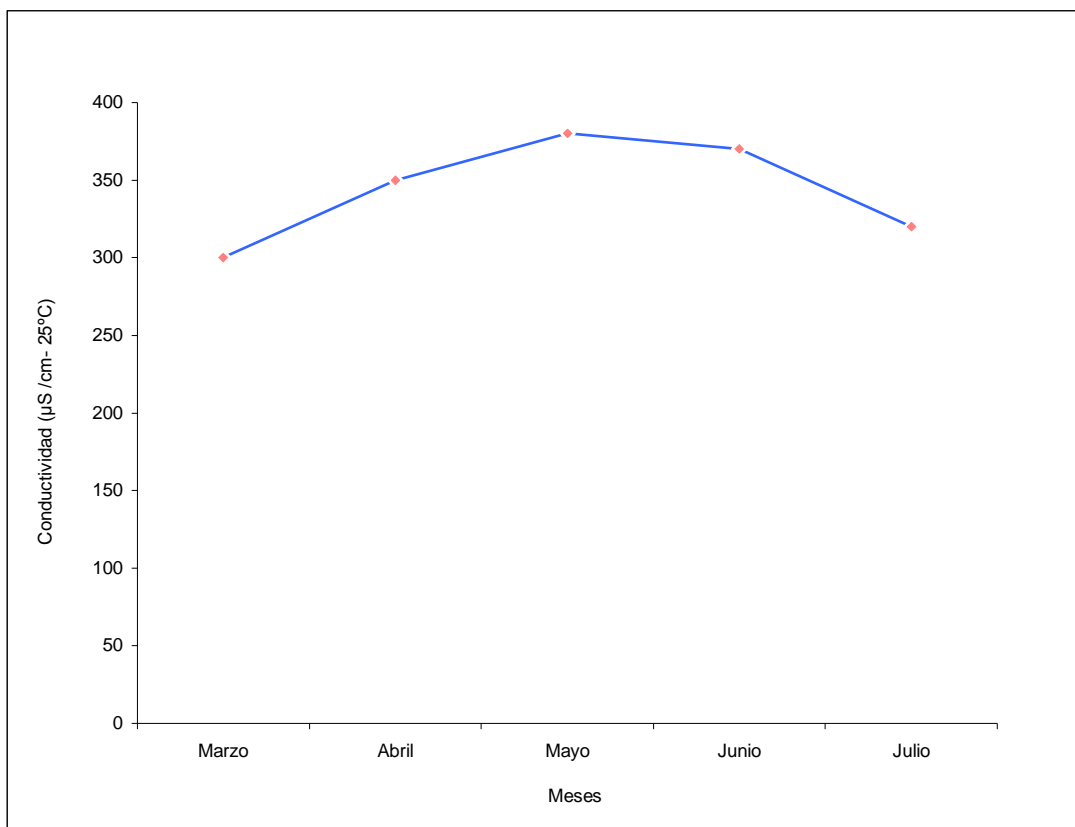
**Figura N° 9:** Distribución de la concentración media de oxígeno disuelto en los diferentes períodos de muestreo.

En cuanto a sólidos disueltos, el valor más alto se observó en Mayo (190 mg/l) y el más bajo en Marzo (150 mg/l). Aún así, no se observa una gran variación de este parámetro en el tiempo (figura N° 10).



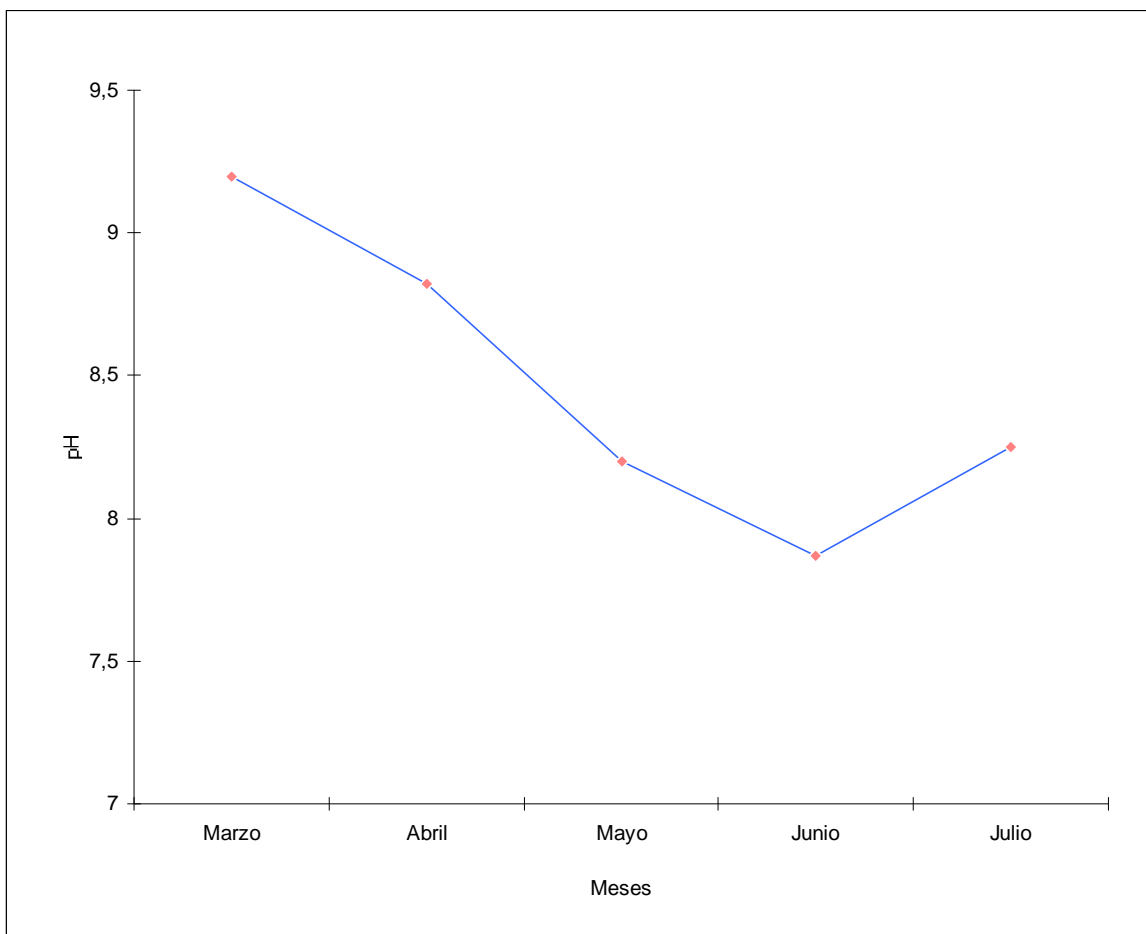
**Figura N° 10:** Distribución de la concentración media de sólidos disueltos en los diferentes períodos de muestreo.

La conductividad eléctrica presentó su valor más alto en Mayo (380  $\mu\text{S} / \text{cm}$ ) y el más bajo en Marzo (300  $\mu\text{S} / \text{cm}$ ). Sin embargo, no se observan variaciones importantes durante el período muestreado (figura N° 11).



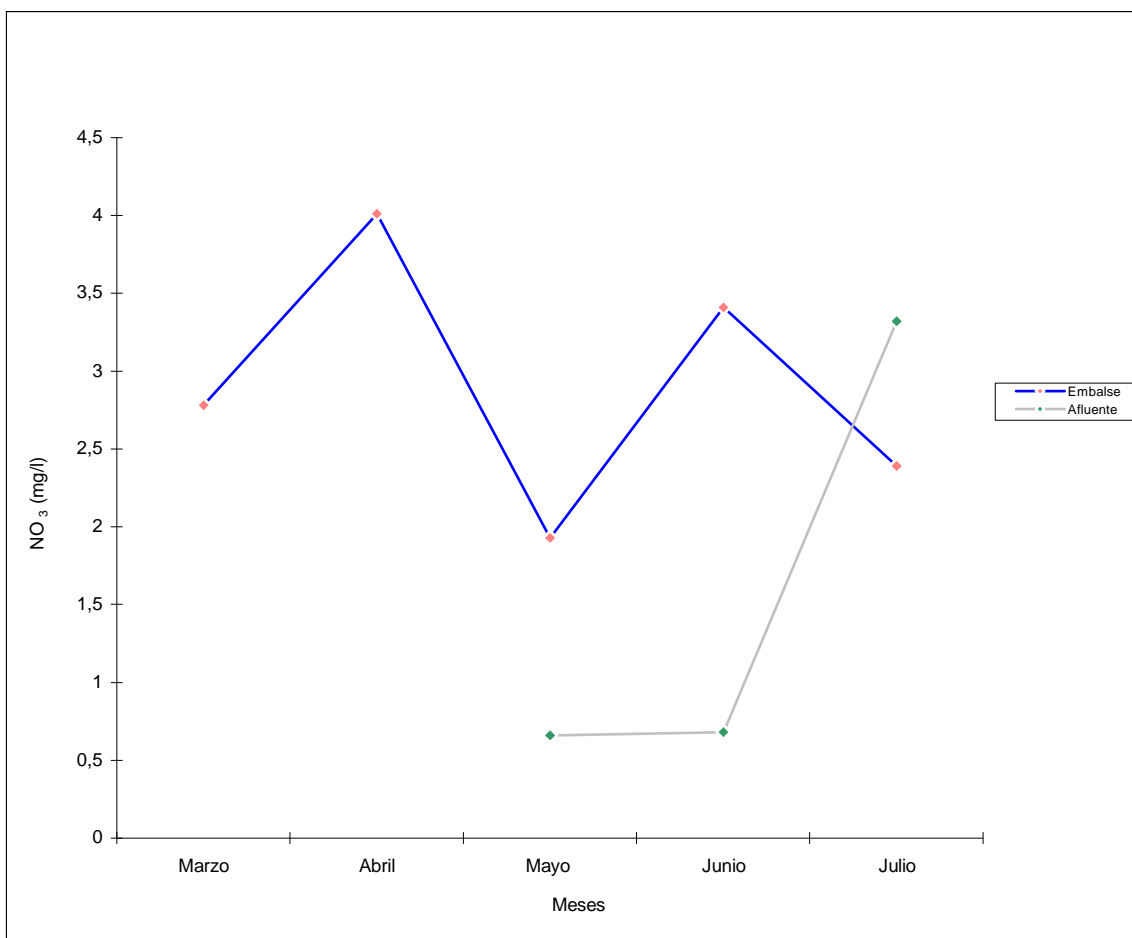
**Figura N° 11:** Distribución de la conductividad eléctrica media en los diferentes períodos de muestreo.

