



INFORME FINAL

“Diagnóstico de la calidad de las aguas del Lago Rupanco”

Solicitado por:

Centro para la Protección Ambiental CPA Rupanco

Cofradía Náutica Marina de Rupanco

Condominio Rahue Rupanco

Ejecutado por:

Universidad de Los Lagos

Mayo 2019

EQUIPO DE TRABAJO

Norka Fuentes González

Dra. rer. nat.

Directora Laboratorio de Limnología, Universidad de Los Lagos

Stefan Wolfl

Prof. Dr. rer.nat.

Limnolab

Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas

Universidad Austral

Jorge Nimptsch

Dr. rer.nat.

Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas

Universidad Austral

Catalina Ríos Henríquez

Licenciado en Biología Marina, Biólogo Marino

Asistente de Investigación, Laboratorio de Limnología, Universidad de Los Lagos



Universidad Austral de Chile

Conocimiento y Naturaleza

INDICE

Índice de Tablas.....	4
Índice de Figuras.....	6
1. Antecedentes.....	7
Objetivo General.....	10
2. Materiales y métodos.....	10
2.1 <i>Área de estudio</i>	10
2.2 <i>Ecosistema lacustre</i>	10
2.3 <i>Ríos tributarios</i>	15
3. Resultados.....	17
3.1 <i>Ecosistema lacustre</i>	17
3.2 <i>Ríos tributarios</i>	28
4. Conclusiones.....	39
5. Recomendaciones.....	43
6. Literatura Citada.....	46
Anexos.....	50
Anexo 1: Fotografías de terreno.....	50
Anexo 2: Fotografía de microalgas.....	58
Anexo 3: Abundancia de microalgas.....	61

Índice Tablas

Tabla 1. Georreferenciación de los puntos muestreados y resultados de los parámetros fisicoquímicos de transparencia (m), temperatura (°C), conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$), pH, oxígeno disuelto (OD en mg/L y % de saturación) en las estaciones ubicadas en el lago Rupanco.....	18
Tabla 2. Concentración de los nutrientes ($\mu\text{g}/\text{L}$): Amonio (N-NH ₄), Nitrato (N-NO ₃), Nitrógeno Total (N-TOTAL), Fósforo soluble (P-PO ₄), Fósforo total (P-TOTAL), Sílice y de la demanda química de oxígeno (DQO mg/L), Carbono Disuelto (DC; mg/L), Carbono Orgánico Disuelto (DOC; mg/L), Carbono Inorgánico Disuelto (DIC; mg/L) y Coliformes fecales (coli fec; NPM/100).....	21
Tabla 3. Resultados de la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos orgánicos (SSO) y sólidos suspendidos Inorgánicos (SSI) realizados en el lago Rupanco.....	23
Tabla 4. Resultados del perfil batimétrico de la concentración de Clorofila “a” en las estaciones ubicadas en el lago Rupanco.....	27
Tabla 5. Resultado de los parámetros in situ de conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y pH, junto a los parámetros morfométricos de los ríos tributarios.....	29
Tabla 6. Resultados de la concentración de nutrientes Amonio (N-NH ₄), Nitrato (N-NO ₃), Nitrógeno Total (N-TOTAL), Fósforo soluble (P-PO ₄), Fósforo total (P-TOTAL), además va incluido los resultados de la demanda química de oxígeno (DQO), Sílice y Coliformes fecales (Coli fec) realizados en los ríos tributarios.	32
Tabla 7 Resultados de la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos orgánicos (SSO) y sólidos suspendidos Inorgánicos (SSI) realizados en el los ríos tributarios.....	35
Tabla 8 Extracto desde guía Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas superficiales y marinas, valores para lagos araucanos y nordpatagónicos.....	40

Tabla 9	Evaluación del estado trófico histórico del lago Rupanco (promedio \pm desviación estándar). 1: Campos et al.. (1992); 2. IFOP-Universidad Austral de Chile 1986; 3: Informe FIP-IT/93-27; 4: Soto (2002); 5: Woelfl (2007); 6: León 2011; 7: Woelfl et al. 2013, 8. Pesse et al., 2018. N: número de fechas; s.d.: sin datos; * datos dudosos.....	41
Tabla 10	Concentración de P/N (promedio \pm desviación estándar) y contenido aproximado de P y N en el lago Rupanco. Volumen lago = 38 km ³ = 38 x 10 ¹² L; 1 TON = 10-12L.....	42

Índice Figuras

Figura 1.	Estaciones de muestreo en el lago (LRC1, LRC2, LRC3, LRC4) y ríos tributarios (R1 : Río Bonito; R2 : Río Callao; R3 : Río Nalcas; R4 : Río Blanco; R5 : Río Gaviotas; R6 : Río Negro; R7 : Río Puleufu; R8 : Río Dollinco; R9 : Estero Chalupa; R10 : Estero Huillín). Mapa tomado de León-Muñoz et al. (2013). Los usos del suelo se muestran en gris: suelo árido, verde: bosque nativo, naranja: matorrales, amarillo: cultivos y pastizales, y azul: agua.....	12
Figura 2.	Perfiles verticales de profundidad (m) de temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (%) en las estaciones de muestreo en el lago Rupanco.....	19
Figura 3.	Concentración de amonio (N-NH ₄), nitrato (N-NO ₃), nitrógeno total (N-org), fósforo soluble (P-PO ₄) y fósforo total (P-org) en las distintas profundidades y estaciones del Lago Rupanco.....	22
Figura 4.	Concentración de DOC en las distintas profundidades y estaciones del Lago Rupanco.....	24
Figura 5.	Distribución de grupos de microalgas (Cél/ml) y concentración de clorofila (µg/L) en las distintas profundidades y estaciones del Lago Rupanco.....	26
Figura 6.	Resultados de temperatura, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos (naranja oscuro corresponde a la fracción inorgánica y naranja claro corresponde a fracción orgánica) y oxígeno disuelto, medidos en los afluentes del lago Rupanco.....	33
Figura 7.	Resultados de la concentración de DQO, coliformes fecales, nitrógeno y fósforo, medidos en los afluentes del lago Rupanco.....	34
Figura 8.	Concentración de Carbono Disuelto Orgánico (DOC), medido en los afluentes del lago Rupanco.....	37
Figura 9.	Carga diaria de fósforo, nitrógeno y DOC, calculada para los afluentes muestreados del lago Rupanco.....	38
Figura 10.	Carga de PT (ton/año) y porcentaje contribución en el Lago Rupanco en 2017 (tomado de Pesse et al., 2018).....	44

1. ANTECEDENTES

El crecimiento demográfico y una concepción de desarrollo que no considera o subestima los costos ambientales y sociales derivados de su aplicación (Roca, 2000), ha generado durante las últimas décadas, drásticos cambios y degradación ambiental de los ecosistemas acuáticos continentales (UNESCO 2006, UNWW 2012).

Si bien a escala geológica el cambio de trofía de un cuerpo de agua es un proceso natural, la intervención antrópica puede acelerarla, así el cambio de uso del suelo (ej. deforestación por expansión agrícola), el incremento de asentamientos humanos y la expansión de actividades industriales modifican e incrementan los aportes difusos y puntuales de nutrientes y materia orgánica (Fuentes et al, 2013; Stoate, Báldi et al. 2009) y producen un decrecimiento medible en la calidad del cuerpo receptor, gatillando en casos extremos procesos de eutrofización (Smith, 2003).

Los lagos sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen con nutrientes, siendo los fosfatos (PO₄) y nitratos (NO₃), los que más influyen en este proceso. Al aumentar la disponibilidad de nutrientes limitantes (P y N) para el crecimiento de los productores primarios que habitan los cuerpos de agua (algas y plantas macrófitas), éstos aumentan su biomasa, reflejándose en aumento de clorofila “a” y de su productividad. Para determinar el estado trófico de un lago se mide la cantidad de nutrientes (N y P), la cantidad de algas (clorofila “a”), la transparencia (profundidad disco Secchi, visibilidad), la productividad primaria y la concentración de oxígeno en la columna de agua. Es así que la determinación de la calidad y estimación de la trofía (productividad) de una masa de agua superficial (lago, laguna, estuario o embalse) puede ser considerado un buen reflejo del “estado de salud” de la cuenca hidrográfica (Woelfl et al., 2011).

En función de la concentración de nutrientes en la columna de agua, los lagos pueden ser clasificados como ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutrófico o hipereutrófico (Chapra, 1997). Por lo general, los lagos oligotróficos se caracterizan por poseer bajos niveles de nutrientes, baja productividad primaria, gran transparencia de sus aguas y una biota diversa (Wetzel, 1986). De forma paralela a los efectos ecosistémicos, la eutrofización también afecta al hombre, porque cambia no sólo el aspecto estético del lago (cambio de color desde azul hacia verde) sino porque también afecta los potenciales usos del agua (recreación, potabilización, pesca, etc.) (Michael et al. 1996).

Los efectos negativos de la eutrofización más importantes son (véase revisión de literatura en Woelfl et al. 2011):

- ✓ aumento de la abundancia, biomasa y productividad primaria de algas/macrófitas
- ✓ disminución en la transparencia (visibilidad) del agua debido principalmente al florecimiento masivo (blooms) de algas
- ✓ disminución del oxígeno en la columna de agua, principalmente en el hipolimnion (estratos profundos) del lago durante la estratificación térmica
- ✓ en verano aumento de la demanda química de oxígeno (DBO5)
- ✓ cambio de especies en los distintos niveles tróficos: algas, zooplancton, peces, bentos
- ✓ aumento exponencial de algas azules (Cianobacterias) en verano que potencialmente producen toxinas que afectan a vertebrados.
- ✓ aumento de la abundancia, biomasa y productividad de organismos heterotróficos (zooplancton, bacterias, peces, bentos)

Como respuesta a esta situación, se han generado diversos principios, conceptos, modelos y metodologías para desarrollar planes de acción de carácter local y/o regional (Directiva Marco de Agua, 2000; EPA, 2009), destinados a reducir y/o detener la degradación ambiental de las fuentes naturales de agua dulce a través del manejo de las actividades humanas en la cuenca hidrológica del lago.

En la actualidad, los recursos hídricos chilenos han sufrido considerables alteraciones producto de la intervención antrópica en el ambiente. Debido al mal manejo de las cuencas hidrográficas en el sur de Chile, ven acelerado sus procesos de eutrofización por aporte de nutrientes. Por tal motivo y de acuerdo a diversos estudios realizados en estos lagos, se detecta un aumento del nivel trófico en forma acelerada. El incremento de la trofía de los lagos se relaciona con las diversas actividades productivas desarrolladas (en la zona de influencia) vecinas al cuerpo de agua, y/o en el resto de la cuenca. Hoy en día está llegando a los lagos una importante cantidad de nutrientes y sedimentos, por lo cual, la trofía de estos sistemas está cambiando de un estado de oligotrofia “bajo nivel de nutrientes y productividad” a un estado de oligo-mesotrofia debido principalmente a un aumento de la carga de nutrientes P y N (Woelfl et al., 2011).

Existen fuentes directas e indirectas de nutrientes al lago, ingresan en forma directa mediante la filtración de un sin número de fosas sépticas de viviendas ubicadas a orilla del lago, y el turismo en menor medida (bañistas, lanchas, desechos, etc.). Por otra parte, las actividades indirectas, están relacionadas con la explotación de bosque, pisciculturas, minicentrales y actividades agrícolas ganadera que producen arrastre de sólidos (escorrentía agrícola), nutrientes (principalmente nitratos) y sedimentos al lago (Oyarzún et al. 1997).

Chile cuenta con un marco legal constituido por diferentes normas e instrumentos legales: Código de Aguas (1981), Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (1994), Normas Primarias (2008) y Secundarias de Calidad de Aguas (Diario Oficial 2010, CONAMA 2006), el decreto MINSEG N°90 (Normas de emisión de residuos industriales líquidos (RILES) 2001) entre otras, que regulan las fuentes puntuales de desechos líquidos que se vierten al medio acuático, el acceso y los derechos legales y ambientales asociados al uso de este recurso.

Cabe destacar que la utilización de metodologías orientadas a caracterizar el estado trófico combinadas con estrategias de gestión y medidas correctoras respecto a la carga de nutrientes que llega a los lagos es útil y necesario y que el conocimiento limnológico detallado sobre los lagos del sur de Chile es fundamental.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este estudio consiste en evaluar la calidad de las aguas del lago Rupanco, a través del monitoreo de la columna de agua y sus principales afluentes

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio:

El Lago Rupanco pertenece al distrito de los lagos araucanos nordpatagónicos, localizado en la Región de Los Lagos, Chile, a los 40° 50' de latitud sur y 72° 30' longitud oeste, a una altitud de 118 metros sobre el nivel del mar, tiene una superficie de 233,41 km² siendo su largo máximo de 39,7 km y su ancho máximo de 9,1 km. Es considerado un lago profundo ($Z_{\max}= 274\text{m}$ y $Z_{\text{media}}= 162\text{m}$) oligotrófico monomítico temperado, su transparencia puede llegar a los 20 metros, pobre en nutrientes, con un bajo número de especies (Soto & Zuñiga 1991; Campos et al. 1992; Woelfl, 2007), con un período de circulación en invierno, aproximadamente a los 10° C y un período de estratificación marcada en verano y baja productividad. La oligotrofia del distrito se ha mantenido constante desde sus orígenes hace aproximadamente unos once mil años y esto se debe a la poca disponibilidad de nitrógeno y fósforo en la capa eufótica (Campos et al. 1989).

Su origen es glacial y su renovación teórica de aguas es de 12 años (Donoso & Phinney 1988, Campos et al. 1992) proviniendo el drenaje del Lago directamente de 57 arroyos andinos, con un solo efluente, el río Rahue. Su cuenca se caracteriza por rocas bajas en calcio y los arroyos de la región tienen un rango de pH fluctuante entre 6,5 a 7,5 (Vila et al., 1978). El uso de suelos de su cuenca estimado por Campos (1995), corresponde a 53,8% bosque nativo, 20,5% praderas, 22% lava, 2,8% de matorral y quila, experimentado un sustancial incremento de un 23% de los parches de matorral, cultivos y pastizales en las zonas más bajas (León - Muñoz et al., 2007; Echeverría et al. 2012).

2.2 Ecosistema lacustre

Monitoreo del Lago durante periodo de estratificación

El estudio fue realizado durante los días 24, 25, 26 y 28 de enero del 2019, época en que el lago se encontraba estratificado. Durante estos días fueron monitoreadas estaciones localizadas en el lago: **LRC1, LRC2, LRC3 y LRC4** y estaciones localizadas en **10** afluentes (Fig. 1, Tabla 1).

Determinación de parámetros fisicoquímicos

Desde cada estación **LRC1, LRC2, LRC3 y LRC4** se realizaron perfiles verticales de oxígeno disuelto (mg/L y % de saturación), pH, temperatura y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), hasta los 80 m utilizando una sonda autónoma EXO-1. Se determinó además la transparencia de la

columna de agua mediante un disco Secchi y se obtuvieron muestras de agua para la determinación de la concentración de coliformes fecales y sílice a los 0 m utilizando para ello una botella hidrográfica.