En cuanto al grado de acidez o pH del agua, Junio presenta el valor más bajo (7.87), en tanto que Marzo el más alto (9.20). Se puede apreciar claramente el predominio de valores alcalinos (figura N° 12).



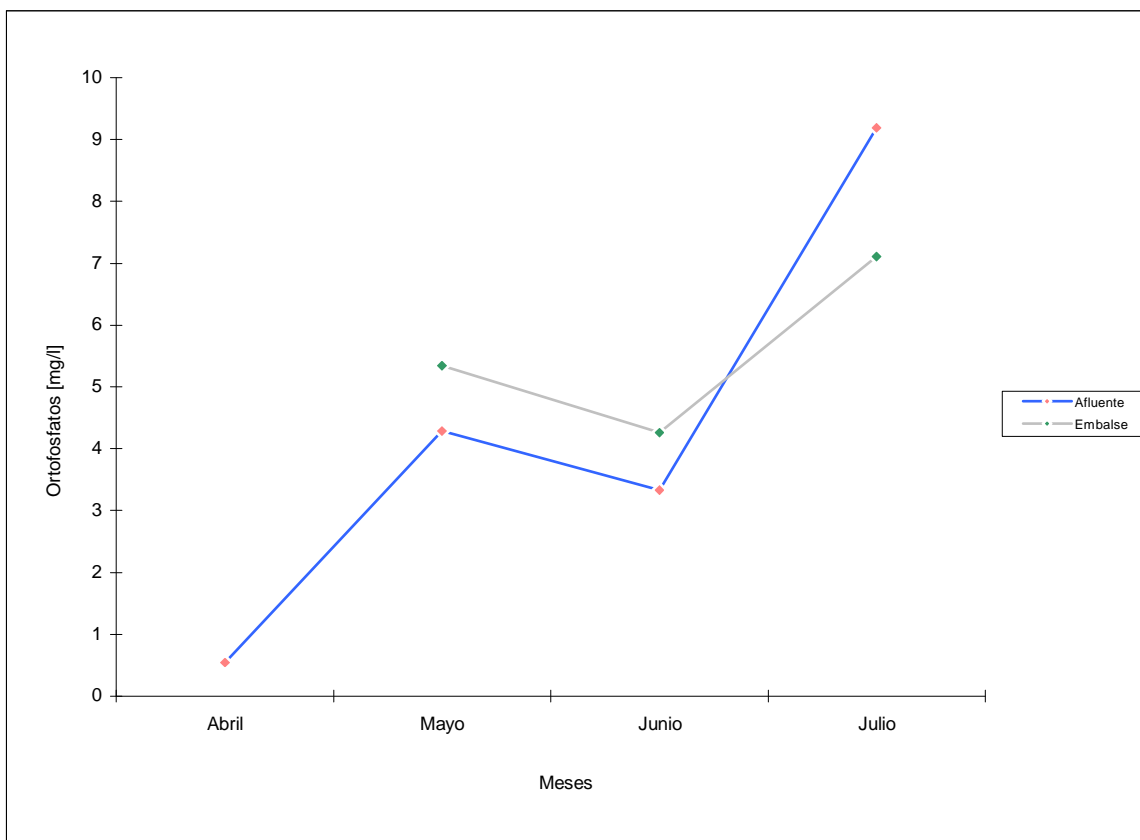
**Figura N° 12:** Distribución del pH promedio en los diferentes períodos de muestreo.

Nutrientes en la forma de nitratos ( $\text{NO}_3$ ), presentaron su valor más alto en Abril (4.01 mg/l) y el más bajo fue de 1.93 mg/l en Mayo. Por cierto, tal como se indicó anteriormente, el afluente sólo registra valores en los meses donde se apreció caudal y que correspondió al período Mayo-Julio (figura N° 13).



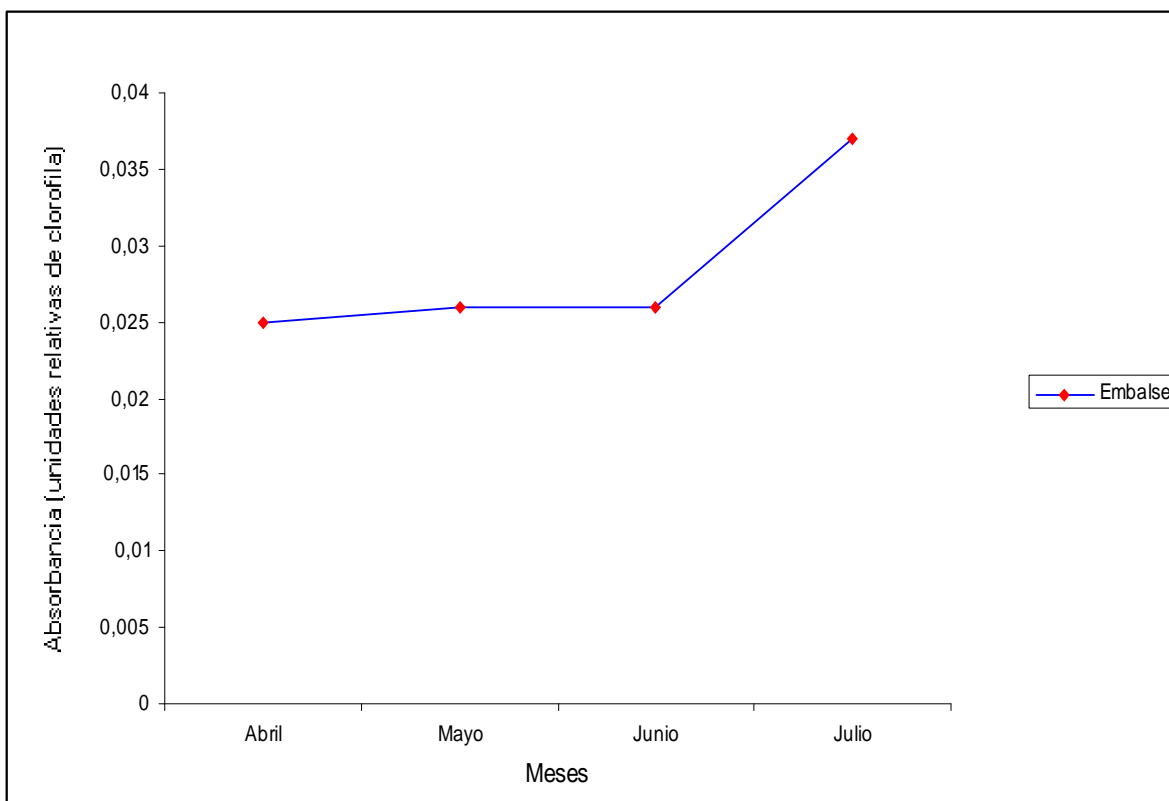
**Figura N° 13:** Distribución de la concentración media de nitratos en los diferentes períodos de muestreo.

Con respecto a los fosfatos en el embalse, el valor más bajo fue de 0.54 mg/l registrándose en Abril, Julio en tanto presentó el valor más alto que correspondió a 9.17 mg/l; en cuanto al afluente, 4.26 mg/l fue el valor más bajo y se registró en Junio, mientras que el mes inmediatamente siguiente presentó el más alto valor para el parámetro, 7.11 mg/l (figura N° 14).



**Figura N° 14:** Distribución de la concentración media de fosfatos en los diferentes periodos de muestreo.

Por otra parte, en lo que respecta a la absorbancia de clorofila, en Abril se registra el valor más bajo (0.025), en tanto que Julio presenta el valor más alto (0.037); nótese que las variaciones entre los meses de Abril y Junio son prácticamente nulas, existiendo un incremento importante sólo hacia el mes de Julio (figura N° 15).



**Figura N° 15:** Distribución de la absorbancia de clorofila en los diferentes períodos de muestreo.

## X. Actividades desarrolladas dentro del embalse y actividades productivas realizadas en la cuenca de drenaje.

### Actividades realizadas en el embalse

El bello entorno que encontramos en el lugar permite la realización de caminatas y la observación de la gran biodiversidad del ecosistema. Son numerosas las especies de aves que se pueden observar en su ambiente natural, entre las cuales se hallan: *Cygnus melancoryphus* (cisne de cuello negro), *Casmerodius albus agretta* (garza grande), *Fulica leucoptera* (tagua chica), *Anas georgica* (pato jergón), entre otras.



**Figura N° 16:** Cisnes de cuello negro en el embalse Lo Ovalle.

Entre las actividades que se realizan dentro del complejo recreacional propiamente tal, tenemos la práctica de la pesca deportiva, principalmente del pejerrey argentino (*Odontesthes bonariensis*). Dicha actividad se puede realizar mediante la captura desde las riberas del embalse o también se puede hacer mediante el uso de embarcaciones aguas adentro.

Cabe destacar que la práctica de la pesca deportiva del pejerrey argentino sustenta en gran parte el atractivo turístico del lugar, por lo cual es de suma importancia conservar de la mejor manera dicho ecosistema.



**Figuras N° 17-18:** Pesca deportiva en el embalse Lo Ovalle.

Las condiciones atmosféricas en la zona del embalse son propicias para que se desarrollen un número importante de deportes acuáticos, como el windsurf, kitesurf y canotaje. De este modo, el fuerte viento que aparece alrededor del medio día permite el uso y ejercicio de embarcaciones principalmente de vela, atrayendo a gran número de aficionados principalmente en verano.



**Figura N° 19:** Práctica de windsurf en el embalse Lo Ovalle.

### Actividades antrópicas realizadas en la sub-cuenca

En el embalse se realizan actividades recreacionales importantes, tanto deportivas como de simple esparcimiento. Sin embargo, también tenemos actividades que se desarrollan en los alrededores del cuerpo de agua, relacionadas principalmente a la agricultura y ganadería, las cuales podrían afectar de alguna manera la calidad de las aguas.

Una de las principales actividades antropogénicas observadas en los alrededores del embalse es la remoción de la vegetación para la plantación de viñas. Cabe destacar que la actividad vitivinícola abarca gran parte del suelo del valle. De este modo, tanto en los cerros de la ribera norte como hacia el sur del embalse se observa plantación de viñedos.



**Figuras N° 20-21:** Actividad vitivinícola en las riberas del embalse Lo Ovalle.

Otra de las actividades que se realizan en el sector es la ganadería. Un sector de las aguas del embalse es utilizado como abrevadero para gran número de animales, principalmente vacunos; en tanto que los pastos alledaños son utilizados como alimento.



**Figuras N° 22-23:** Actividad ganadera en el embalse Lo Ovalle.

Cabe destacar que el embalse fue creado con la finalidad de surtir de agua a los agricultores de la zona. En la actualidad, sus aguas riegan grandes extensiones de territorio dedicado a la agricultura aguas abajo.

## DISCUSIÓN

### **XI. Análisis y discusión de los parámetros fisicoquímicos**

#### a) Temperatura:

La variación de la temperatura del embalse durante el período del estudio obedeció al descenso térmico característico del cambio estacional (verano-invierno).

Con respecto a los requisitos generales de aguas destinadas a la vida acuática, contenidos en la Norma Chilena 1333, ésta sólo se refiere a sistemas de aguas corrientes, no considerando cuerpos lacustres. Por lo tanto, los valores de temperatura obtenidos en el estudio no fueron comparados con esta norma. De la misma forma, la guía de Conama referente a la dictación de normas de calidad ambiental para aguas continentales superficiales tampoco regula este parámetro, en lo que a cuerpos lénticos se refiere.

Por otra parte, el rango de temperatura en el período de estudio fluctuó entre los 26,7°C (Marzo) y 11,8°C (Julio), lo que indicaría que el embalse presenta un rango de temperatura aceptable para el pejerrey argentino (especie afectada), sin embargo la temperatura correspondiente al mes de Marzo estaría cerca del límite máximo aceptable (27°C) para esta especie **(33)**.

#### b) Oxígeno disuelto:

En general, la tendencia observada durante todo el estudio es de un progresivo aumento a medida que se aleja la estación estival, salvo el valor registrado en Junio, lo cual podría obedecer a un error de manejo instrumental. Sin embargo, dicho valor representa sólo lo observado en Junio, por lo que aún así la tendencia global del oxígeno es ir en aumento.

En sí, la concentración de oxígeno disuelto en Marzo fue 4,9 mg/l, situación que podría obedecer a condiciones estivales que aún persisten en dicho mes, ya que durante

el verano hay mayor evaporación y, por ende, el oxígeno es menos soluble a medida que aumenta la temperatura **(22)**.

Si bien es cierto que, la Norma Chilena 1333 considera el valor de 5 mg/l de oxígeno disuelto como mínimo para el aspecto vida acuática, sin embargo, es muy difícil precisar el rango de tolerancia específico de una especie para un determinado parámetro **(22)**, por lo que en el presente estudio, no se pudo precisar el rango de tolerancia del pejerrey argentino (especie afectada) en relación con el oxígeno disuelto, ya que no existe información al respecto. Por otra parte, la guía de Conama referente a la dictación de normas de calidad ambiental para aguas continentales superficiales tampoco regula este parámetro, en lo que a cuerpos lénticos se refiere.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se insiste en que es muy probable que las condiciones estivales observadas, en cuanto a temperatura y oxígeno se refiere, sean las responsables de la mortandad del pejerrey argentino ocurrida años atrás, situación que empeora tras presentarse condiciones favorables para el desarrollo de procesos eutróficos.

#### c) Perfil de temperatura y oxígeno:

Los resultados obtenidos del perfil de temperatura y oxígeno disuelto para el mes de Marzo muestran un cuerpo de agua no estratificado con respecto a la temperatura y, con muy poca variación con respecto a la concentración de oxígeno disuelto a causa de las características propias de la morfología del embalse. En el mes de Julio en tanto, también se muestra un cuerpo de agua no estratificado con respecto a la temperatura y, con muy poca variación con respecto a la concentración de oxígeno disuelto, sólo que en este caso, la concentración de este parámetro, es muy superior a la registrada en Marzo, representando casi tres veces las concentración registrada en dicho mes; del mismo modo, las temperaturas durante Julio descienden a más de la mitad de las observadas en Marzo, posiblemente debido a las condiciones ambientales propias del invierno.

Por otra parte, la ubicación geográfica del embalse permite, en especial en el período estival, que sus aguas se beneficien con la turbulencia provocada por la acción

del viento (37 a 46 Km/h) **(34)**, lo que se traduce en una mejora en lo que se refiere a la oxigenación del embalse y hace que se distribuya más homogéneamente en la columna de agua.

d) Sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica:

Las curvas de comportamiento de estos parámetros son similares, ya que la conductividad eléctrica depende directamente de la concentración de sólidos disueltos en las aguas. Por otra parte, luego de comparar los valores de estos dos parámetros con la Norma Chilena 1333, las aguas del embalse se clasifican como agua en donde no se observan efectos perjudiciales para los cultivos; no obstante, esta norma al igual que la guía de Conama, no contemplan estos parámetros en cuanto a la conservación de los ambientes acuáticos.

Por otro parte, si bien estos parámetros son buenos indicadores de calidad de agua y no indican la presencia de contaminación por sales, no obstante no entregan un reflejo de la actual calidad de las aguas del embalse, pues la mayoría de los demás parámetros medidos indican una deficiente calidad del agua.

f) Grado de acidez o pH:

Desde Marzo a Junio se manifiesta un leve decrecimiento, salvo Julio, que experimenta una leve alza; por lo que, los 5 meses muestreados registran valores alcalinos. Por otra parte, según los estándares de la Norma Chilena 1333, las aguas se clasifican como aptas para la vida acuática y uso de riego, salvo el período de Marzo que sobrepasa el límite máximo; en tanto que la guía de Conama no regula este parámetro para cuerpos lacustres.