Zona Eufótica: Se calculó la zona eufótica (profundidad con 1% de la luz superficial, hasta donde pueden crecer algas y macrofitas) de cada lugar muestreado utilizando los datos de transparencia obtenidos con el disco Secchi, aplicando la siguiente ecuación de Campos (1988):

$$\text{Zona eufótica (m)} = (- 0, 0324 \times \text{SD} + 2,61) \times \text{SD}$$

Donde: SD es la profundidad de visibilidad del disco Secchi

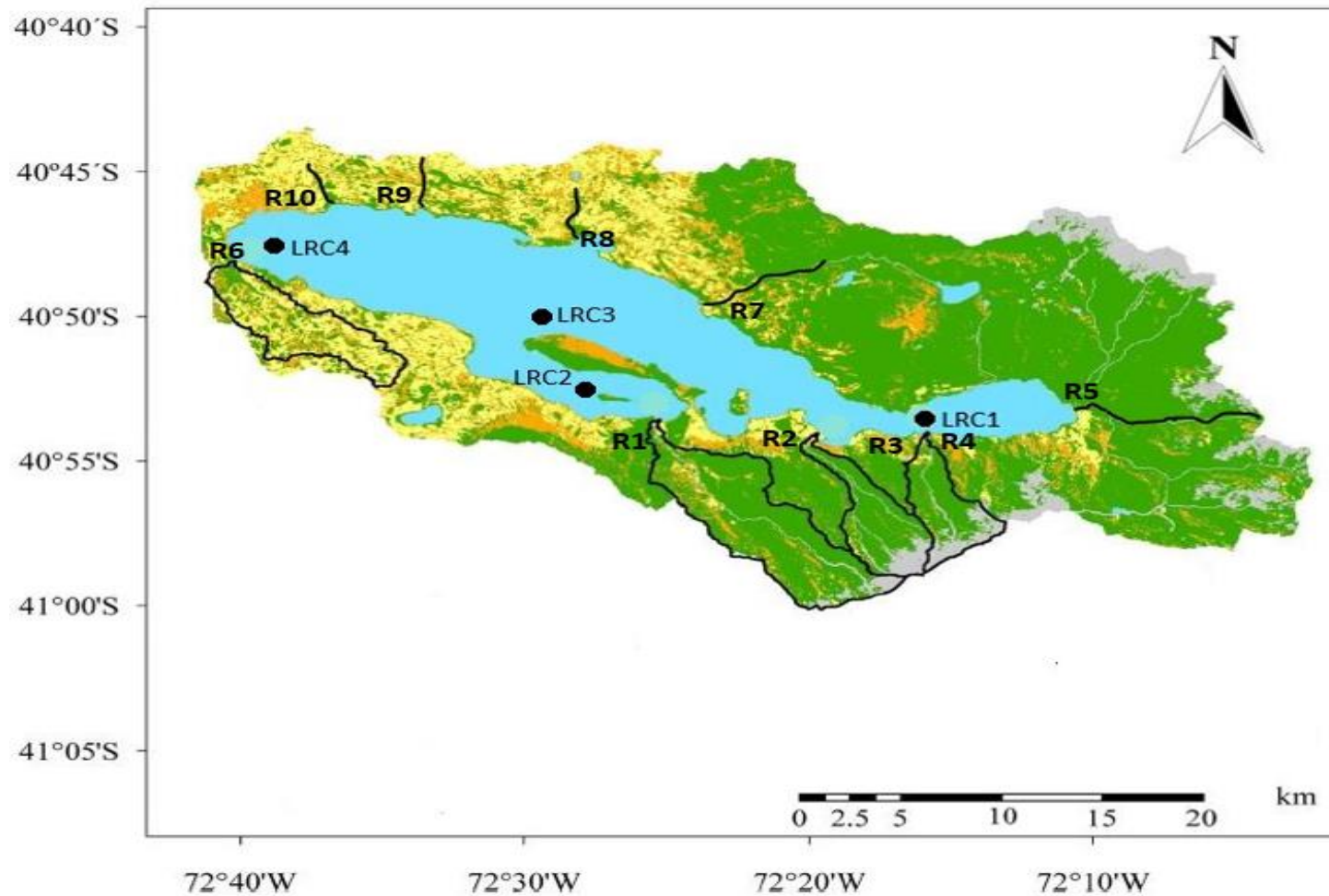


Figura 1: Estaciones de muestreo en el lago (**LRC1, LRC2, LRC3, LRC4**) y ríos tributarios (**R1:** Río Bonito; **R2:** Río Callao; **R3:** Río Nalcas; **R4:** Río Blanco; **R5:** Río Gaviotas; **R6:** Río Negro; **R7:** Río Puleufu; **R8:** Río Dollinco; **R9:** Estero Chalupa; **R10:** Estero Huillín). Mapa tomado de León-Muñoz et al. (2013). Los usos del suelo se muestran en gris: suelo árido, verde: bosque nativo, naranja: matorrales, amarillo: cultivos y pastizales, y azul: agua.

Determinación de nutrientes y DQO

Se obtuvieron muestras de agua para la determinación de la concentración de fósforo total (PT), fósforo soluble (P-PO₄), nitrógeno total (NT), nitrato (N-NO₃), carbono, demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (orgánico e inorgánico) desde diferentes profundidades: 0, 10, 30, 40 y 80 m, abarcando el epilimnion, metalimnion e hipolimnion del lago. Las muestras obtenidas se almacenaron en botellas plásticas a -20 °C hasta el momento del análisis en laboratorio.

El análisis químico de las muestras de agua fue realizado por el laboratorio LIMNOLAB de la Universidad Austral de Chile, utilizando las siguientes metodologías:

- ✓ **Fósforo total** mediante digestión ácida y oxidación con Persulfato de Potasio según Koroleff (1983) y 4500-P B/5 Standard Methods Edición 2005, con un límite de detección de 0,005 mg P/L.
- ✓ **Fósforo soluble** mediante 4500-P Standard Methods Edición 2005, con un límite de detección de 0,002 mg P/L.
- ✓ **Nitrato** mediante 4500-NO₃ – E Standard Methods Edición 2005; Segmented flow análisis Modul SKALAR con límite de detección de 0,002 mg N/L.
- ✓ **Nitrógeno total** mediante método de digestión básica con Hidróxido de Sodio y Persulfato de Potasio según Koroleff (1983) y 4500-N/C y 4500-NO₃ – E Standard Methods Edición 2005; Continuous flow análisis Modul SKALAR, límite de detección: 0,015 mg N/L.
- ✓ **Demanda química de oxígeno:** Medición con test kit Merck 4,0 – 40,0 mg/l. Límite de detección: 4 mg/L.

El análisis de carbono orgánico de las muestras de agua fue realizado por el laboratorio de Bioensayos y Limnología Aplicada de la Universidad Austral de Chile, utilizando la siguiente metodología:

Carbono orgánico disuelto/total: Medición con TOC Analyser Elementar (Jena, Alemania): Límite de detección: 0,2 mg/L.

Cuantificación de carbono orgánico disuelto (DOC)

Las muestras previamente acidificadas a un pH entre 2-3, se analizaron mediante combustión catalítica de alta temperatura y posterior detección infrarroja por medio de un autoanalizador HighTOC (Elementar Systems) utilizando aire sintético de alta pureza como gas de carga. Los análisis se realizaron a un flujo de aire sintético de 200 ml/min, con inyección de HCl al 0,8% (Merck) a temperatura de combustión de 1050°C y utilizando agua ultrapura Lichrosolv® (Merck) como línea base referencia y ácido tartárico (Merck) como estándar de referencia para carbono orgánico.

Sólidos Suspendidos Totales: La determinación de la concentración de sólidos suspendidos totales **SST**, expresada en mg/L, se realizó mediante gravimetría en el laboratorio de Limnología de la Universidad de Los Lagos, siguiendo la metodología NCh 2313/05 of. 2005, obteniendo fracción orgánica e inorgánica.

Coliformes fecales (NMP/100): se determinaron en el laboratorio CEAL de la Universidad de Los Lagos, siguiendo la metodología del ISP 2010: Coliformes Fecales: PRT-712.03-005.

Sílice: La concentración de sílice (mg/L) se realizó en el laboratorio WAC de la Universidad de Los Lagos utilizando la metodología Limnol. Analyses Exc.7. Límite de detección 2.5 mg/L.

Determinación de clorofila “a” y análisis taxonómico de fitoplancton

Se obtuvieron muestras de agua para la determinación de la concentración de clorofila “a” (biomasa) y determinación de fitoplancton a las profundidades: 0, 10, 15, 30 y 40 m, desde la zona fótica del Lago.

La concentración de clorofila “a” (total, sin corrección de feopigmentos) se determinó en el laboratorio de LIMNOLAB de la Universidad Austral de Chile mediante la metodología de extracción con acetona y medición con espectrofotometría, SCOR Unesco 1968. Precisión: 0,1 µg/L. Expresándose finalmente en µg/L.

La cuantificación y análisis taxonómico de fitoplancton se realizó en el laboratorio de Limnología de la Universidad de Los Lagos, siguiendo en método de Uthermöhl (1958), el que consiste en dejar decantar muestras en cámaras de sedimentación por 24 hrs y su observación en microscopio invertido LEITZ Diavert, cuantificando todo el fondo de la cámara con distintos objetivos. La identificación se realizó de forma simultánea con la cuantificación, utilizando para ello literatura especializada.

Determinación del contenido de P/N en el lago

Para la determinación de contenido de P/N en el lago, se calculó el contenido másico de P/N en base de la concentración promedia de todas las mediciones de P/N multiplicado con el volumen del lago (38 km³) según estudio de Campos et al. (1992).

Para ello se calculó

$$\text{P/N lago} = [\pm \text{P/N}]_{\text{lago}} * \text{Vol}$$

Donde:

±P/N lago: Promedio de concentración de fósforo y nitrógeno en la columna del lago (mg/m³)

Vol: Volumen de lago (m³).

Se determinó el contenido total de nutrientes en la columna de agua utilizando el volumen de agua por estrato y se calculó su fracción del volumen total del lago. Luego se multiplicó la concentración de nutrientes con la fracción del volumen total para cada estrato. Mediante la sumatoria de estos valores se obtuvo el promedio geométrico de nutrientes. Los volúmenes de cada estrato se obtendrán de la curva hipsográfica, la cual indica la distribución de volumen para cada estrato.

2.3 Ríos tributarios

Se consideraron 10 ríos tributarios: Río Bonito (R1), Río Callao (R2), Río Nalcas (R3), Río Blanco (R4), Río Gaviotas (R5), Río Negro (R6), Río Puleufu (R7), Río Dollinco (R8), Estero Chalupa (R9) y Estero Huillín (R10) (Fig. 1; Tabla 5).

Desde cada uno de los ríos se obtuvieron muestras superficiales de agua para la determinación de la concentración de fósforo total, fósforo soluble, nitrógeno total, nitrato, sílice, coliformes fecales, carbono, DQO y sólidos suspendidos totales (orgánico e inorgánico), además se midieron *in situ* oxígeno disuelto (mg/L y % de saturación), conductividad, temperatura y pH con una sonda EXO-1 y se determinaron los parámetros morfométricos: área, ancho, profundidad, velocidad de corriente con un flujómetro PCE-770. Todos los lugares, tanto del lago como de sus ríos tributarios, fueron georreferenciados con un GPS Garmin GPSMAP 64s (Tabla 1, Tabla 5).

Las metodologías utilizadas son las mismas descritas para muestras obtenidas en el lago.

Determinación de Caudal

La metodología a utilizar en la medición de caudales (aforo) corresponde a la de Área - Velocidad (DGA, 1978). La metodología consta de los siguientes pasos: (a) selección de la sección transversal al flujo, (b) definición de sub-secciones verticales según ancho del cauce; (c) medición de la velocidad media en la sub- sección vertical y (d) cálculo del caudal en cada subsección y del caudal total. La velocidad de flujo se medirá con un correntómetro portátil PCE 770, y contador mecánico, la profundidad (mínimo tres mediciones en la sección del río) y el ancho (con huincha metálica) de los ríos, según el método de sección trasversal (Gordon et al., 1992).

$$Q_i = V_i * A_i \quad (1)$$

(1) Donde V_i es velocidad de la corriente de la sección i (m/s) y A_i es el área de la sección i (m²).

Determinación aportes ríos afluentes

La ecuación para determinar la descarga diaria por el afluente es la siguiente:

$$\text{Lafuente} = Q_1 * [\text{P/N/DOC}]_1$$

Donde:

Lafuente: carga de P/N por afluente durante un día (p.e. kg/día).

Qn: caudal promedio durante período (día) (m³)

[P/N/DOC]n: promedio de concentración de P/N/DOC que corresponde al período n (ug/L)

3. Resultados

3.1 Ecosistema lacustre

Zona Eufótica

- ✓ La transparencia del agua para **LRC1, LRC2 y LRC4** fue de 11 m y la zona eufótica fue de 24.79 m (Tabla 1).

$$\text{Zona eufótica (m)} = (-0.0324 \times 11 + 2.61) \times 11$$

Zona eufótica= 24.79 m

- ✓ En **LRC3** la transparencia fue de 12 m y la zona eufótica de 26.65 m.

$$\text{Zona eufótica (m)} = (-0.0324 \times 12 + 2.61) \times 12$$

Zona eufótica= 26.65 m

Parámetros fisicoquímicos

Según la tabla 1 se observa que las cuatro estaciones localizadas en el lago Rupanco (Figura 1) presentan una termoclina entre los 20 y los 30 m, registrándose una **temperatura** superficial en el epilimnion que varía entre 18.8 °C (LRC1) y 19.5°C (LRC2) para luego disminuir en el hipolimnion a 10.3 °C en todas las estaciones muestreadas (Figura 2).

La concentración de **oxígeno disuelto** (mg/L) no presentó variaciones batimétricas fluctuando entre los 9,5-10,5 mg/L, en cambio el porcentaje de saturación disminuye con la profundidad, registrándose fluctuaciones de 104.5 % y 106.4 % en el epilimnion y de 84.5% y 90.5% en el hipolimnion (Tabla 1, Figura 2).

Los perfiles de **pH** determinados en las estaciones **LRC1, LRC2, LRC3 y LRC4** son neutros con rangos entre los 6.9 y los 8.1, observándose además una leve disminución con la profundidad.

La **conductividad eléctrica** no presentó grandes diferencias, en el epilimnion varió entre los 41.4 µs/cm y 42.9 µs/cm, en cambio, en el hipolimnion tendió a bajar levemente, manteniéndose entre los 35.2 µs/cm y 35.5 µs/cm en todas las estaciones muestreadas (Tabla 1).

Tabla 1: Georreferenciación de los puntos muestreados y resultados de los parámetros fisicoquímicos de transparencia (m), temperatura (°C), conductividad (µs/cm), pH, Oxígeno Disuelto (OD en mg/L y % de saturación) en las estaciones ubicadas en el lago Rupanco.