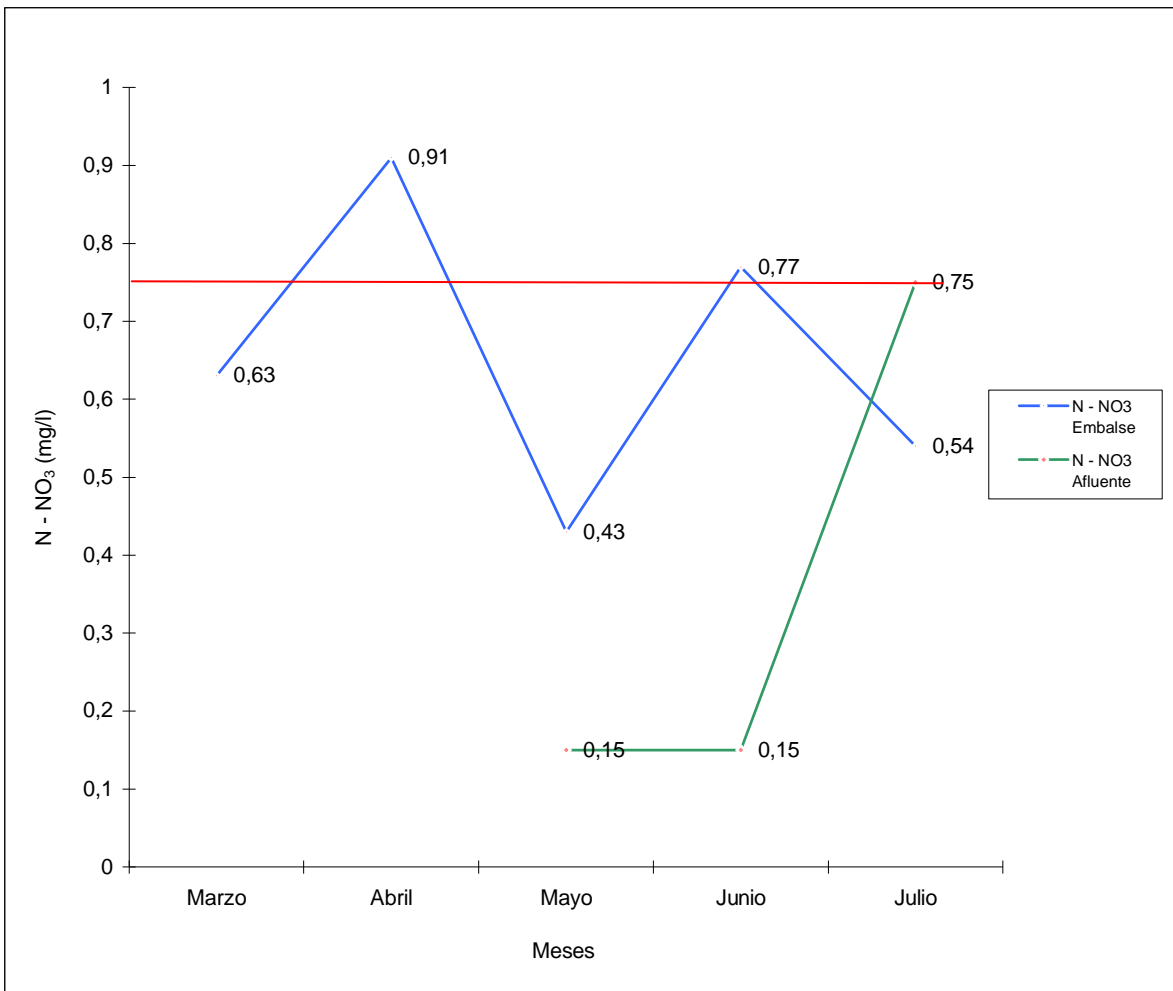
En efecto, las aguas que presentan un pH alcalino denotan aguas con desarrollo importante de procesos eutróficos, ya que se favorece la proliferación de vegetación acuática, especialmente de cianobacterias **(35)**.

g) Unidades relativas de clorofila  $\alpha$ :

El comportamiento de la absorbancia de clorofila  $\alpha$  en los meses muestreados, se caracterizó por tener una variación casi nula, lo que indica una marcada estabilidad en los niveles de clorofila, salvo en el período correspondiente a Julio, donde sufrió un incremento. Esta tendencia podría intensificarse hacia los meses estivales, produciendo un marcado aumento de las concentraciones de clorofila  $\alpha$  y, por tanto, en la productividad primaria del sistema.

## **XII. Comparación con Normativa para estimación del estado trófico del embalse Lo Ovalle**

Utilizando la Guía de Conama para la dictación de normas secundarias de calidad ambiental de aguas superficiales, se determinó comparar los valores del Nitrógeno contenido en el Nitrato ( $N - NO_3$ ) del estudio, con los valores estándares del Nitrógeno que aparecen en dicha Norma. En efecto, se tiene que para el caso específico del embalse, el valor más bajo del  $N - NO_3$  fue 0.43 mg/l registrándose en Mayo, en tanto que en Abril se aprecia el valor más alto, 0.91 mg/l; de lo anterior y tras observar la gráfica que denota el comportamiento de este parámetro en el tiempo, se puede afirmar que existe una clara inestabilidad, ya que se aprecian importantes variaciones entre un mes y otro. Ahora bien, para el afluente, sólo se registraron valores en el período donde se apreció caudal (Mayo-Julio), donde destacan Mayo y Junio con el mismo valor, 0.15 mg/l; en tanto que en Julio son notorios los 0.75 mg/l, ya que quintuplican los valores de los meses inmediatamente anteriores.



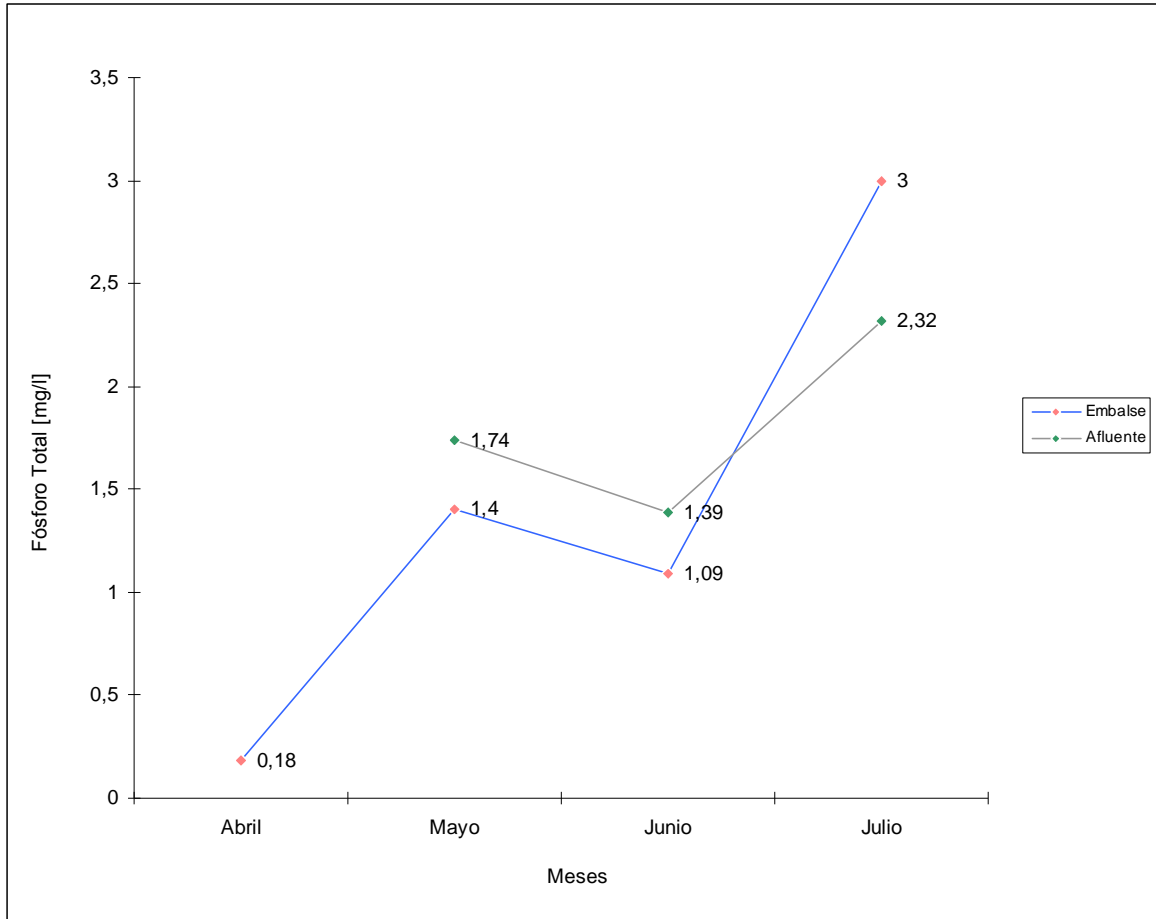
**Figura N° 24:** Distribución de la concentración de N – NO<sub>3</sub> en embalse y afluente.



: 0,75 mg/l corresponde al valor máximo del estado mesotrófico para aguas lacustres según Guía para el establecimiento de Norma Secundaria de calidad ambiental de aguas superficiales.

De la figura anterior, se puede afirmar que en los meses de Abril y Junio el embalse se ubicaría claramente dentro de un estado eutrófico, independiente de la concentración de otras formas nitrogenadas no medidas; ya que según Conama, una concentración mayor a 0.75 mg/l de nitrógeno indica la existencia de un cuerpo de agua eutrofizado. Por otra parte, las aguas del embalse posiblemente se ubicarían dentro del estado mesotrófico para los meses de Marzo y Julio, salvo Mayo que se encuentra prácticamente en el límite de los estados oligo y mesotrófico, dependiendo de la concentración de otras formas nitrogenadas.

Si bien es cierto que desde la perspectiva de cada mes, y usando siempre los estándares de Conama, el embalse se presenta en algunos meses como mesotrófico y en otros como eutrófico, sin embargo, se podría esclarecer la tendencia y actual estado trófico del embalse Lo Ovalle, si comparamos los niveles de fósforo total (P+) que posee, ya que según literatura expuesta en nuestro marco teórico, los contenidos de nitrógeno y fósforo son los principales responsables de la productividad biológica primaria (proliferación de plantas acuáticas), por cuanto son limitantes claves en su crecimiento. No obstante, el fósforo es el elemento más preponderante por sobre los demás indicadores al momento de intentar estimar la trofía (incluso más que el contenido de nitrógeno) **(15)**, por consiguiente, se comparó los valores del fósforo total (+P) de nuestro estudio con aquellos de fósforo que estandarizó Conama para determinar la trofía en cuerpos lacustres **(20)**, tras lo cual se constató que las concentraciones de este nutriente en el embalse superaron ampliamente los niveles de mesotrofia (límite máximo = 0.030 mg/l). En efecto, los valores registrados en cada uno de los períodos muestreados (uno por mes) sobrepasan ampliamente dicho límite, lo que indicaría que durante el tiempo que duró la investigación, el embalse se encontrarían en un evidente estado eutrófico.