Estación	Georreferenciación	Transparencia (m)	Temperatura (°C)	Conductividad (us/cm)	pH	DO (mg/L)	DO (%sat)
LRC1 0 m	40° 52' 34.3" S 72° 16' 09.9" WO	11.0	18.8	42.7	8.1	9.7	104.5
LRC1 10 m			18.3	43.0	8.0	10.1	106.9
LRC1 30 m			11.3	36.0	7.6	10.5	95.3
LRC1 40 m			10.7	35.6	7.5	10.2	91.8
LRC1 80 m			10.3	35.5	7.2	10.0	88.9
LRC2 0 m	40° 52' 37.3" S 72° 29' 29.3" WO	11.0	19.5	43.0	8.1	10.0	106.4
LRC2 10 m			17.0	41.4	8.0	10.4	107.0
LRC2 30 m			11.5	36.1	7.6	10.2	93.1
LRC2 40 m			10.9	35.6	7.5	9.9	89.5
LRC2 80 m			10.3	35.3	7.5	9.5	84.5
LRC3 0 m	40° 47' 44.8" S 72° 32' 01.7" WO	12.0	18.1	41.4	7.8	9.9	105.2
LRC3 10 m			17.5	41.9	8.0	10.3	107.3
LRC3 30 m			11.1	35.8	7.6	10.3	93.2
LRC3 40 m			10.6	35.4	7.6	10.1	91.1
LRC3 56 m			10.5	35.3	7.7	10.1	90.5
LRC4 0 m	40° 47' 24.1" S 72° 40' 57.9" WO	11.0	18.2	42.9	7.8	9.9	104.5
LRC4 10 m			17.2	41.7	7.9	10.4	107.6
LRC4 30 m			11.4	36.0	7.5	10.3	94.1
LRC4 40 m			10.7	35.5	7.4	10.1	91.0
LRC4 80 m			10.3	35.2	6.9	10.0	89.4

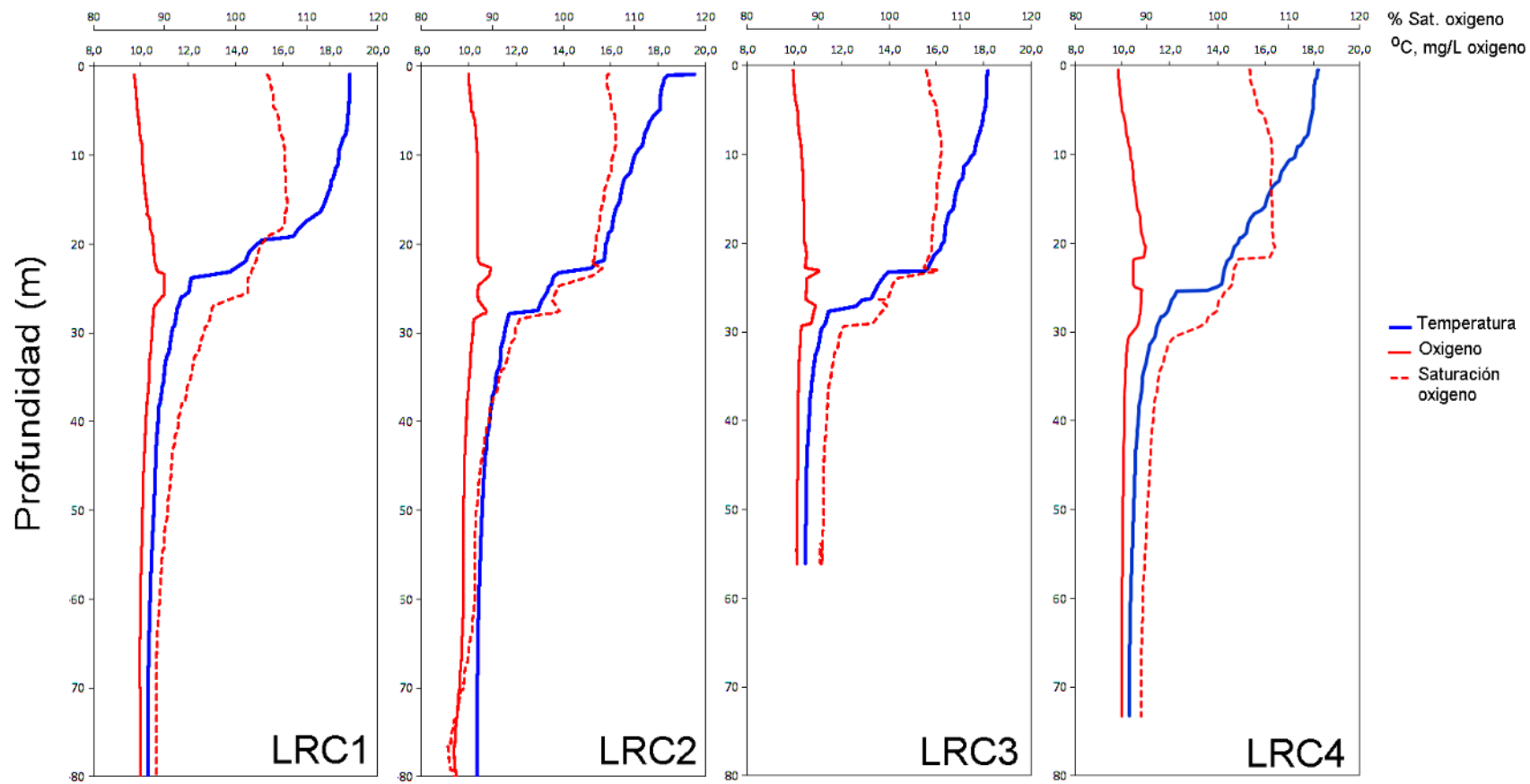


Figura 2: Perfiles verticales de profundidad (m) de temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (%) en las estaciones de muestreo en el lago Rupanco.

Determinación de nutrientes y DQO

El **amonio** (N-NH₄) no mostró diferencias entre las estaciones, tanto horizontal como verticalmente, registrando valores bajo el límite de detección (<5 µg/L), excepto en LRC1 que presentó concentraciones de 5 µg/L a los 0 m y 8.2 µg/L a los 10 m (Figura 3, Tabla 2).

El **nitrato** (N-NO₃) registró bajas concentraciones en el epilimnion (2 µg/L) de las estaciones, con aumentos en el hipolimnion de 22.6 µg/L en **LRC1**, 32.7 µg/L en **LRC3**, 27.3 µg/L en **LRC4**. En cambio, en la estación **LRC2** registró en el epilimnion (23 µg/L) y en el hipolimnion (25.8 µg/L) concentraciones homogéneas.

El **nitrógeno total** (N-TOTAL) presenta concentraciones relativamente homogéneas en la columna de agua, variando de 51,7-80,9 µg/L.

El fósforo soluble (**P-PO₄**) no presentó fluctuaciones batimétricas ni horizontales, registrando concentraciones < 2 µg/L, aumentando levemente su concentración a 3.4 µg/L en **LRC2** a los 80 m (Figura 3, Tabla 2).

El fósforo total (**P-TOTAL**) mantiene concentraciones bajas (< 5 µg/L), excepto en **LRC1** a los 0 m donde la concentración fue de 6.1 µg/L y en LRC2 a los 80 m donde fue de 8.7 µg/L (Figura 3, Tabla 2).

La concentración de DQO, sílice y coliformes fecales no registró variaciones en la columna de agua, fluctuando entre rango de <4 mg/l a 4.7 mg/L para DQO, 4.38 a 4.72 mg/L para sílice y 1.8 NMP/100 para coliformes fecales.

Tabla 2: Concentración de los nutrientes ($\mu\text{g/L}$): Amonio (N-NH₄), Nitrato (N-NO₃), Nitrógeno Total (N-TOTAL), Fósforo soluble (P-PO₄), Fósforo total (P-TOTAL), Sílice y de la demanda química de oxígeno (DQO mg/L), Carbono Disuelto (DC; mg/L), Carbono Orgánico Disuelto (DOC; mg/L), Carbono Inorgánico Disuelto (DIC; mg/L) y Coliformes fecales (coli fec; NPM/100).

Estación	N-NH ₄ ($\mu\text{g/L}$)	N-NO ₃ ($\mu\text{g/L}$)	N-TOTAL ($\mu\text{g/L}$)	P-PO ₄ ($\mu\text{g/L}$)	P-TOTAL ($\mu\text{g/L}$)	DQO (mg/L)	DC (mg C/L)	DOC (mg C/L)	DIC (mg C/L)	Sílice (mg/L)	Coli fec (NPM/100)
LRC1 0 m	5.0	2.3	59.7	< 2	6.1	< 4	4.2	1.5	2.7	4.72	1.8
LRC1 10 m	8.2	< 2	77.4	< 2	< 5	< 4	3.9	1.0	2.9		
LRC1 30 m	< 5	< 2	52.1	< 2	< 5	< 4	3.4	0.7	2.7		
LRC1 40 m	< 5	2.2	70.8	< 2	5.0	< 4	4.1	0.8	3.3		
LRC1 80 m	< 5	22.6	76.0	2.1	5.2	< 4	3.4	0.6	2.8		
LRC2 0 m	< 5	23.0	67.0	< 2	< 5	4.0	4.1	1.3	2.8	4.38	1.8
LRC2 10 m	< 5	5.5	80.4	< 2	< 5	< 4	3.4	1.0	2.4		
LRC2 30 m	< 5	< 2	67.3	< 2	< 5	< 4	3.4	0.9	2.5		
LRC2 40 m	< 5	3.6	51.7	< 2	< 5	< 4	3.6	0.8	2.8		
LRC2 80 m	< 5	25.8	53.9	2.4	8.7	< 4	4.3	1.1	3.2		
LRC3 0 m	< 5	< 2	71.8	< 2	< 5	< 4	2.8	0.9	1.9	4.39	1.8
LRC3 10 m	< 5	< 2	56.2	< 2	< 5	4.6	4.1	0.9	3.1		
LRC3 30 m	< 5	< 2	55.2	< 2	< 5	< 4	3.2	0.7	2.5		
LRC3 40 m	< 5	3.9	53.9	< 2	< 5	< 4	2.9	0.9	2.0		
LRC3 80 m	< 5	32.7	56.1	2.7	< 5	< 4	2.8	0.5	2.2		
LRC4 0 m	< 5	< 2	67.7	< 2	5.6	4.7	2.5	0.7	1.7	4.38	1.8
LRC4 10 m	< 5	2.2	80.9	< 2	< 5	4.6	2.6	0.7	1.9		
LRC4 30 m	< 5	< 2	61.9	< 2	< 5	< 4	2.2	0.6	1.6		
LRC4 40 m	< 5	13.5	57.2	< 2	< 5	< 4	2.4	0.6	1.8		
LRC4 80 m	< 5	27.3	64.2	3.4	< 5	< 4	2.6	0.5	2.1		

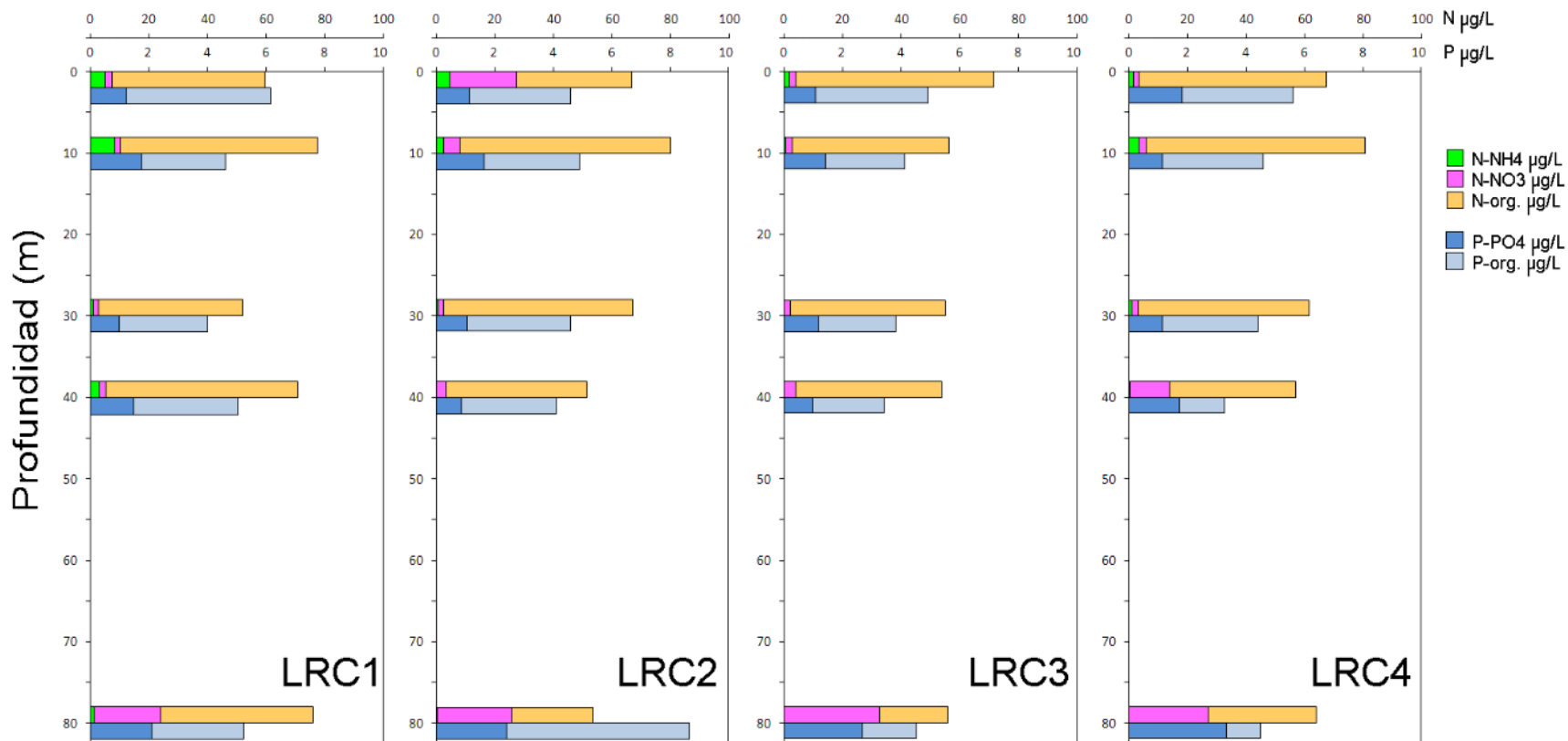


Figura 3: Concentración de amonio (N-NH₄), nitrato (N-NO₃), nitrógeno total (N-org), fósforo soluble (P-PO₄) y fósforo total (P-org) en las distintas profundidades y estaciones del Lago Rupanco.