**Figura N° 25:** Distribución de la concentración de fósforo total (+P) en embalse y afluente.

Cabe señalar que los valores de los nutrientes que arrojó el estudio durante algunos meses (embalse y afluente), podrían obedecer, entre otras causas, a la cantidad de agua caída durante los meses de muestreo, especialmente desde Mayo en adelante. De hecho, los meses de Mayo y Junio son los que registran la cantidad más alta de precipitaciones con 90,1 y 86,5 mm respectivamente, registrándose en estos lapsos una de las mayores alzas de las concentraciones de nutrientes, en especial el fósforo **(36)**.

Ahora bien, estudios realizados por el Servicio Agrícola y Ganadero de Valparaíso, señalan que la concentración de  $\text{DBO}_5$  de las aguas del embalse, correspondientes al mes de Junio de 2005, es muy elevada **[anexo 5]**, lo que coincide con la alta concentración de materia orgánica existente en sus aguas durante el estudio y su alto consumo de oxígeno disuelto **(37)**.

Por último, si se compara con estándares internacionales **(19)**, éstos son más rigurosos que la normativa nacional actual, ya que el Embalse Lo Ovalle se ubicaría dentro de un estado mesotrófico a eutrófico para el nitrógeno, independiente de las otras formas nitrogenadas no medidas, mientras que para el caso del fósforo total la situación es más crítica, ya que lo coloca en la categoría de hipereutrófico.

### **XIII. Posibles causas que explicarían el actual estado trófico y eventual mortandad de la población de pejerrey argentino en el embalse Lo Ovalle**

Cabe señalar que hasta el término de nuestro estudio, aparentemente no se visualizó ni comprobó descargas puntuales causadas por el desarrollo de actividades antrópicas de importancia alrededor del embalse. Por otra parte, es muy probable que los residuos fecales del ganado bovino existente en las estaciones de muestreo (2 y 3) de la ribera norte, de algún modo, provocaran que en esos puntos no sólo se hayan obtenido cifras importantes en nutrientes, sino que además hayan permitido que gran parte del embalse viera incrementada su productividad, por ejemplo, mediante el arrastre y diseminación de dicho aporte, especialmente cuando se registran precipitaciones. Al mismo tiempo, no se descarta la posibilidad de que el embalse reciba aporte de nutrientes que procedan de escorrentías, laderas, entre otras fuentes no puntuales, que en la práctica son difíciles de individualizar y que hacen crecer los niveles de nutrientes que se arrastran hasta sus aguas, fomentando la proliferación de plantas acuáticas, y por ende, la eutrofización. A esto se suman otros factores propios de la cuenca de este cuerpo de agua tales como morfología, composición geológica, biota, clima, etc. Ahora bien, se podría establecer la tesis de que las aguas del embalse Lo Ovalle son naturalmente eutróficas, haciendo alusión a lo expuesto por Alicia Fernández Cirelli **(18)**, en el sentido que, una parte importante de los embalses se conciben como eutróficos desde su nacimiento, sin que ello sea necesariamente consecuencia de residuos provenientes de actividades humanas.

Otra característica importante a señalar es que el embalse posee un área de drenaje bastante extensa, lo que se traduce en un alto potencial de ingreso de nutrientes a sus aguas **(38)**.

Dada su actual profundidad máxima (5 metros), el embalse cae en la categoría batimétrica de un cuerpo lacustre léntico y somero (baja profundidad), situación que lo hace más proclive a tornarse eutrófico. De hecho, los ambientes lénticos poseen condiciones naturales potencialmente generadoras de mortandad de peces tales como baja profundidad **(39)**, lo cual coincide con la tesis de que a menor profundidad existirá mayor productividad. En efecto, las características morfométricas del embalse, específicamente respecto de su actual batimetría nos indica que al presentar prácticamente la mitad de metros cúbicos de agua respecto de otras épocas (por ejemplo durante el lluvioso invierno de 1997), el embalse experimenta hoy en día un importante déficit del recurso.

Otro aspecto a señalar es la importancia que tienen las fluctuaciones de volumen de agua en los cuerpos de agua lénticos, ya que un incremento del nivel del cuerpo de agua, producto de un aumento de las precipitaciones, ocasiona que la vegetación acuática quede sumergida sin la posibilidad de realizar fotosíntesis; esto se traduce en la muerte de esta vegetación y posterior consumo del oxígeno disuelto **(39)**. Dicha situación es importante recalcar, ya que cualquier embalse ubicado en un área de clima templado (como por ejemplo el embalse estudiado) se encuentra sometido a importantes fluctuaciones en el nivel de su volumen.

Asimismo, al carecer de gran profundidad, en la mayoría de los puntos muestreados se promueve una mayor competencia entre quienes forman parte de la biota propia del ecosistema en cuestión, principalmente en relación al oxígeno disuelto y su dieta, provocándose una situación de estrés ambiental lo que facilitaría las condiciones para que se produzca, como en este caso, la mortandad masiva del pejerrey argentino **(39)**.

Por otra parte, en cuanto a las plantas acuáticas existentes en el embalse, lo único que se puede decir es que – presuntamente -- sus aguas alojen especies cianofíceas (algas verde-azules ó cianobacterias), especies que generalmente habitan en aguas donde son mayores los contenidos de fósforo que de nitrógeno **(6)** (tal es el caso del embalse estudiado); este tipo de plantas acuáticas pueden provocar incluso malos olores, pero en la práctica se constató que el embalse todavía no ha llegado a ese punto. Sin embargo, es sabido que las sustancias tóxicas que producen fruto de su metabolismo

sumado a la falta de oxígeno, en especial cuando hay altas temperaturas, puede provocar episodios de muerte masiva de peces (pejerrey argentino en Febrero de 2001).

#### **XIV. Propuesta de lineamientos destinados a mejorar el estado trófico de las aguas del embalse Lo Ovalle**

Hay que reconocer que la disminución de la carga externa de nutrientes puede que no sea realizable adecuadamente en una determinada situación. En tales casos es posible que haya que considerar programas de control que intenten abordar los síntomas o impactos de la eutrofización. Con ello no se elimina el problema básico, ya que se ignoran las causas del mismo. No obstante, en algunas situaciones este procedimiento puede ser la única alternativa de control y ofrecer posibles soluciones a distintos niveles de los impactos negativos de la eutrofización.

#### **Conjunto de medidas, acciones y técnicas de gestión de acuerdo a las características propias de la cuenca del embalse Lo Ovalle.**

De acuerdo al estudio realizado, las fórmulas que mejor se ajustarían a un manejo integral del embalse son las siguientes:

- Remoción de materia orgánica (períodos secos).
- Remoción de estiércol de animales.
- Manejo de la basura.
- Remoción de colonias algales y plantas acuáticas superiores.
- Sistemas de aireación (bombas de oxigenación).
- Aireación con embarcaciones (lanchas, motos).
- Cuantificación de la población del pejerrey argentino.
- Dragado del embalse.

Como se puede apreciar, las medidas, acciones y demás técnicas que se sugieren para mejorar la calidad hídrica del embalse se refieren en su mayoría a una gestión dentro de las aguas del embalse, debido a que no se pudo comprobar la existencia de fuentes puntuales externas que aporten nutrientes. Por lo mismo, se sugiere primeramente gestionar dentro del embalse, ya que el único afluente sometido a medición de nutrientes es la pequeña vertiente del sector noreste que sólo tributa cuando hay precipitaciones (Mayo-Julio), desapareciendo en condiciones estivales y, aportando agua y nutrientes al embalse, no regularmente durante el año, sino que muy poco tiempo; por lo que estimamos que no se debería considerar su tratamiento. Además, podemos decir que los síntomas de la eutrofización se acentúan en los meses de verano, por lo que sería más prioritario partir solucionando situaciones puntuales tales como la poca oxigenación de las aguas y el alto contenido de nutrientes por medio de la remoción de basura aledaña en las orillas, recolección de estiércol de ganado, remoción de materia orgánica en períodos secos, implementación de sistemas de aireación y remoción de colonias algales y macrófitas.

Específicamente, se recomienda implementar dispositivos que suministren oxígeno disuelto a las aguas, y cuya frecuencia de uso debiera ser mayor en los meses de verano, donde sería crítica la concentración de oxígeno disuelto y menor la profundidad del embalse. Con esto se pretende promover la mayor disponibilidad de oxígeno disuelto para los organismos que lo requieran y mejorar la digestión aeróbica de la materia orgánica disuelta en dichas zonas, previniendo la generación de malos olores. Está comprobado que la oxigenación creada mediante las turbulencias propias del movimiento de algunas embarcaciones como lanchas, resultan bastante efectivas y prácticas a la hora de enfrentar episodios de desoxigenación de las aguas.

En los períodos de mayor afluencia de público aumenta la probabilidad de acumulación de desperdicios generados por las diversas actividades que giran alrededor del embalse, principalmente relacionados a la actividad de la pesca deportiva realizada en las riberas del embalse. No es menor la cantidad de restos orgánicos que se acumulan en las orillas que finalmente van a parar a las aguas, por lo cual se recomienda implementar un sistema de recipientes distribuidos alrededor del embalse y que se ubiquen en sectores de fácil acceso y debidamente señalizados, por ejemplo, un receptáculo por cada 100 metros. Lógicamente, se debe tener presente que lo anterior no será posible si quien

visite el embalse no posea conciencia ambiental sobre el significado que tiene la limpieza del entorno.