En general, los **sólidos suspendidos totales SST**, los sólidos suspendidos orgánicos **SSO** y los sólidos suspendidos inorgánicos **SSI** no registraron variaciones en la columna de agua. Los **SST** fluctuaron entre los 0.3 y 1.6 mg/L, los **SSO** fluctuaron entre los 0.1 y los 0.8 mg/L y finalmente, los **SSI** fluctuó entre los 0 y los 1.5 mg/L (Tabla 3).

Las concentraciones de DOC en el lago Rupanco fluctuaron entre 0.53-1.26 mg C/L, presentándose una distribución relativamente homogénea respecto a los valores de carbono orgánico disuelto en las estaciones monitoreadas, con una tendencia a disminuir desde la superficie del lago hacia los 80m de profundidad, observándose los máximos valores de DOC con 1.26 mg C/L en la superficie del lago de la estación LRC2 (Tabla 2, Figura 4).

Tabla 3: Resultados de la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos orgánicos (SSO) y sólidos suspendidos Inorgánicos (SSI) realizados en el lago Rupanco.

Estación	SST (mg/L)	SSO (mg/L)	SSI (mg/L)
LRC1 0 m	0.9	0.5	0.4
LRC1 10 m	0.6	0.5	0.1
LRC1 30 m	0.6	0.4	0.1
LRC1 40 m	0.7	0.4	0.3
LRC1 80 m	0.8	0.8	0.1
LRC2 0 m	1.0	0.6	0.4
LRC2 10 m	0.7	0.6	0.1
LRC2 30 m	0.5	0.5	0.0
LRC2 40 m	1.2	0.6	0.6
LRC2 80 m	1.1	0.7	0.4
LRC3 0 m	0.4	0.1	0.3
LRC3 10 m	0.4	0.1	0.4
LRC3 30 m	0.5	0.1	0.4
LRC3 40 m	0.4	0.1	0.3
LRC3 80 m	0.3	0.1	0.3
LRC4 0 m	0.4	0.3	0.1
LRC4 10 m	1.6	0.1	1.5
LRC4 30 m	0.8	0.1	0.7
LRC4 40 m	0.6	0.1	0.5
LRC4 80 m	0.9	0.1	0.9

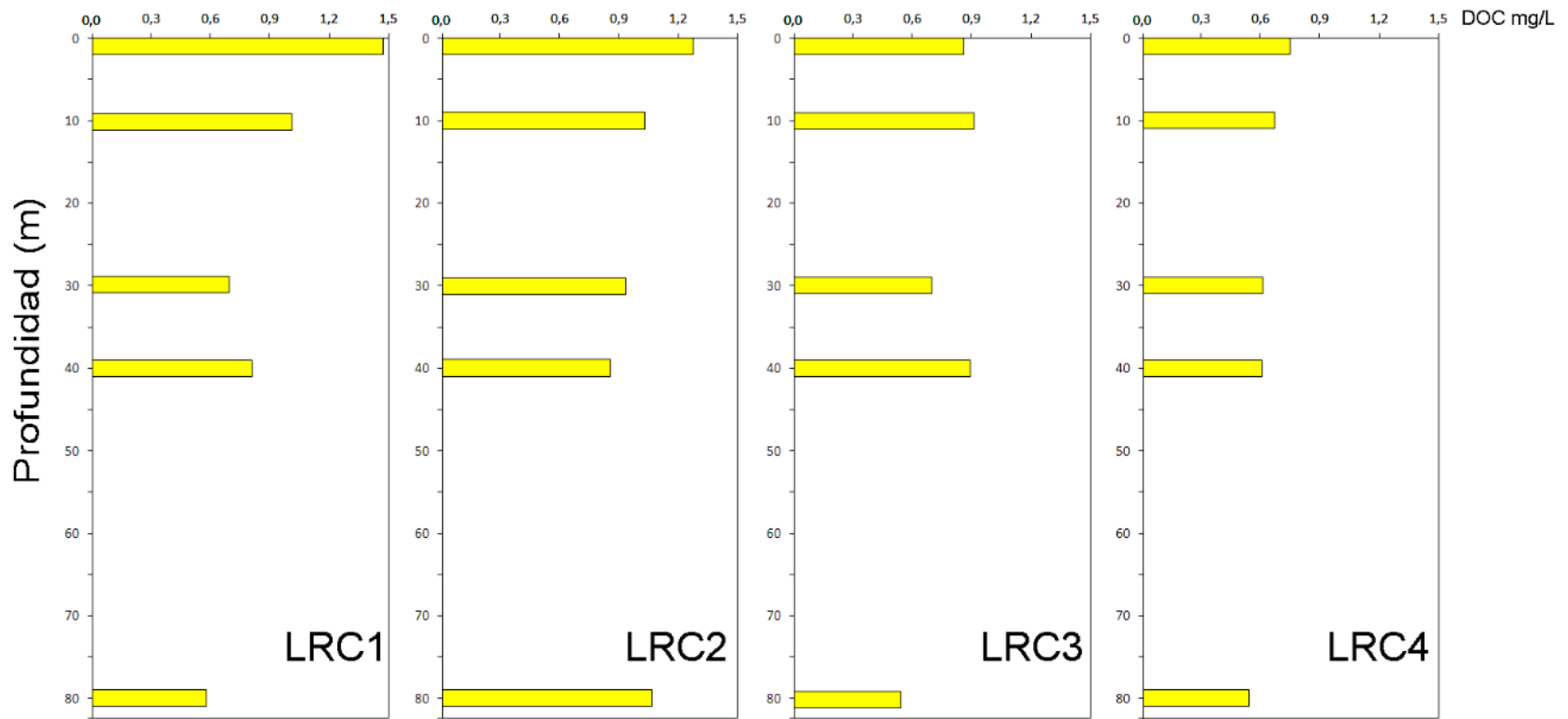


Figura 4: Concentración de DOC carbono orgánico disuelto (mg/L) en las distintas profundidades y estaciones del Lago Rupanco.

Distribución espacial y vertical de microalgas en el Lago Rupanco

En total se registraron 97 especies de microalgas, de las cuales 34 corresponden a Bacillariophyta, 28 a Chlorophyta, 21 a Cyanobacterias, 6 a Charophyta, 3 a Miozoa, 2 a Euglenozoa y Ochrophyta y 1 a Cryptophyta (Figura 5). Las abundancias estimadas de la comunidad de microalgas (cel/ml; Anexo 3; Figura 5), concuerdan con la densidad celular descrita para ambientes oligotróficos de los lagos del sur de Chile con valores entre 75000 cel/L (75 cel/ml) y 700000 cél/L (700 cel/ml) (Woelfl et al 2011).

Con respecto a las variaciones espaciales se registró que la mayor abundancia fue en la estación LRC4 a los 15 m con 292.9 cél/ml y las menores fueron registradas a los 40 m en todas las estaciones de muestreo (Figura 5). En general, es decir, en toda la columna de agua se registró que los grupos más dominantes en abundancia fueron Bacillariophyta (48.77 %), Chlorophyta (18.80 %) y Cyanobacteria (13.31 %). Las especies registradas como las más abundantes (Anexo 2) fueron *Sphaerocystis schroeteri* (Chlorophyta), *Nitzschia acicularis* (Bacillariophyta), *Tabellaria fenestrata* (Bacillariophyta) y *Gymnodinium fuscum* (Miozoa), especies registradas en época estival (Campos et al 1992).

Las variaciones batimétricas en **LRC1** registraron mayores abundancias de microalgas a los 15 m (248.32 cel/ml) y las menores abundancias a los 40 m (108.84 cel/ml), siendo *Gymnodinium fuscum* la especie más abundante registrada a los 15 m, *Dinobryon divergens* más abundante a los 0 y 10 m; y *Tabellaria fenestrata* la más abundante a los 30 y 40 m (Anexo 1).

En la estación **LRC2**, la mayor abundancia de microalgas se registró a los 10 m (246.2 cel/ml) y la menor abundancia a los 40 m (119.7 cel/ml), siendo *Tabellaria fenestrata* la especie más abundante a los 0 m (11.3 cel/ml), a los 10 m (11.1 cel/ml) junto a *Nitzschia acicularis* (11.2 cel/ml) y a los 40 m (9.8 cel/ml), a los 15 m la especie más abundante fue *Synedra rumpens* (14.2 cel/ml) y a los 30 m abundó *Sphaerocystis schroeteri* (13.5 cel/ml) (Anexo 1).

La variación batimétrica de la abundancia de microalgas en la estación **LRC3** registró que la mayor abundancia fue a los 10 m (231.6 cel/ml) y la menor a los 40 m (88.3 cel/ml). Las especies más abundantes en esta estación fueron *Sphaerocystis schroeteri* a los 0 m (13.4 cel/ml) y a los 30 m (10.7 cel/ml), mientras que *Nitzschia acicularis* abundó a los 10 m (13 cel/ml), a los 15 m (11.6 cel/ml) y a los 40 m (19.4 cel/ml).

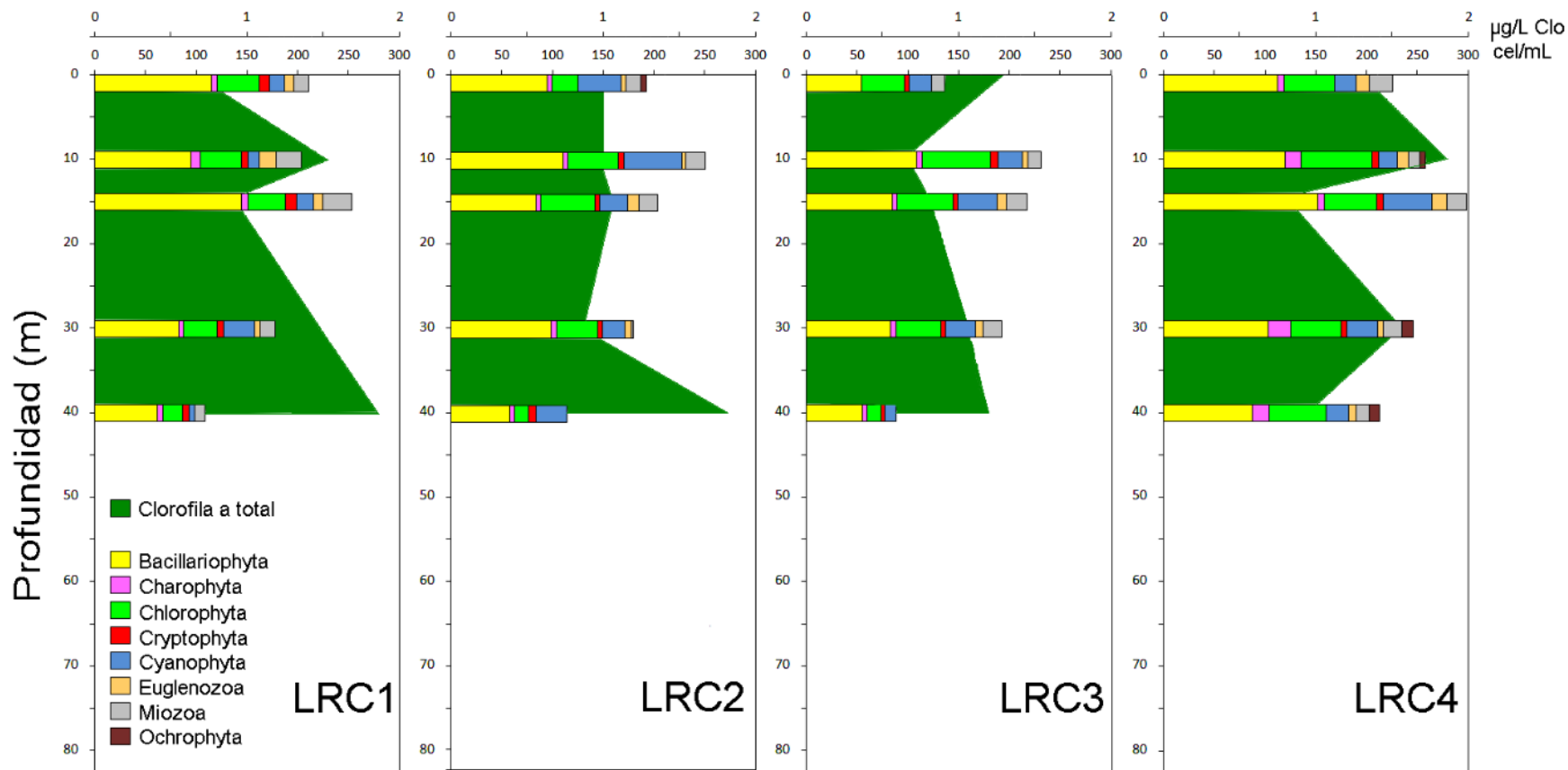


Figura 5: Distribución de grupos de microalgas (Cél/ml) y concentración de clorofila ($\mu\text{g/L}$) en las distintas profundidades y estaciones del Lago Rupanco.

Finalmente, en la estación denominada **LRC4**, se registró que la mayor abundancia de microalgas fue a los 15 m (292.9 cel/ml) y la menor se registró a los 40 m (195 cel/ml). Las especies que mostraron mayores abundancias fueron *Nitzschia acicularis*, a los 0 m con 16.6 cel/ml; a los 10 m con 17.2 cel/ml y a los 15 m con 20.5 cel/ml; *Sphaerocystis schroeteri* a los 30 m con una abundancia de 11.3 cel/ml y *Tabellaria fenestrata* registró una abundancia de 11.6 cel/ml a los 40 m de profundidad.

Con respecto a los resultados de **clorofila "a"**, las concentraciones fluctuaron entre 0.66-1.90 µg/L, siendo LRC4 a los 40 m (0.66 µg/L) y LRC1 a los 0 m (0.67 µg/L) las estaciones que registraron menor concentración, en cambio, LRC1 a los 40 m (1.90 µg/L) seguido de LRC4 a los 10 m (1.83 µg/L) fueron las estaciones que registraron mayores concentraciones (Tabla 4, Figura 5).

Tabla 4: Resultados del perfil batimétrico de la concentración de Clorofila "a" en las estaciones ubicadas en el lago Rupanco.

Estación	Clorofila "a" total (µg/L)
LRC1 0 m	0.67
LRC1 10 m	1.49
LRC1 15 m	0.88
LRC130 m	1.38
LRC1 40 m	1.90
LRC2 0 m	1.04
LRC2 10 m	1.04
LRC2 15 m	1.13
LRC2 30 m	0.78
LRC2 40 m	1.79
LRC3 0 m	1.34
LRC3 10 m	0.72
LRC3 15 m	0.83
LRC3 30 m	1.05
LRC3 40 m	1.22
LRC4 0 m	1.41
LRC4 10 m	1.83
LRC4 15 m	0.66
LRC4 30 m	1.63
LRC4 40 m	0.87

3.2 Ríos tributarios

La **temperatura** registrada en los tributarios (Figura 6, Tabla 5) varió entre los 9.71 y los 17.26°C, registrando las temperaturas más baja en el río Nalcas (7.84°C) y el río Callao (9.70°C) y las temperaturas más altas en el río Dollinco (17.26°C) y en el río Bonito (16.46°C).

La **conductividad eléctrica** registrada en los ríos tributarios fluctuó entre los 27.50 y los 76.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$, presentando los mayores valores en el río Dollinco (76.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y en el estero Huillín (76.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y el menor valor en el río Puleufu (27.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Valores sobre 30-40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ generalmente indican intervención humana y/o influencia volcánica en esta zona.

La **concentración de oxígeno disuelto OD** fue homogénea entre los ríos, siendo las concentraciones más bajas en el río Negro (9.71 mg/L) y en el estero Chalupa (9.89 mg/L) y las más altas en el río Callao (11.12 mg/L) y en el río Nalcas (11.91 mg/L). El **porcentaje de saturación de Oxígeno** también fue homogéneo variando levemente de 93.80 % a 108 %, siendo el río Chalupa el de menor porcentaje (93.80%) junto al río Negro (94.9%) y los ríos que registraron mayor porcentaje fueron el río Bonito (103.50%) y el río Dollinco (108.70%) (Figura 6, Tabla 5). En general se concluye que se observó en cada río una muy buena oxigenación.

El **pH** registró leves variaciones entre los ríos en estudio, manteniéndose neutro a levemente alcalino 7.44 - 8.11 (Figura 6, Tabla 5).

Los **parámetros morfométricos** área m^2 y **Caudal** (m^3/s) determinados en los ríos indican que el río que tiene una mayor área (m^2) fue el río Gaviotas con 12.60 m^2 y la menor área fue el río Chalupa con 0.16 m^2 . Con respecto al caudal, el río que presenta un mayor caudal fue el río Bonito con 19.91 m^3/s y el que presento un menor caudal fue el estero Chalupa con un 0.003 m^3/s (Tabla 5).

Tabla 5: Resultado de los parámetros *in situ* de conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y pH, junto a los parámetros morfométricos de los ríos tributarios.

Ríos tributarios	Estación	Georreferenciación	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Oxígeno Disuelto (% sat)	pH	Área (m^2)	Caudal (m^3/s)
Río Bonito	R1	40° 53' 17.0"S 72° 27' 48.5"WO	45.50	16.46	10.11	103.50	7.44	6.42	19.91
Río Callao	R2	40° 53' 31.6"S 72° 20' 40.6"WO	35.40	9.70	11.12	97.80	7.59	3.03	8.57
Río Nalcas	R3	40° 53' 42.7"S 72° 20' 15.7"WO	38.10	7.84	11.91	100.20	7.89	4.84	10.06
Río Blanco	R4	40° 53' 20.7" S 72° 15' 59.7"WO	51.90	12.10	10.78	100.40	7.94	0.82	2.33
Río Gaviotas	R5	40° 52' 20.7" S 72° 10' 51.7" WO	42.20	12.34	10.48	97.80	7.70	12.60	17.89
Río Negro	R6	40°47'59.6"S 72°40'58.8"WO	44.50	14.31	9.71	94.90	7.59	0.50	1.03
Río Puleufu	R7	40° 49' 10.7"S 72° 24' 18.5"WO	27.50	11.12	10.90	98.20	7.83	9.72	3.79
Río Dollinco	R8	40° 47' 03.7"S 72° 28' 56" WO	76.50	17.26	10.61	108.70	8.11	1.43	1.27
Estero Chalupa	R9	40° 46' 0.63"S 72° 39' 38.4" WO	62.80	12.60	9.89	93.80	7.57	0.16	0.003
Estero Huillín	R10	40° 45' 54.8" S 72° 37' 37.9" WO	76.80	12.63	10.40	98.30	7.98	1.40	1.18

Aporte de Nutrientes

Respecto al **nitrógeno**, se observó en algunos ríos valores característicos (**> 100 µg/L N total**) para áreas intervenidos por el hombre (p.e. agricultura/ganadería/piscicultura), específicamente los ríos Negro, Dollinco, Chalupa y Huillín (Tabla 6). Mientras en zonas con poca intervención humana (poca actividad agrícola/ganadería) valores generalmente menores a 100 µg/L N total

La concentración de **amonio** (N-NH₄) fluctuó entre los 5 y los 27.9 µg/L, siendo los ríos Bonito, Callao, Nalcas, Blanco y Gaviotas los que registraron una menor concentración y el estero Chalupa el que registró mayor concentración (Tabla 6, Figura 7). La concentración de **nitrito** (N-NO₃) registró variaciones entre los 3.2 y los 292.2 µg/L, registrándose la concentración más baja en el río Bonito (3.2 µg/L) seguido del río Blanco (4.0 µg/L) y las concentraciones más altas en el estero Huillín (291.2 µg/L) seguido del río Dollinco (174.2 µg/L). El **nitrógeno total** (N-TOTAL) fluctuó entre los 26.2 y los 1050.4 µg/L, siendo la concentración más baja en los ríos Nalcas y Blanco (26.2 µg/L) y las más alta en el estero Huillín (1050.4 µg/L) seguido del río Negro (456.7 µg/L).

La concentración de **fósforo soluble (P-PO₄)**, varió entre los 2.1 y 86.1 µg/L, siendo los ríos Negro (<2 µg/L) y Gaviotas (2.1 µg/L) los que registraron una menor concentración, y el estero Huillín (86.1 µg/L) el que registró la mayor concentración (Tabla 6, Figura 7).

La concentración de **fósforo total (P-TOTAL)** registró variaciones entre los 5.6 y los 160.3 µg/L, las menores concentraciones se registraron en los ríos Gaviota (5.6 µg/L) y Bonito (10.3 µg/L) ubicados en áreas de bosque nativo y las mayores concentraciones en el estero Huillín (160 µg/L) y estero Chalupa (50.8 µg/L), afluentes localizados en áreas de pastizales y cultivos (Tabla 6, Figura 7). Valores típicos para áreas de poca intervención humana presentan valores menores a 10 µg/L, mientras concentraciones sobre 20 µg/L P son característicos para áreas con intervención humana. En este sentido el estero Chalupa y Huillín claramente drenan áreas con alta intervención humana.

La **demanda química de oxígeno (DQO; mg/L)** fluctuó entre los <4 y los 10.4 mg/L, siendo los ríos Bonito, Callao, Blanco, Gaviotas y Puleufu los que registraron una menor concentración (<4 mg/L) y las mayores concentraciones se registraron en el estero Huillín (10.4 mg/L) río Negro (9.3 mg/L) y Dollinco (7.5 mg/L), que identifican áreas con una intervención humana (Tabla 6, Figura 7).

La concentración de **silíce** varió entre los 2 y los 24.3 mg/L, registrándose las menores concentraciones en los ríos Bonito, Callao, Gaviotas, Negro, Estero Chalupa y Estero Huillín; la mayor concentración se registró en el río Blanco (24.3 mg/L) (Tabla 6).

Los valores de **coliformes fecales** (coli fec; NPM/100) fluctuaron entre 2 y 920 NMP/100, siendo el río Gaviotas el que registró un menor valor y el estero Huillín con 920 NMP/100 y seguido del río Dollinco con 170 NMP/100 localizados en áreas de pastizales y cultivos registraron valores mayores (Tabla 6, Figura 7). Valores sobre aprox. 200 NMP/100 muestran claramente un área con intervención humana.

Tabla 6: Resultados de la concentración de nutrientes Amonio (N-NH₄), Nitrato (N-NO₃), Nitrógeno Total (N-TOTAL), Fósforo soluble (P-PO₄), Fósforo total (P-TOTAL), además va incluido los resultados de la demanda química de oxígeno (DQO), Sílice y Coliformes fecales (Coli fec) realizados en los ríos tributarios.

Río Tributario	Estación	N-NH ₄ (µg/L)	N-NO ₃ (µg/L)	N-TOTAL (µg/L)	P-PO ₄ (µg/L)	P-TOTAL (µg/L)	DQO (mg/L)	DC (mg/L)	DOC (mg/L)	DIC (mg/L)	Sílice (mg/L)	Coli fec (NPM/100)
Río Bonito	R1	< 5	3.2	52.2	4.4	10.3	< 4	1.9	0.5	1.4	2.0	23.0
Río Callao	R2	< 5	5.2	28.5	7.9	12.5	< 4	1.7	0.4	1.3	2.0	79.0
Río Nalcas	R3	< 5	8.9	26.2	19.8	21.9	< 4	2.0	0.4	1.6	11.2	4.5
Río Blanco	R4	< 5	4.0	26.2	14.3	25.5	< 4	2.7	0.4	2.3	24.3	4.5
Río Gaviotas	R5	< 5	4.4	42.1	2.1	5.6	< 4	2.2	0.5	1.6	2.0	2.0
Río Negro	R6	9.9	118.8	456.7	< 2	12.1	9.3	4.5	2.2	2.4	2.0	49.0
Río Puleufu	R7	7.2	6.8	28.9	15.6	16.0	< 4	4.4	2.4	2.0	11.2	4.5
Río Dollinco	R8	11.9	174.2	344.8	6.4	21.3	7.5	7.2	1.5	5.7	7.3	170.0
Estero Chalupa	R9	27.9	141.9	358.9	15.8	50.8	5.5	5.0	1.1	3.9	2.0	70.0
Estero Huillín	R10	23.0	292.2	1050.4	86.1	160.3	10.4	4.1	1.2	2.9	2.0	920.0

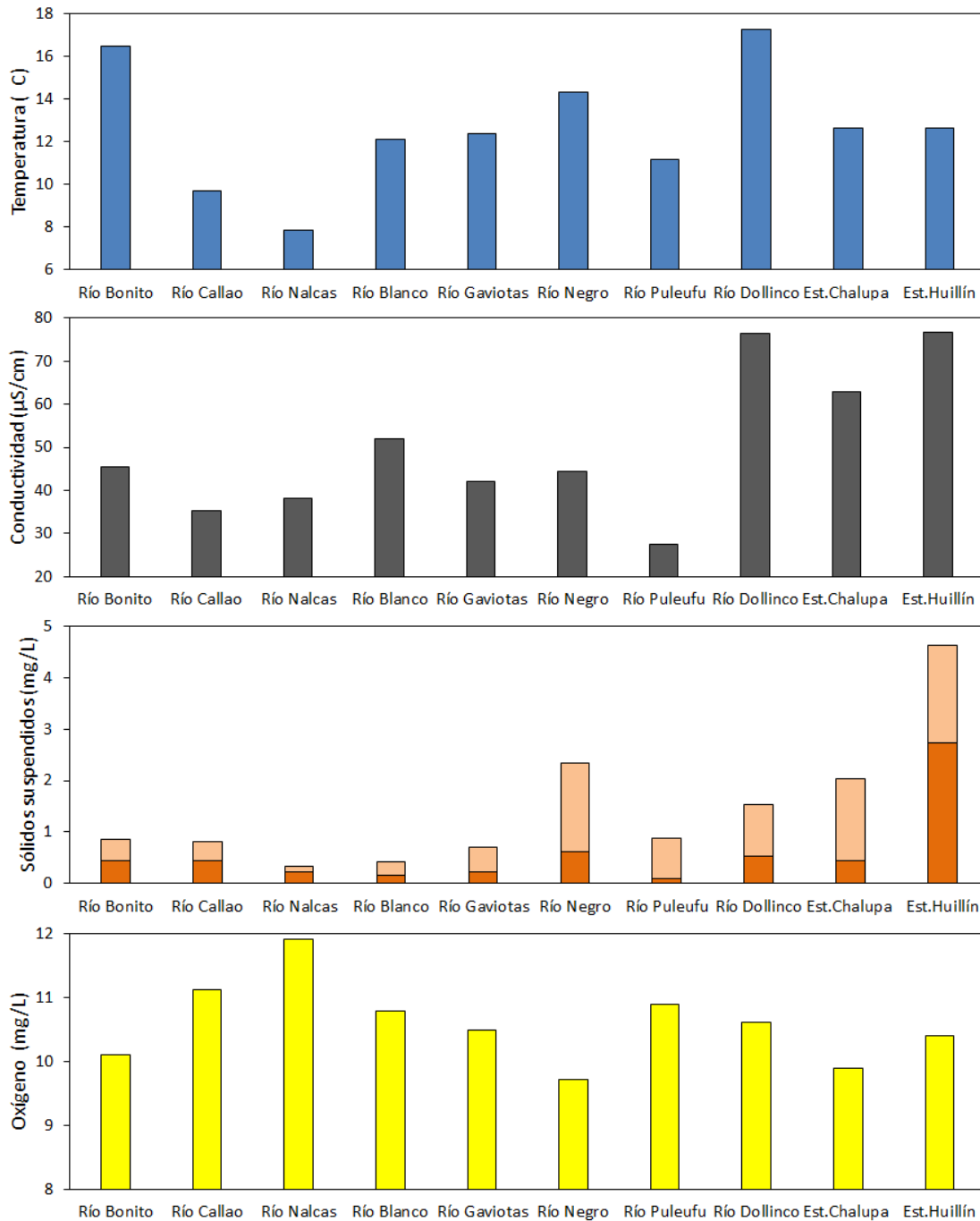


Figura 6: Resultados de temperatura, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos (naranja oscuro corresponde a la fracción inorgánica y naranja claro corresponde a fracción orgánica) y oxígeno disuelto, medidos en los afluentes del lago Rupanco.