Por otra parte, durante la investigación se comprobó la presencia de un número no menor de cabezas de ganado, lo que se traduce en un aporte importante de materia orgánica a las aguas del embalse en forma de fecas. Por esta razón, se aconseja la adopción de medidas tendientes a implementar un servicio de remoción del estiércol de ganado en las riberas del embalse, para así retirar de manera efectiva el material que se acumula cada cierto tiempo.

Por otro lado, cuando desciende el volumen y profundidad del embalse, en especial durante la estación estival, algunas zonas cercanas a las riberas (antes cubiertas de agua, por ejemplo en invierno cuando es mayor el volumen) muestran a simple vista la existencia de material orgánico (principalmente sedimento de diverso tipo: algas, biodetritus, entre otros), el cual tiende a secarse y acumularse por las altas temperaturas de verano; por lo que se sugiere implementar medidas destinadas a la remoción de esta materia orgánica en los períodos secos. De este modo, se pretende disminuir la cantidad de materia orgánica que capten las aguas en las riberas cuando el volumen del embalse aumente producto de las lluvias propias del invierno. Además, se recomienda la remoción de plantas acuáticas y colonias algales desde las mismas aguas del embalse si es que es muy notoria su presencia a nivel superficial.

Las acciones tendientes a controlar la población íctica (en este caso el predominio del pejerrey argentino) también ayudaría a controlar un aumento importante de los residuos fecales generados por los peces, lo que en la práctica se traduciría en minimizar la acumulación de contenidos ricos en nitrógeno y fósforo en el fondo del embalse y así, que no se dispare la demanda de oxígeno **(24)**.

Debemos señalar que el conjunto de lineamientos propuestos anteriormente son, según nuestro parecer, sólo los más relevantes, por lo que no se descarta la toma de otras decisiones que signifiquen reforzar este conjunto de medidas.

Finalmente, se debe tomar en cuenta un conjunto de ideas relacionadas con los actores directamente involucrados en toda gestión (autoridad, ciudadanía y cuenca) y que, si bien se alejan del plano netamente técnico, que por cierto, ha sido el ámbito que

sólo se ha abordado hasta el momento, no obstante constituye una cuestión clave, puesto que una adecuada coordinación de ellos permitirá tener una visión holística del ó los problemas a tratar, aumentando la probabilidad de éxito en la gestión, lo que se traducirá en la práctica en verdaderos beneficios al momento de resolver, como en este caso, situaciones que denotan la existencia de un deterioro en la calidad del embalse estudiado.

## **CONCLUSIONES**

1. El embalse presentó niveles significativos de nutrientes durante los meses que duró la investigación. En cuanto a contenidos de nitrógeno se refiere, los valores mensuales son claramente variables, en tanto que los contenidos de fósforo sí permiten definir una tendencia creciente de sus concentraciones a medida que fueron transcurriendo los meses del estudio.
2. Según estándares nacionales e internacionales para determinar la trofia de un cuerpo de agua lacustre, el embalse se ubica en el estado eutrófico. Específicamente se puede afirmar que se encuentra notablemente eutrofizado, cuyos síntomas se hacen críticos en verano. Por otra parte, tanto en el aspecto riego como en el de vida acuática, el embalse cumple con los valores estándares dispuestos en la Norma Chilena 1333, siendo sólo el mes de Marzo la excepción, dado que en ese período el oxígeno disuelto se ubica bajo el valor mínimo y en cuanto a pH sobrepasa el máximo permitido; mientras que estos mismos parámetros más conductividad eléctrica y sólidos disueltos se ajustan a dicha Norma durante el resto de los períodos estudiados. Por lo tanto, se puede decir que en los períodos estivales es cuando está en riesgo el ecosistema, siendo posiblemente la falta de oxígeno disuelto, uno de los principales factores responsables de la mortandad de peces ocurrida en el embalse (pejerrey argentino).
3. En el área de estudio no se detectaron fuentes fijas de contaminación de origen antrópico; por lo cual no se puede establecer una relación directa entre la contaminación actual del embalse y las actividades humanas allí existentes.
4. Sin embargo, no se descarta la existencia de contaminación difusa propia de la topografía de la zona, lo que reforzaría el estado eutrófico existente, ya que por ejemplo, en los períodos de lluvias se apreció un marcado aumento de las concentraciones de nutrientes, en especial de fósforo total, y que junto a otros factores asociados (biota, clima, morfología, composición geológica, entre otros)

permiten que el embalse experimente cambios importantes en su productividad, lo que se traduce en variaciones de su trofía durante ciertos períodos del año.

5. Por otra parte, el embalse podría ser ubicado en la categoría de un cuerpo de agua lacustre naturalmente eutrófico, es decir, que poseería tal condición desde su génesis, puesto que muchos embalses poseen cierta cubierta vegetal en la planicie de inundación donde comenzaron a crecer, lo que contribuye a una eutrofización natural, siendo esto, sin embargo sólo una posibilidad.
  
6. Finalmente, se concluye que el conjunto de medidas y acciones tendientes a mejorar el actual estado trófico del embalse (eutrofización) deben estar enfocadas principalmente a la aplicación de una gestión dentro del embalse, conforme a la situación estudiada. Ahora bien, conviene señalar que de las medidas que se sugirieron como pilar básico para ejecutar la gestión, es probable que varias de ellas sean económicamente más viables de implementar que otras, por lo que deberían someterse a un estudio previo de factibilidad técnico-económica (lo cual puede constituir otro proyecto de tesis). Sin embargo, debemos recordar que toda la gestión propuesta no será posible si no existe una real voluntad y compromiso por parte de todos los actores involucrados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Braga, M. 2000. **Integración de la función y los servicios de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico**. Informe Técnico. Washington D.C. USA.
- (2) Movellán, E. 2003. **Modelado de la cuña salina y del flujo de nutrientes en el Tramo estuarino del río Ebro**. Extraído de:  
<http://www.tdx.cesca.es/tesisub/available/tdx-0521104-124904/2.nutrientes.pdf>.  
[Consulta: Abril de 2005].
- (3) Odum, E. 1969. **Ecología**. Segunda edición. México.
- (4) Contreras F. & Castañeda O. 1995. **Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas**. Extraído de: <http://rbt.ots.ac.cr/revistas/44-2/contr.htm>.  
[Consulta: Septiembre de 2004].
- (5) Lahora, A. [200-]. **Humedales artificiales como tratamiento terciario de bajo costo en la depuración de aguas residuales urbanas**. Extraído de:  
<http://www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMEN/g01/d01203/d01203.htm>.  
[Consulta: Septiembre de 2004].
- (6) Buddendorf, C. 2004. **Calculador Redfield para controlar las algas**. Extraído de: <http://www.aquaplant.cl>.  
[Consulta: Octubre de 2004].
- (7) Aviles, J. 2002. **Eutrofización e investigación de la presencia de cianobacterias y sus toxinas en embalses del Duero y norte de España**. Extraído de:  
<http://www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMEN/g01/d01203/d01203.htm>.  
[Consulta: Octubre de 2004].
- (8) Bahamondes, N & Cabrera, S. 1984. **Embalses, fotosíntesis y productividad primaria**. Programa sobre El Hombre y La Biósfera, UNESCO.

(9) International Environmental Technology Centre, 2000. **Planning and management of lakes and reservoirs, and integrated approach to eutrophication. (Guidance)** Technical Publication Series. Tokyo, Japan.

(10) Ringuelet, R. 1962. **Ecología Acuática Continental**. Edit. Univeritaria de Buenos Aires, Argentina.

(11) Instituto Nacional de Normalización. 1996. **Norma Chilena Oficial 410.Of96, Calidad del agua – Vocabulario**. Santiago, Chile.

(12) Escobar, J. 2002. **La Contaminación de los Ríos y sus Efectos en las Áreas Costeras y el Mar**. Publicaciones CEPAL. Santiago, Chile.

(13) Revista Electrónica Chileriego. 2001. **Contaminación Difusa de Aguas Dulces**.  
Extraído de: <http://www.chileriego.cl>.  
[Consulta: Agosto de 2004].

(14) Centro Rural de Información Europea de la Comunidad Valenciana (CRIE). [s.a.]  
**Contaminación de aguas subterráneas: Los nitratos**.  
Extraído de: <http://www.crie.uji.es>.  
[Consulta: Agosto de 2004].

(15) García, A. 2002. **Contaminación del suelo. Contaminantes específicos. Fertilizantes**. Universidad de Extremadura. Departamento de Biología y Producción de los Vegetales. Área de Edafología y Química Agrícola on-line.  
Extraído de: <http://www.unex.es/edafo>.  
[Consulta: Abril de 2005].

(16) Salazar, C. 2003. **Situación de los recursos hídricos en Chile**.  
Extraído de: [www.thirdworldcentre.org/publi.html](http://www.thirdworldcentre.org/publi.html).  
[Consulta: Mayo de 2006].

(17) Ministerio Obras Públicas, 1999. Dirección General de Aguas. **Política Nacional De Recursos Hídricos**. Santiago, Chile.

(18) Fernández, A. 1999. **Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos**. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED, Argentina.

(19) Campos, H. 1994. **Evaluación de la carga de fósforo y nitrógeno en el Lago Villarrica**. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.

(20) Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2005. **Guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas**. Santiago, Chile.