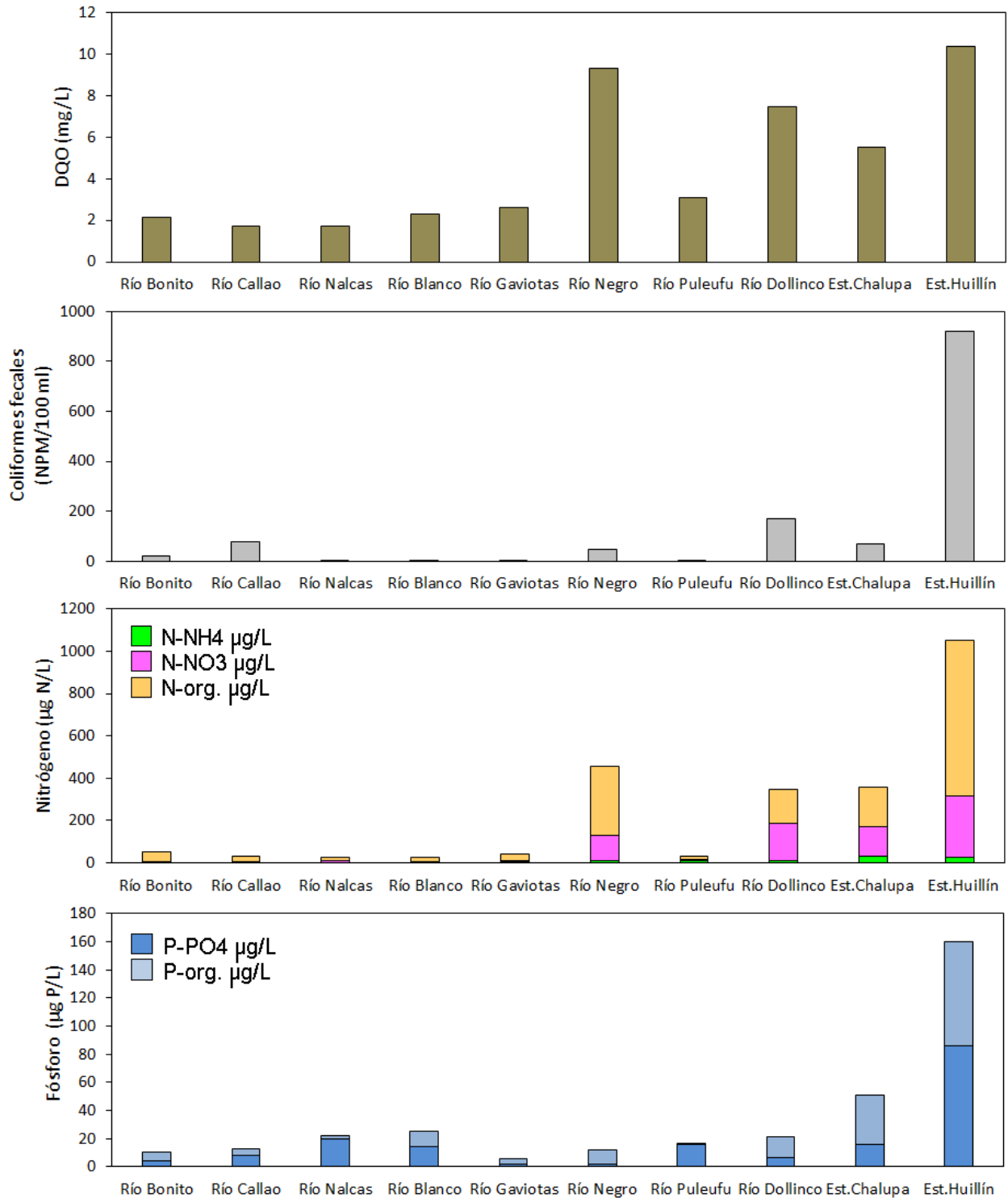


Figura 7: Concentración de DQO (mg/L), coliformes fecales (NPM/100 ml), nitrógeno y fósforo, (µg/L) medidos en los afluentes del lago Rupanco.

Las concentraciones de los **sólidos suspendidos totales (SST)** fluctuaron entre 0.33 ± 0.08 mg/L y 4.62 ± 0.89 , siendo el río Nalcas el que registró una menor concentración y el estero Huillín el de mayor concentración, coincidentemente, la menor y mayor concentración de sólidos suspendidos orgánicos (SSO) se registró en los mismos ríos, fluctuando entre 0.11 ± 0.04 mg/L en río Nalcas y 1.88 ± 0.85 en el estero Huillín. Además, los sólidos suspendidos inorgánicos registraron una variación entre 0.10 ± 0.01 mg/L (río Puleufu) y 2.74 ± 1.71 mg/L (estero Huillín) (Tabla 7, Figura 6).

Tabla 7: Resultados de la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos orgánicos (SSO) y sólidos suspendidos Inorgánicos (SSI) realizados en el los ríos tributarios.

Río tributario	Estación	SST (mg/L)	SSO (mg/L)	SSI (mg/L)
Río Bonito	R1	0.87 ± 0.07	0.42 ± 0.08	0.44 ± 0.10
Río Callao	R2	0.82 ± 0.08	0.38 ± 0.10	0.44 ± 0.14
Río Nalcas	R3	0.33 ± 0.12	0.11 ± 0.04	0.22 ± 0.14
Río Blanco	R4	0.42 ± 0.39	0.27 ± 0.24	0.16 ± 0.15
Río Gaviotas	R5	0.71 ± 0.28	0.48 ± 0.18	0.23 ± 0.12
Río Negro	R6	2.33 ± 0.44	1.71 ± 0.20	0.62 ± 0.23
Río Puleufu	R7	0.88 ± 0.23	0.78 ± 0.23	0.10 ± 0.01
Río Dollinco	R8	1.53 ± 0.24	1.00 ± 0.13	0.53 ± 0.37
Estero Chalupa	R9	2.04 ± 1.00	1.60 ± 1.22	0.44 ± 0.21
Estero Huillín	R10	4.62 ± 0.89	1.88 ± 0.85	2.74 ± 1.71

Las concentraciones de **carbono orgánico disuelto DOC** variaron entre 0.40-2.40 mg C/L, pudiéndose observar un aumento en las concentraciones presentes en los ríos Puleufu y Negro, seguido un poco más abajo por los ríos Dollinco, Chalupa y estero Huillín, los cuales se localizan en áreas de pastizales y cultivos (Tabla 6, Figura 8). Valores sobre 1,5 mg/L ya identifican áreas con intervención humana.

Determinación aportes ríos afluentes

En la figura 9 se muestra la carga de P, N y DOC calculado para un día y cada afluente muestreado. Para ello se multiplicó el caudal diario (Tabla 5) con la concentración de P total, N total y carbono orgánico disuelto, medida en cada río (Tabla 6).

Los ríos Bonito, Gaviotas, Dollinco y estero Huillín aportan entre 40 y 110 kg/día, mientras los restantes afluentes aprox. 20 kg/día (R. Callao, Nalcas) o menos que 10 kg/día (R. Blanco, R. Puleufu, Est. Chalupa).

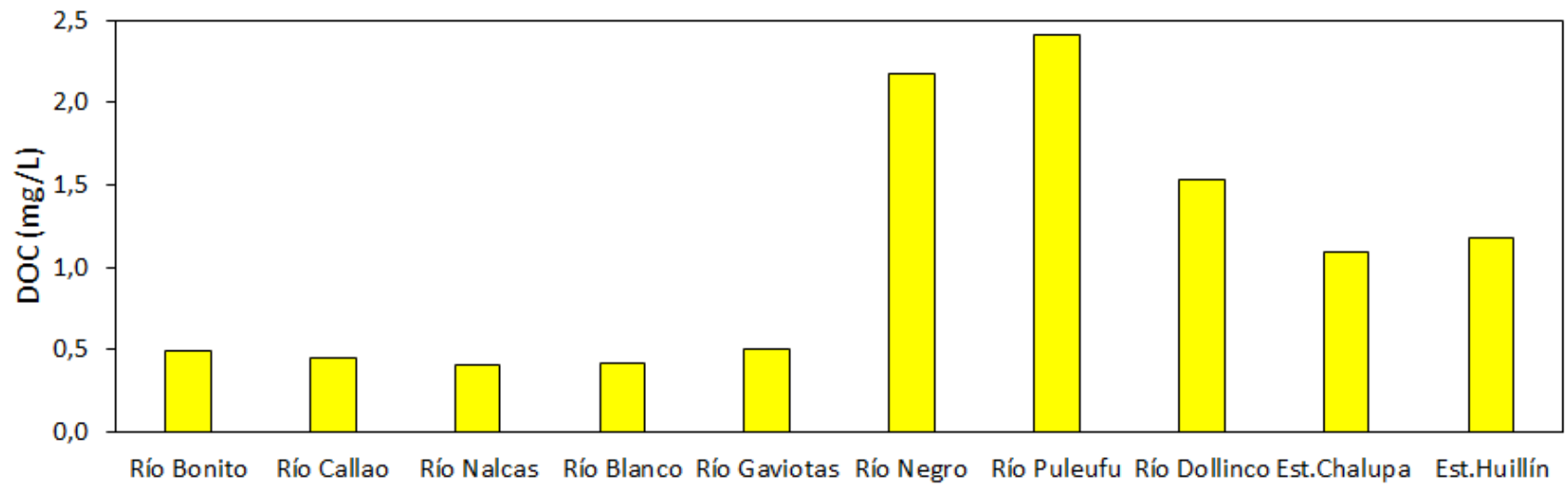


Figura 8: Concentración de Carbono Disuelto Orgánico (DOC), medido en los afluentes del lago Rupanco.

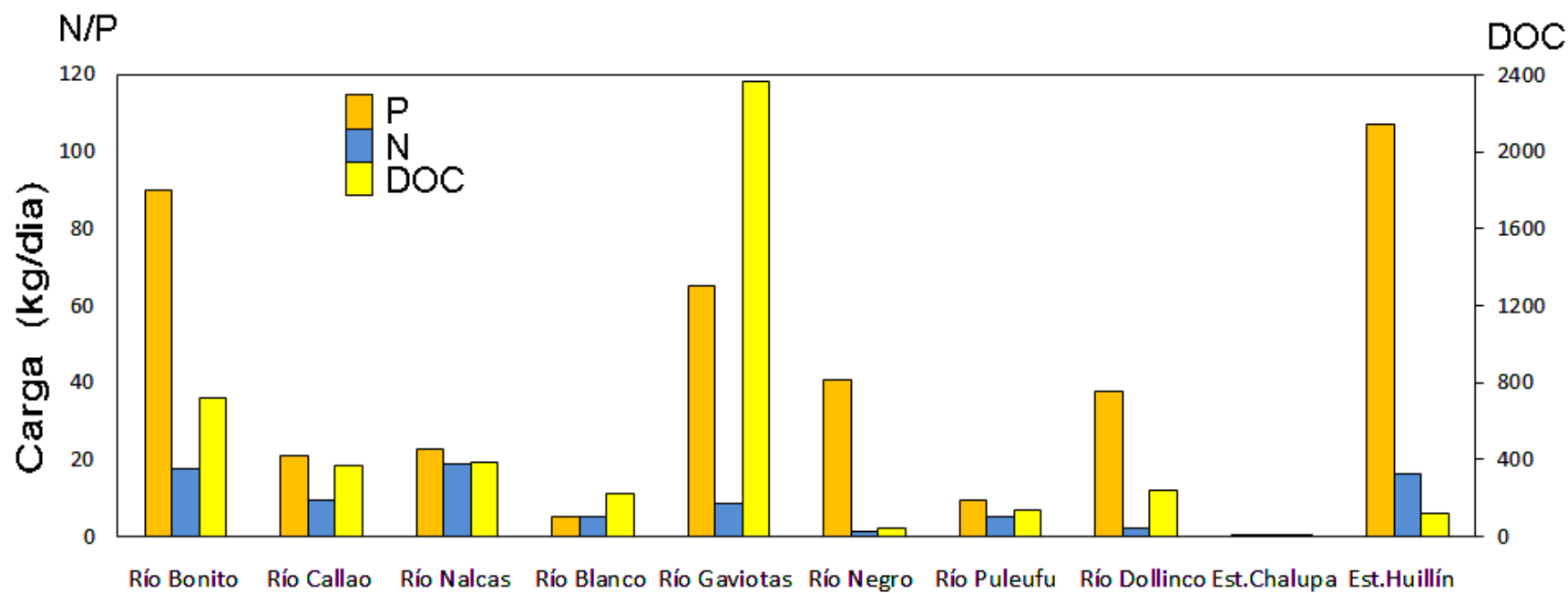


Figura 9: Carga diaria de fósforo, nitrógeno y DOC, calculada para los afluentes muestreados del lago Rupanco.

4. CONCLUSIONES

Microalgas

La metodología propuesta para la identificación y cuantificación de las microalgas, es decir, horizontal y batimétrica, entrega información sobre el funcionamiento y la estructura de las comunidades, ya que las actividades humanas influyen negativa o positivamente en los ecosistemas acuáticos, haciendo que las microalgas respondan rápidamente a estos cambios (Montecinos, 1985).

Estudios realizados por Campos et al. (1984) ha reportado 74 taxa de microalgas en el lago Caburga y 112 en el lago Ranco, correspondiendo entre el 60-80% al grupo de las diatomeas (Bacillariophyta) (Montecinos, 1985) registrado en este estudio un 48.77%. Campos et al. 1992 realizó estudios en el lago Rupanco entre 1981 y 1982, registrando 82 especies, de las cuales, 5 eran Cyanobacterias, 3 Chrysophyceas, 48, Bacillariophytas, 1 Xantophyceae, 1 mixozoa, 4 Cryptophyceae, 19 Chlorophytas y 1 Euglenophyta; con un promedio de 217 cel/ml y las mayores concentraciones se reportaron a los 15 m y a los 30 m, encontrándose una estructura semejante en la presente evaluación del lago Rupanco. Además, durante la época de verano predominó *Microcystis sp* (89%), coincidiendo con los incrementos de nitrato, lo que no ocurrió en esta evaluación. Las especies registradas coinciden con lo reportado por Campos et al. (1992), existiendo diferencia en distribución batimétrica de las microalgas, es decir, donde se registró especies superficiales, en este estudio se registraron en zonas más profundas, lo que se pudiese atribuir a los cambios de temperatura durante los últimos 30 años. Por ejemplo, Campos et al. 1992 registró a *Sphaerocystis schroeteri* en zonas profundas del lago, en cambio, nosotros lo registramos en la superficie (0 m), además, fue la especie de microalga más abundante registrada en este estudio. Para *Sphaerocystis schroeteri* no se ha reportado problemas, crece en lagos oligotróficos y mesotróficos principalmente en la época de verano (Reynolds et al. 2002), estando adaptada para sobrevivir en condiciones de baja luminosidad y bajas concentraciones de nutrientes (Yerli et al. 2012).

Con respecto a las Cyanobacterias, estas predominan cuando el lago se encuentra estratificado (Campos et al. 1992) y bajo condiciones ambientales de estrés, es decir, cuando existen altas temperaturas, pH neutro a alcalino y una elevada concentración de nutrientes favoreciendo el crecimiento de Cyanobacterias tóxicas (Azevedo 1998) provocando problemas de salud, tanto para el ser humano como para el ecosistema acuático (Calijuri et al 2006) por lo que la baja abundancia de este grupo taxonómico durante la evaluación actual del lago Rupanco indica que **no** existen problemas en el estado trófico del lago, ya que principalmente forman blooms en lagos eutróficos. Sin embargo se han producido blooms en escenarios de cambio climático en lagos oligotróficos (Fuentes et al. 2018) por lo cual recomendamos monitoreos mensuales de cianobacterias.

Parámetros tróficos

Las concentraciones de nutrientes incluidos en este estudio, fósforo total, fósforo soluble, nitrato y nitrógeno total, pueden ser evaluadas según la exigencia de la guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas (Tabla 8), que se basa principalmente en las normas internacionales.

Tabla 8: Extracto desde guía Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas superficiales y marinas, valores para lagos araucanos y nordpatagónicos.

	ELEMENTOS O COMPUESTOS	UNIDAD	ESTADO ULTRAOLIGOTRÓFICO	ESTADO OLIGOTRÓFICO	ESTADO MESOTRÓFICO
6.	Clorofila a	µg/L	<1	3	10 (15)
6.	DBO ₅	mg/L	<1	5	20
6.	Fósforo	µg/L	<5 (7,5)	10 (10)	20 (30)
6.	Nitrógeno	µg/L	<60 (300)	250 (450)	400 (750)
6.	Productividad Primaria	mg C/m ² año	<30	80	250
6.	Transparencia (disco Secchi) ¹	m	>20 (12)	10 (6)	5 (3)

NOTA: 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 a todos los compuestos o elementos.

1 = Expresado en términos de valor mínimo.

Los valores de clorofila “a”, fósforo, nitrógeno y transparencia obtenidos en este estudio - aunque solamente obtenidos durante un muestreo en verano - son típicos para un lago oligotrófico e incluso ultraoligotrófico. En comparación con datos históricos los resultados obtenidos en este estudio son muy similares a los datos de las últimas décadas (Tabla 9). De acuerdo a estos datos y sin considerar mayoritariamente PT el lago Rupanco ha mantenido su estado ultra- hasta oligotrófico durante los últimos 33 años. Sin embargo, parece que los parámetros clorofila “a” y transparencia indicarían en 2012 más bien un estado oligotrófico, a diferencia con los años anteriores donde valores típicamente ultra-oligotróficos fueron reportados, concordando con los valores de Secchi que en 2012 fueron relativamente bajos.

Tabla 9 Evaluación del estado trófico histórico del lago Rupanco (promedio \pm desviación estándar).

1: Campos et al.. (1992); 2: IFOP-Universidad Austral de Chile 1986; 3: Informe FIP-IT/93-27;
4: Soto (2002); 5: Woelfl (2007); 6: León 2011; 7: Woelfl et al. 2013, 8. Pesse et al., 2018.

N: número de fechas; s.d.: sin datos; * datos dudosos

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico
---------	-------------	--------	-------------	-----------

Año	Transparencia (m)	PT (mg/L)	Chla ($\mu\text{g/L}$)	Fuente
1980/81 (N=13)	15,2 \pm 2,4	0,004* \pm 0,003	0,55 \pm 0,33	1
1985/86 (N=12)	s.d.	0,005* \pm 0,004	0,7 \pm 0,4	2
1991/92 (N=12)	16,5 \pm 2,7	0,011* \pm 0,001	0,8 \pm 0,5	3
1992-1999 (N=6)	14,4 \pm 1,1	0,005* \pm 0,003	1,9 \pm 1,1	4
2004 (N=4)	20,1 \pm 1,7	s.d.	0,8 \pm 0,4	5
2008 (N=6)	s.d.	0,005 \pm 0,004	0,7 \pm 0,3	6
2012 (N=1), 9 datos				
Centro <270m	13	0,006 \pm 0,001	1,4 \pm 0,4	7
Bahia <100m	11,7	0,006 \pm 0,001	1,4 \pm 0,4	
100081	11,4	0,007 \pm 0,001	0,8 \pm 0,3	
101707	13,3	0,006 \pm 0,001	1,0 \pm 0,7	
100389	11	0,007 \pm 0,000	1,0 \pm 0,1	
100522	12,9	0,007 \pm 0,000	1,3 \pm 0,8	
100862	11,9	0,008 \pm 0,003	1,0 \pm 0,4	
101851	11,7	0,005 \pm 0,000	1,4 \pm 0,3	
100625	14,5	0,006 \pm 0,001	1,6 \pm 0,1	
2017 (N=1) 17 datos	s.d.	0,005 \pm 0,001	\approx 1,0	8
2019 (N=1) 20 datos				
LCR1	11,0	0,005 \pm 0,0008	1,3 \pm 0,5	Este trabajo
LCR2	11,0	0,005 \pm 0,002	1,2 \pm 0,4	
LCR3	12,0	0,004 \pm 0,0006	1,0 \pm 0,3	
LCR4	11,0	0,005 \pm 0,0008	1,3 \pm 0,5	

Contenido de P/N en el lago Rupanco

Aunque se muestreó solamente hasta 80 m de profundidad, es posible realizar un cálculo aproximado del contenido total de P y N en el lago Rupanco (Tabla 10), ya que se ha evidenciado en estudios anteriores la homogeneidad de los perfiles verticales de P y N hasta el fondo del lago. Para ello se calculó el contenido másico de P/N en base de la concentración promedio de todas las mediciones de P/N multiplicado con el volumen del lago (38 km³) según estudio de Campos et al. (1992).

Tabla 10: Concentración de P/N (promedio \pm desviación estándar) y contenido aproximado de P y N en el lago Rupanco. Volumen lago = 38 km³ = 38 x 10¹²L; 1 TON = 10¹²L.

Enero 2019	Concentración P/N ($\mu\text{g/L}$) (0-80 m)	TON /lago (Vol = 38 km ³)
P Total	4,8 \pm 1,1	\approx 181
N Total	64,2 \pm 9,7	\approx 2435

5. RECOMENDACIONES

Si bien el lago presenta condiciones oligotróficas ($4,8 \pm 1,1$ P $\mu\text{g/L}$; $64,2 \pm 9,7$ N $\mu\text{g/L}$) recomendamos reducir gradualmente la presión de actividades antropogénicas que se realizan entorno de la cuenca y en el lago, a fin de mantener las todavía buenas condiciones de calidad de agua.

Sugerimos detener el cambio del uso de suelo, considerando en escenarios de cambio climático y déficit hídrico que los bosques de montaña localizados en regiones con precipitaciones anuales mayores a 3.000 mm, y donde el aporte de agua mediante nubes y neblina es importante, pueden ser considerados como “productores” de agua, ya que la deforestación podría significar una disminución de los caudales de base (Ingwersen, 1985).

Este estudio no tuvo como fin realizar un estudio acabado de la cuenca y de las actividades humanas en el entorno del lago Rupanco con el fin de realizar un balance de nutrientes. No obstante, un estudio reciente entrega información importante acerca de la cuenca del lago Rupanco y los aportes de nutrientes.

Un balance aproximado de P para el lago Rupanco para los años 2007-2017 indica, que la actividad acuícola aporta P en 48,6%, seguido por de uso de suelo (42,6%) (Pesse et al. 2018). (Figura 10).

Si bien el estudio de Pesse et al. (2018) no diferencia los usos de suelo, estudios anteriores indicaron que a finales de los años setenta, en la cuenca del río Rupanco predominaban fragmentos de bosque nativo (65%), aunque en las zonas más bajas, hacia la desembocadura de la cuenca, parches de matorral, tierras de cultivo y pastos aumentaron sustancialmente (20%) (Echeverría et al. 2012; León-Muñoz et al. 2013; Figura 1).

En este estudio registramos que los ríos Negro, Dollinco, Chalupa y Huillin ubicadas en áreas con mayor proporción de cultivos y pastizales aportaron mayores concentraciones de fósforo y nitrógeno ($> 100 \mu\text{g/L}$ N total y $> a 20 \mu\text{g/L}$) característicos para áreas intervenidos por el hombre (p.e. agricultura/ganadería/piscicultura). Estudios realizados indican aumentos en la exportación de nitrógeno y particularmente nitrato desde suelos volcánicos del sur de Chile debido a la frecuencia e intensidad del pastoreo, el tipo y tiempo de aplicación de fertilizantes y gestión de residuos (Alfaro et al. 2006; Núñez et al. 2010).

Finalmente sugerimos realizar un estudio de balance de nutrientes y carga crítica con la finalidad de apoyar el futuro desarrollo de normas secundarias de calidad de aguas en este cuerpo lacustre.

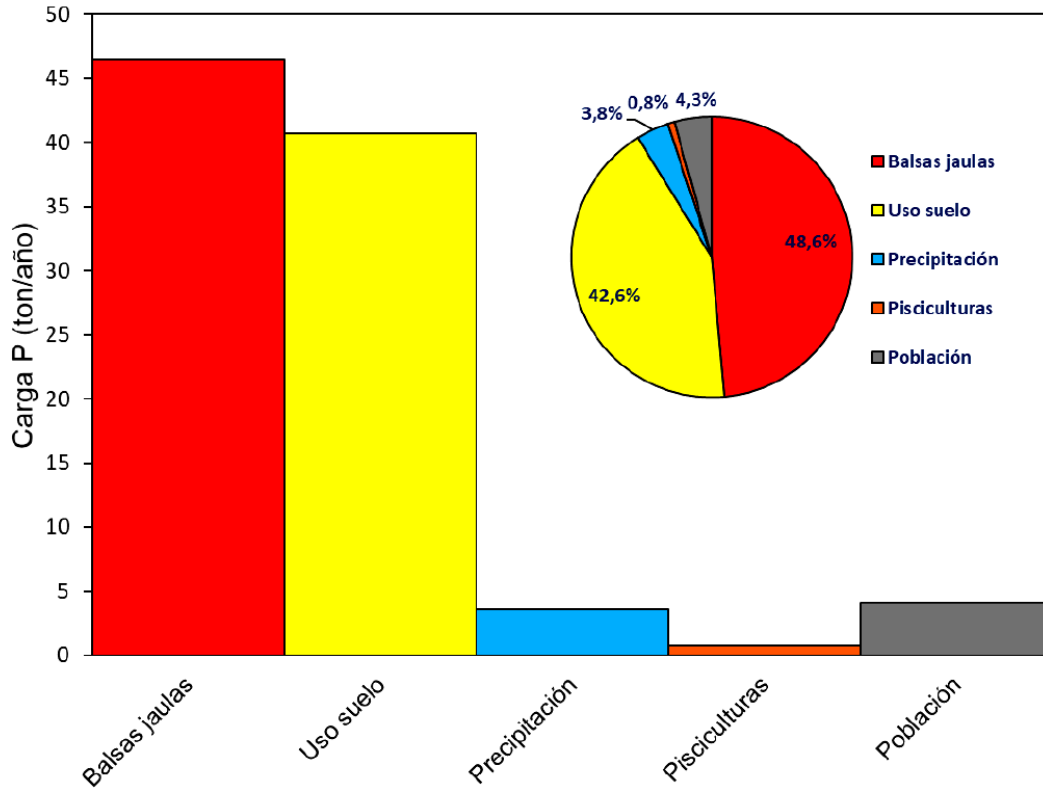


Figura 10: Carga de PT (ton/año) y porcentaje contribución promedio en el Lago Rupanco en 2007-2017 (tomado de Pesse et al. 2018).

LITERATURA CITADA

- ALFARO, M.V., SALAZAR, F.S., ENDRESS, D.B., DUMONT, J.C.L., AND VALDEBENITO, A.B. 2006.** Nitrogen leaching losses on a volcanic ash soils affected by the source of fertilizer. J. Soil Sci. Plant Nutr. 6:54-63.
- AZEVEDO, S. M. F. O. 1998.** Toxinas de cianobactérias: Causas e conseqüências para a saúde pública. Medicina on line, 3(1): 1-19.
- CALIJURI, M.C., ALVES, M.A.S, DOS SANTOS, A.C.A. 2006.** Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais, São Carlos: Rima, 118 p.
- CAMPOS, H. 1984.** Limnological studies of Araucanian lakes. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, Verhandlungen 22: 1319 - 1327.
- CAMPOS, H., STEFFEN, W., AGÜERO, C., PARRA O., & ZUÑIGA, L. 1988.** Limnological study of Lake Llanquihue (Chile) Morphometry, physics, chemistry, plankton, and primary productivity. Archiv für Hydrobiologie 81 (1): 37-67.
- CAMPOS, H., W. STEFFEN, G. AGÜERO, O. PARRA & L. ZUÑIGA. 1989.** Estudios limnológicos en el lago Puyehue (Chile): morfometría, factores físicos y químicos, plancton y productividad primaria. Med. Amb., 10: 36-53.
- CAMPOS, H., W. STEFFEN, C. AGUERO, O. PARRA & L. ZUÑIGA. 1992.** Limnological studies of Lake Rupanco (Chile) Morphometry, physics, chemistry, plankton, and primary productivity. Archiv für Hydrobiologie/Supplement 90: 85-113.
- CAMPOS, C. 1995.** Determinación de la capacidad de carga (stock explotable) y balance de fosforo y nitrógeno en el lago Rupanco, Xª Región. Informe final FIP-IT/93 -27. 376 pp.
- CHAPRA, S. 1997.** Surface Water - Quality Modeling. New York: McGraw-Hill. 835 pp.
- CÓDIGO DE AGUAS. 1981.** <http://transparencia.dga.cl/documentos/codigodeaguas.pdf>
- CONAMA. 2006.** Guía para el establecimiento de Normas Secundarias de Calidad de Aguas. http://www.sinia.cl/1292/articles-31476_Guia.pdf.
- DIARIO OFICIAL. 2010.** Establece las Normas Secundarias de Calidad de Agua para el Lago Llanquihue
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 1987.** Balance hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas. 24 pp.
- DIRECTIVA MARCO DEL AGUA. 2000.** Parlamento Europeo aprobada por el Consejo de 23 de octubre de 2000 y donde se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. (2000/60/CE)

- DONOSO, T.G., & H.K. PHINNEY. 1988.** Physical and chemical characteristics of Lago Rupanco, Osorno, Chile. *Archiv für Hydrobiologie* 112(3): 351-369.
- ECHEVERRÍA, C., NEWTON A., NAHUELHUAL, L., COOMES, D., REY-BENAYAS, J.M. 2012.** How landscapes change: integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. *Applied Geography*, 32: 822-831
- EPA. 2009.** National Water Program Research Strategy 2009-2014. 57 pp.
- FUENTES, N. GÜDE, H. WESSELS, M. and D. STRAILE, 2013.** Allochthonous contribution to seasonal and spatial variability of organic matter sedimentation in a deep oligotrophic lake (Lake Constance). *Limnologia*, 43:122–130.
- FUENTES, N. Díaz, P and C. Ríos-Henríquez. 2018.** Unusual winter *Microcystis* spp. Bloom in a Chilean oligotrophic lake. *Harmful Algae News*. 60:7-9. www.ioc-unesco.org/hab.
- GORDON, N., MCMAHON, A., FINLAYSON, B. 1992.** *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. Willey. Chichester, RU. 526 pp.
- INGWERSEN, J. 1985.** Fog drip, water yield, and timber harvesting in the Bull Run municipal watershed, Oregon, *Water Resources. Res.* 21(3): 469 - 473
- LEÓN-MUÑOZ, J., TECKLIN, D., FARÍAS, A., DÍAZ, S. 2007.** *Salmon Farming in the Lakes of Southern Chile – Valdivian Ecoregion: History, Tendencies and Environmental Impacts*. Consultancy Technical Report WWF (World Wildlife Fund), Valdivia, Chile. Available <http://www.wwf.cl/>
- LEÓN-MUÑOZ, J., C. ECHEVERRÍA, R. MARCÉ, W. RISS, B. SHERMAN, J.L. IRIARTE. 2013.** The combined impact of land use change and aquaculture on sediment and water quality in oligotrophic Lake Rupanco (North Patagonia, Chile, 40.8°S). *Journal of Environmental Management* 128: 283-291.
- MICHAEL, H. J., K. J. BOYLE, AND BOUCHARD, R. 1996.** Water quality affects property prices: a case study of selected Maine lakes. 19 pp.
- MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. 1994.** Ley 19300, Ley sobre bases generales del medio ambiente. http://portales.mineduc.cl/usuarios/convivencia_escolar/doc/201204161055270.ley_bases_del_medio_ambiente.pdf
- MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. 2001.** Decreto 90. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. http://www.dga.cl/administracionrecursos/hidricos/Documents/DTO_90_07_MAR_2001