(21) De León, L. [200-]. **Floraciones de Cianobacterias (Algas Verde-Azules) Características, Causas, Efectos y Recomendaciones**. Extraído de:

[http://www.freplata.org/actividades/archivos/Floraciones\\_algales\\_características\\_y\\_medidas.pdf](http://www.freplata.org/actividades/archivos/Floraciones_algales_características_y_medidas.pdf).

[Consulta: Abril de 2005].

(22) Lenntech. [s.a.]. Purificación del Aire y Tratamiento del agua. **Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua**. Extraído de:

<http://www.lenntech.com/espanol/Por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>.

[Consulta: Marzo de 2005].

(23) Granado, C. 1996. **Ecología de Peces**. Universidad de Sevilla, España.

(24) Ryding, S. 1992. **Control de la Eutrofización en Lagos y Pantanos**. Ediciones Pirámide. Madrid, España.

(25) Diario La Nación, Chile. 2001. **Alerta: El Lago Rapel Se Muere** por Dr. Irma Vila y Angela Quevedo. Extraído de: <http://www.aprchile.cl>.

[Consulta: Agosto de 2004].

(26) Comisión Nacional del Medio Ambiente VIII Región. 2000. **El Agua, Octava Región del Bío-Bío**. Extraído de: [http://www.conama.cl/certificación/1142/articles29100\\_recurso\\_7.pdf](http://www.conama.cl/certificación/1142/articles29100_recurso_7.pdf).

[Consulta: Agosto de 2004].

(27) Chile Vinos. 2005. **Región Vitivinícola de Casablanca.**

Extraído de: [http://www.chilevinos.com/chilevinos/vinas/valle\\_casablanca.aspx](http://www.chilevinos.com/chilevinos/vinas/valle_casablanca.aspx).

[Consulta: Junio de 2005].

28) Ilustre Municipalidad de Casablanca. 2005. **Distribución de la superficie del suelo.**

Extraído de: <http://www.chilesat.net/uchile/casablanca/suelos.htm>.

[Consulta: Octubre de 2005].

29) Induambiental, Programa de Capacitación Ambiental. [200-]. **Efectos económicos, sociales y ambientales de la contaminación de las aguas en el turismo.** Extraído de:

<http://www.induambiental.cl/1615/article-91833.html>.

[Consulta: Junio de 2005].

(30) Venegas, A. Inspector. S.A.G. Valparaíso. [Entrevista: Noviembre de 2005].

(31) Ecología y medioambiente. [200-]. **Humedales de la comuna de Algarrobo.**

Extraído de: <http://www.ecolyma.cl/paginas/humedalgarr/inicio.htm>.

[Consulta: Junio de 2005].

(32) Ministerio Obras Públicas, 1994. Dirección General de Aguas. **Registro de Embalses de la V Región.** Santiago, Chile.

(33) Vila, I & Soto, D. [s.a.]. **Odontesthes bonariensis “pejerrey argentino”, una especie para cultivo extensivo.** Extraído de:

[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/008/ad772s/AD772S17.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/008/ad772s/AD772S17.htm).

[Consulta: Marzo de 2006].

(34) **Comunidad Kitesurf Chile – Tranque Lo Ovalle.** [s.a.].

Extraído de: <http://www.kiteboarding.cl/index.php?mod=destinos&accion=ficha&id=86>.

[Consulta: Junio de 2006].

(35) Dirección General de Protección Ambiental Argentina. [s.a.].

**Cianobacterias Tóxicas y Floraciones en los Cuerpos de Agua Dulce.**

Extraído de: [www.chubut.gov.ar/dgpa/imagenes/ Folleto\\_cianobacterias%5B1%5D.doc](http://www.chubut.gov.ar/dgpa/imagenes/Folleto_cianobacterias%5B1%5D.doc)

[Consulta: Junio de 2006].

(36) Universidad Técnica Federico Santa María. 2005. Laboratorio de Evaluación Solar.

**Registro de precipitaciones registradas en Valparaíso.**

Extraído de: [http://www.labsolar.utfsm.cl/Tr/Precip/pre\\_anual.asp](http://www.labsolar.utfsm.cl/Tr/Precip/pre_anual.asp).

[Consulta: Octubre de 2005].

(37) Banda, C. Inspector. S.A.G. Valparaíso. [Entrevista: Octubre de 2005].

(38) Universidad de Concepción. 1993. Proyecto EULA. **Evaluación de la calidad del agua y Ecología del Sistema Limnético y Fluvial del Río BíoBío.**

(39) Fabián Grosman, Eva Antivero, Pablo Sanzano y Daniela Agüerfa. [s.a.]. **Ictiología de un ambiente pampásico afectado por una mortandad de peces.** Archivos de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Extraído de: <http://www.unlp.edu.ar/archivos/ictio.htm>

[Consulta: Junio de 2006].

## ANEXOS

### Anexo 1

Requisitos de calidad del agua para diferentes usos según NORMA CHILENA OFICIAL 1333 Of. 78 modificada en 1987.

- ❖ El agua para riego debe tener un pH comprendido entre 5.5 y 9.0.
- ❖ Requisitos del agua para riego de acuerdo a condiciones de salinidad, en base a características de conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales.

**Tabla n° 9.** – Clasificación de aguas para riego según su salinidad.

Clasificación	Conductividad específica ( c ) $\mu\text{mhos/cm a } 25^{\circ}\text{C}$	Sólidos disueltos totales ( s ) (mg/l)
Agua con la cual no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$S \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes es suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < s \leq 5000$

Fuente: Norma Chilena 1333, 1987.

❖ Requisitos para el agua destinada a vida acuática.

Las aguas dulces destinadas a ser usadas para la vida acuática deben cumplir con los requisitos generales que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla n° 10.** – Requisitos generales de aguas destinadas a vida acuática.

Características	Requisito
Oxígeno disuelto (mg/l)	5 mínimo
pH	6.0 a 9.0
Alcalinidad total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	20 mínimo
Turbiedad debido a descargas, unidades Sílice	No debe aumentar el valor natural en más de 30 unidades
Temperatura	En flujos de agua corriente no debe aumentar el valor natural en más de 3° C
Color	Ausencia de colorantes artificiales
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales	Ausentes
Sólidos sedimentables	No deben exceder del valor natural
Petróleo o cualquier tipo de hidrocarburo	No debe haber detección visual No debe haber cubrimiento de fondo, orilla o ribera No debe haber olor perceptible

Fuente: Norma Chilena 1333,1987.

## **Anexo 2**

Para efectos de la dictación de las normas secundarias de calidad ambiental para las aguas aptas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y los usos prioritarios, los valores máximos y mínimos a considerar serán los siguientes: los valores máximos y mínimos aquí expresados están referidos a concentraciones, rangos o unidades totales respecto a los elementos o compuestos que corresponda.

**Tabla nº 11.** - Criterios directrices incluidos en la elaboración de la norma secundaria de calidad ambiental para aguas superficiales.

	<b>Elementos o compuestos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Clase de excepción</b>	<b>Clase 1</b>	<b>Clase 2</b>	<b>Clase 3</b>
<b>INDICADORES FÍSICOS y QUÍMICOS</b>						
1.	Conductividad eléctrica	µS/cm	<600	750	1500	2250
2.	DBO5	mg/L	<2	5	10	20
3.	Color	Pt-Co	<16	20	100	>100
4.	Oxígeno disuelto	mg/L	>7.5	7.5	5.5	5
5.	pH	Rango	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
6.	RAS	-	<2.4	3	6	9
7.	Sólidos disueltos	mg/L	<400	500	1000	1500
8.	Sólidos suspendidos	mg/L	<24	30	50	80
9.	Temperatura	ΔT°C	<0.5	1.5	1.5	3
<b>INORGANICOS</b>						
10.	Amonio	mg/L	<0.5	1	1.5	2.5
11.	Cianuro	µg/L	<4	5	10	50
12.	Cloruro	mg/L	<80	100	150	200
13.	Fluoruro	mg/L	<0.8	1	1.5	2
14.	Nitrito	mg/L	<0.05	0.06	>0.06	>0.06
15.	Sulfato	mg/L	<120	150	500	1000
16.	Sulfuro	mg/L	<0.04	0.05	0.05	0.05
<b>ORGANICOS</b>						
17.	Aceites y Grasas	mg/L	<4	5	5	10
18.	Bifenilos policlorados	µg/L	*	0.040	0.045	>0.045
19.	Detergentes (SAAM)	mg/L	<0.16	0.2	0.5	0.5
20.	Índice de fenol	µg/L	<1.6	2	2	10
21.	Hidrocarburos policíclicos aromáticos	µg/L	<0.16	0.2	1	1
22.	Hidrocarburos	mg/L	<0.04	0.05	0.2	1
23.	Tetracloroetano	mg/L	*	0.26	0.26	>0.26

24.	Tolueno	mg/L	*	0.3	0.3	>0.3
<b>ORGANICOS PLAGUICIDAS</b>						
25.	Ácido 2,4 diclorofenoxiacético	µg/L	*	4	4	10
26.	Aldicarb	µg/L	*	1	11	11
27.	Aldrin	µg/L	*	0.004	0.004	0.7
28.	Atrazina + N-dealkyl metabolitos	µg/L	*	1	1	1
29.	Captán	µg/L	*	3	10	10
30.	Carbofurano	µg/L	*	1.65	45	45
31.	Clordano	µg/L	*	0.006	0.006	7
32.	Clorotalonil	µg/L	*	0.2	6	6
33.	Cyanazina	µg/L	*	0.5	0.5	10
34.	Demeton	µg/L	*	0.1	0.1	0.1
35.	DDT	µg/L	*	0.001	0.001	30
36.	Diclofop-metil	µg/L	*	0.2	0.2	9
37.	Dieldrín	µg/L	*	0.5	0.5	0.5
38.	Dimetoato	µg/L	*	6.2	6.2	6.2
39.	Heptaclor	µg/L	*	0.01	0.01	3
40.	Lindano	µg/L	*	4	4	4
41.	Paratión	µg/L	*	35	35	35
42.	Pentaclorofenol	µg/L	*	0.5	0.5	0.7
43.	Simazina	mg/L	*	0.005	0.01	0.01
44.	Trifluralina	µg/L	*	0.1	45	45
<b>METALES ESENCIALES DISUELTOS</b>						
45.	Boro	mg/L	<0.4	0.5	0.75	0.75
46.	Cobre	µg/L	<7.2	9	200	1000
47.	Cromo total	µg/L	<8	10	100	100
48.	Hierro	mg/L	<0.8	1	5	5
49.	Manganeso	mg/L	<0.04	0.05	0.2	0.2
50.	Molibdeno	mg/L	<0.008	0.01	0.15	0.5
51.	Níquel	µg/L	<42	52	200	200
52.	Selenio	µg/L	<4	5	20	50
53.	Zinc	mg/L	<0.096	0.120	1	5

<b>METALES NO ESENCIALES DISUELTOS</b>						
54.	Aluminio	mg/L	<0.07	0.09	0.1	5
55.	Arsénico	mg/L	<0.04	0.05	0.1	0.1
56.	Cadmio	µg/L	<1.8	2	10	10
57.	Estaño	µg/L	<4	5	25	50
58.	Mercurio	µg/L	<0.04	0.05	0.05	1
59.	Plomo	mg/L	<0.002	0.0025	0.2	5
<b>INDICADORES BIOLÓGICOS</b>						
60.	Coliformes fecales (NMP)	NMP/100ml	<10	1000	2000	5000
61.	Coliformes totales (NMP)	NMP/100ml	<200	2000	5000	10000

Fuente: CONAMA, 2005

### **Anexo 3**

Las siguientes 5 tablas (12 a la 16) indican los valores de los parámetros medidos en las 5 estaciones del embalse y, a su vez, el valor promedio en dichas estaciones por cada período muestreado.

**Tabla N° 12.** Valores de parámetros físicos y químicos correspondientes al primer muestreo en el embalse Lo Ovalle, con fecha 18 de Marzo de 2005.

<b>Punto muestreo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Prom</b>
<b>Parámetros</b>						
Temperatura (°C)	25.6	27.5	28.5	27.5	24.5	<b>26.7</b>
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.2	5.5	4.7	4.5	3.9	<b>4.9</b>
pH	9.2	9.2	9.2	9.2	9.1	<b>9.2</b>
Conductividad (µS/cm- 25°C)	300	300	300	300	300	<b>300</b>
PO <sub>4</sub> * (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total * (mg/l)	-	-	-	-	-	-
NO <sub>3</sub> (mg/l)	1.45	2.11	3.30	3.25	3.82	<b>2.78</b>
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	0.33	0.48	0.75	0.74	0.87	<b>0.63</b>
Sólidos disueltos (mg/l)	150	150	150	150	150	<b>150</b>

(\*) Las concentraciones de fósforo total y ortofosfatos no fueron medidas en el mes de Marzo.

**Tabla N° 13.** Valores de parámetros físicos y químicos correspondientes al segundo muestreo en el embalse Lo Ovalle, con fecha 12 de Abril de 2005.

<b>Punto muestreo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Prom</b>
<b>Parámetros</b>						
Temperatura (°C)	15.7	17.7	19.0	17.7	18.7	<b>17.7</b>
Oxígeno disuelto (mg/l)	7.16	7.23	5.70	5.02	9.22	<b>6.86</b>
pH	8.96	8.71	8.82	8.65	8.98	<b>8.82</b>
Conductividad (µS /cm- 25°C)	350	350	350	350	350	<b>350</b>
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0.78	0.50	-	0.34	-	<b>0.54</b>
Fósforo Total (mg/l)	0.26	0.16	-	0.11	-	<b>0.18</b>
NO <sub>3</sub> (mg/l)	4.57	3.52	2.46	5.98	3.52	<b>4.01</b>
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	1.04	0.80	0.56	1.36	0.80	<b>0.91</b>
Sólidos disueltos (mg/l)	180	180	180	180	180	<b>180</b>

**Tabla N° 14.** Valores de parámetros físicos y químicos correspondientes al tercer muestreo en el embalse Lo Ovalle, con fecha 16 de Mayo de 2005.

<b>Punto muestreo</b>	1	2	3	4	5	<b>Prom</b>	Afluente
<b>Parámetros</b>							
Temperatura (°C)	12.5	14.9	13.9	13.0	15.3	<b>13.9</b>	-
Oxígeno disuelto (mg/l)	12.0	11.2	11.5	11.2	11.4	<b>11.4</b>	-
pH	8.0	9.2	8.1	7.9	8.2	<b>8.2</b>	-
Conductividad (µS /cm- 25°C)	380	380	380	390	390	<b>380</b>	-
PO <sub>4</sub> (mg/l)	4.02	5.24	5.05	3.76	3.37	<b>4.29</b>	5.34
Fósforo Total (mg/l)	1.31	1.71	1.65	1.22	1.10	<b>1.40</b>	1.74
NO <sub>3</sub> (mg/l)	1.76	1.93	3.70	0.92	1.34	<b>1.93</b>	0.66
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	0.40	0.44	0.84	0.21	0.30	<b>0.43</b>	0.15
Sólidos disueltos (mg/l)	190	190	190	190	190	<b>190</b>	-

**Tabla N° 15.** Valores de parámetros físicos y químicos correspondientes al cuarto muestreo en el embalse Lo Ovalle, con fecha 20 de Junio de 2005.

<b>Punto muestreo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Prom</b>	<b>Afluente</b>
<b>Parámetros</b>							
Temperatura (°C)	13.7	14.1	14.5	14.5	15.0	<b>14.4</b>	-
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.24	6.95	8.10	5.90	8.77	<b>7.19</b>	-
pH	7.88	7.88	7.85	7.83	7.90	<b>7.87</b>	-
Conductividad (µS /cm- 25°C)	380	370	370	380	360	<b>370</b>	-
PO <sub>4</sub> (mg/l)	3.47	3.27	3.85	3.49	2.58	<b>3.33</b>	4.26
Fósforo Total (mg/l)	1.13	1.07	1.25	1.14	0.84	<b>1.09</b>	1.39
NO <sub>3</sub> (mg/l)	2.28	6.33	7.21	0.52	0.73	<b>3.41</b>	0.68
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	0.52	1.44	1.64	0.12	0.16	<b>0.77</b>	0.15
Sólidos disueltos (mg/l)	180	180	180	180	180	<b>180</b>	-

**Tabla N° 16.** Valores de parámetros físicos y químicos correspondientes al cuarto muestreo en el embalse Lo Ovalle, con fecha 26 de Julio de 2005.

<b>Punto muestreo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Prom</b>	<b>Afluente</b>
<b>Parámetros</b>							
Temperatura (°C)	11.3	11.6	12.5	11.0	12.9	<b>11.8</b>	-
Oxígeno disuelto (mg/l)	11.6	10.5	11.3	11.9	12.1	<b>11.4</b>	-
pH	8.20	8.12	8.29	8.32	8.35	<b>8.25</b>	-
Conductividad (µS /cm- 25°C)	320	320	310	310	320	<b>320</b>	-
PO <sub>4</sub> (mg/l)	10.67	0.17	6.98	12.29	5.73	<b>9.17</b>	7.11
Fósforo Total (mg/l)	3.48	3.32	2.28	4.01	1.87	<b>3.00</b>	2.32
NO <sub>3</sub> (mg/l)	3.17	1.65	1.89	3.80	1.45	<b>2.39</b>	3.32
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	0.72	0.37	0.43	0.86	0.33	<b>0.54</b>	0.75
Sólidos disueltos (mg/l)	160	150	160	150	160	<b>160</b>	-

#### **Anexo 4**

**Tabla N° 17.** Unidades relativas de clorofila período abril-julio de 2005.

Punto de muestreo	Abril	Mayo	Junio	Julio
	Absorbancia			
I	0.029	0.032	0.029	0.026
II	0.032	0.019	0.028	0.045
III	0.018	0.032	0.019	0.032
IV	0.025	0.027	0.024	0.042
V	0.022	0.019	0.031	0.040
<b>Promedio</b>	<b>0.025</b>	<b>0.026</b>	<b>0.026</b>	<b>0.037</b>

\* Longitud de onda 665 nm.

#### **Anexo 5**

**Tabla n° 18.** - Muestreo Embalse Lo Ovalle con fecha 30 de junio de 2005; realizado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG):

<b>Compuesto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
DBO <sub>5</sub>	mg/l	113.0
Conductividad eléctrica	µs/cm a 25°C	405.0
pH	-	8.27
Sólidos disueltos totales	mg/l	110.9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	27.7
Aceites y grasas	mg/l	1.8
Nitrógeno total - K	mg/l	2.29
Fósforo	mg/l	0.96
Nitrógeno - Nitrato	mg/l	1.09
Coliformes fecales	NMP/100 ml	500
Coliformes totales	NMP/100 ml	540