- MONTECINO, V. 1985.** Fitoplancton estuarial y de aguas limnias. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 21 (1): 199 – 211.
- NORMAS PRIMARIAS DE CALIDAD DE AGUAS. 2008.** <http://www.creaucsc.cl/wp-content/uploads/2011/10/DS-143-Norma-calidad-Primaria-aguas-continentales.pdf>
- NÚÑEZ, P.A., DEMANET, R., MISSELBROOK, T.H., ALFARO, M., MORA, M.L. 2010.** Nitrogen losses under different cattle grazing frequencies and intensities in a volcanic soil of southern Chile. Chilean Journal of Agricultural Research. 70(2): 237 – 250.
- OYARZÚN, C.E., CAMPOS, H., HUBER, A. 1997.** Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso del suelo en el sur de Chile (Lago Rupanco, X Región). Rev. Chil. Hist. Nat. 70: 507 - 519.
- PESSE, N. C. OYARZO, C. PÉREZ, R. VERA. 2018.** Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile (Quinta Etapa). Informe final 208 páginas, más tablas y figuras. Convenio de desempeño 2017, Subsecretaría de Economía y EMT-Subsecretaría de Pesca y Acuicultura-IFOP.
- REYNOLDS, C.S., HUSZAR, V., KRUK, C., NASELLI-FLORES, L., MELO, S. 2002.** Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. Journal of Plankton Research, 24 (5): 417-428.
- ROCA, J. 2000.** El debate sobre el crecimiento económico desde la perspectiva de la sostenibilidad y la equidad. Departamento de Teoría Económica, Universidad de Barcelona. 30 pp.
- SMITH, V.H. 2003.** Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. Environmental Science and Pollution Research, 10(2): 126-139.
- STOATE, C., A. BÁLDI et. al. 2009.** Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe-A review. Journal of Environmental Management, 91(1): 22-46.
- SOTO, D. & L. ZUÑIGA. 1991.** Zooplankton assemblages of Chilean temperate lakes: a comparison with North American counterparts. Revista Chilena de Historia Natural, 64(3):569-581.
- UNESCO. 2006.** El agua, una responsabilidad compartida. Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el Mundo.
- UNITED NATIONS WORLD WATER (UNWW). 2012.** Development Report 4 Volume 1, 2 y 3. 865 pp.
- VILA, I., ZEISS, E. & GIBSON, H. 1978.** Prospecciones de sistemas hidrográficos para la introducción del “Salmon” en Chile. Biol. Pesq. Chile 10: 61-73.
- WETZEL, R.G. 1986.** Limnología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 679 pp.

- WOELFL, S. 2007.** The distribution of large mixotrophic ciliates (Stentor) in deep North Patagonian lakes (Chile): First results. *Limnologica*, 37(1): 28-36.
- WOELFL, S., OYARZÚN, C., DUARTE, C. Y RODRÍGUEZ, J.L. 2011.** Antecedentes para evaluar el impacto económico y social de una norma secundaria de calidad de aguas en el lago Ranco, Cuenca del Río Bueno. Proyecto DGA S.I.T. N° 239, 170 pp.
- WOELFL, S., NIMPTSCH, J., OYARZÚN, C., GRANDJEAN, M., STEFFEN, W., SCHORIES, D., BERTRÁN, C., CAPUTO, L., y JARAMILLO, J. 2013.** Evaluación del Estado Ambiental de los Lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile (primera etapa) N° 4728-42-12. 824 pp.
- YERLI, S.V., KIVRAK, E., GÜRBÜZ, H., MANAV, E., MANGIT, F., TÜRKECAN, O. 2012.** Phytoplankton Community, Nutrients and Chlorophyll a in Lake Mogan (Turkey); with Comparison Between Current and Old Data. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 12: 95 – 104.

Anexo 1: Fotografía de los días de muestreo en el lago Rupanco y sus afluentes



Obtención de muestras de agua y microalgas con botella hidrográfica en **LRC1**, lago Rupanco



Obtención de muestras de agua desde estación **LRC2** en el lago Rupanco





Obtención de muestras de agua desde **LRC3** y **LRC4** en el lago Rupanco. Estudiante Becado de Mozambique.



Obtención muestras de agua y parámetros morfométricos en el río Puleufu





Obtención de muestras de agua y determinación de los parámetros morfométricos y fisicoquímicos en río Dollinco





Medición de parámetros fisicoquímicos y obtención de muestras de agua en estero Chalupa



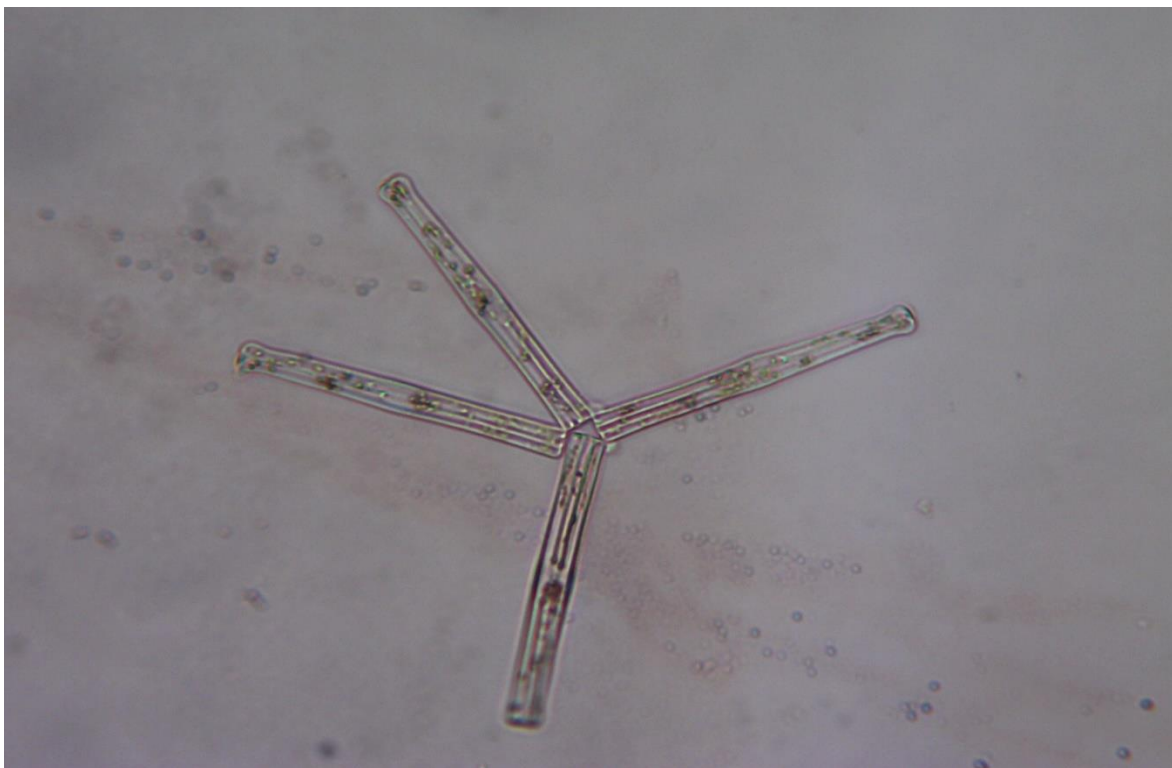
Obtención de muestras de agua y medición de parámetros fisicoquímicos en el río Blanco





Equipo de trabajo de la Universidad de Los Lagos (de izquierda a derecha): Dra. Norka Fuentes, Rubén Ramírez (estudiante de biología marina), Celso Mondhlane (estudiante becado Mozambique, magíster en ciencias), Catalina Ríos (Biólogo Marino), y Capitán de embarcación

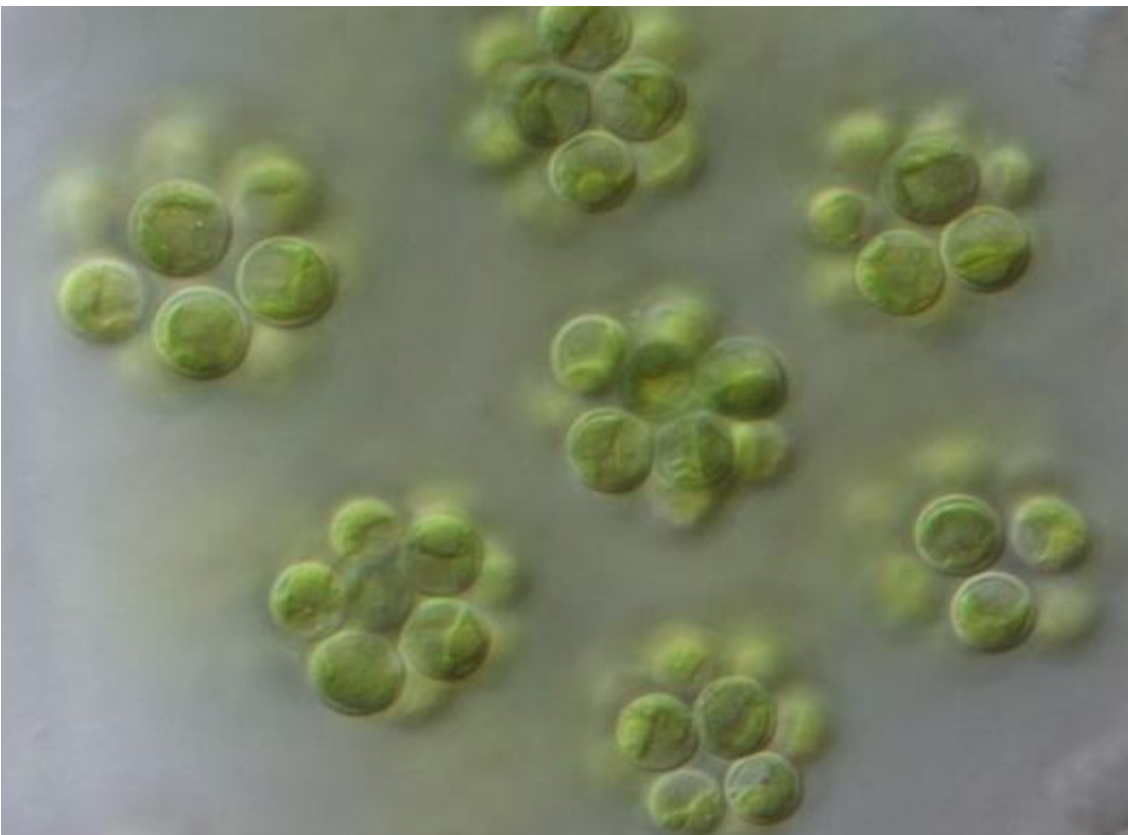
Anexo 2: Fotografía de los representantes de microalgas más abundantes en el Lago Rupanco durante Enero 2019



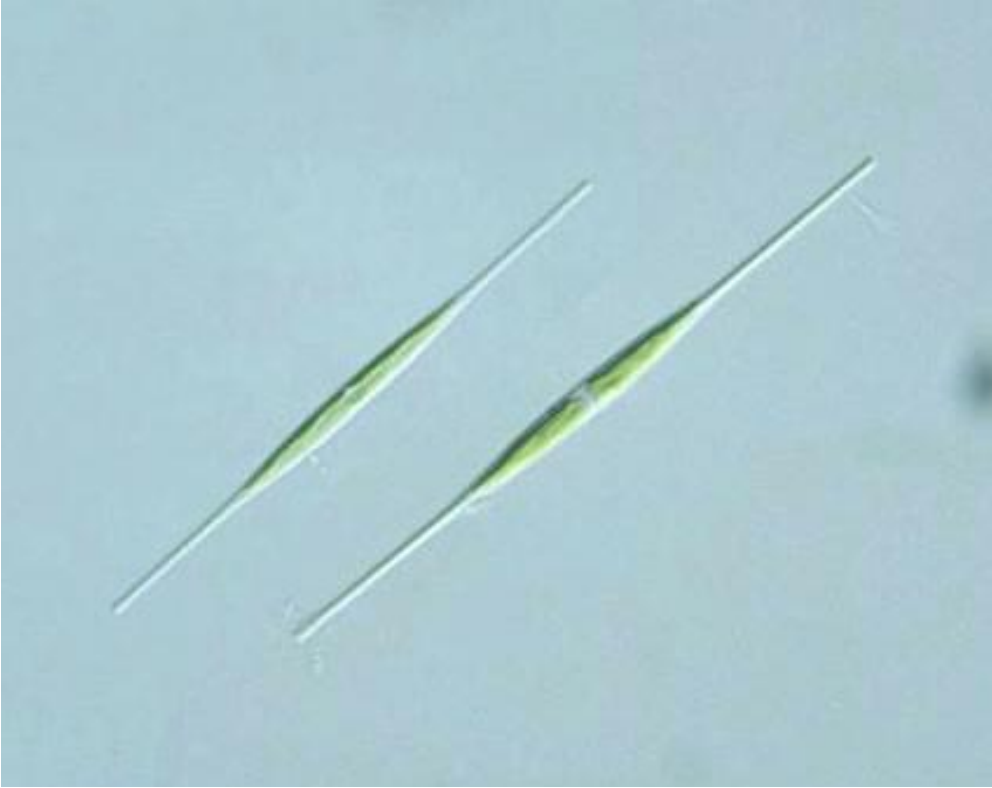
Tabellaria fenestrata



Dinobryon divergens



Sphaeroystis schroeteri



Nitzschia acicularis



Gymnodinim fuscum

Anexo 3: Abundancia espacial y batimétrica de microalgas (Cel/ml) registradas en el lago Rupanco.

Estaciones		LRC1					LRC2					LRC3					LRC4					
Filum	Especies	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	
Charophyta	<i>Closterium lunula</i>																4.5		5.4			
	<i>Cosmarium depressum</i>		4.3																	6.8	5.6	
	<i>Gonatozygon monotaenium</i>																			5.4	4.8	4.8
	<i>Micrasterias furcata</i>																					
	<i>Spyrogira porticalis</i>						5.2															
	<i>Staurastrum paradoxum</i>		4.5		2.0				1.6	4.6	5.2				7.1							5.4
Chlorophyta	<i>Ankya judai</i>				5.1																	
	<i>Botryococcus braunii</i>						5.3					7.3	6.8				4.5		4.8	5.0	4.8	
	<i>Chlamydocapsa bacillus</i>									5.4		5.1	5.9									
	<i>Chlamydocapsa planctonica</i>																		4.8	5.0	4.5	
	<i>Chlorella saccharophila</i>																				8.0	
	<i>Chlorella vulgaris</i>				5.8		5.8		4.7	4.0		5.6	5.3	5.9	4.7		7.2	5.3	8.7	4.9	5.2	
	<i>Coelastrum sphaericum</i>																4.9				6.0	
	<i>Crucigeniella rectangularis</i>		5.1	5.0			5.0	5.6				4.8			4.6		6.1		4.4	6.7	5.0	
	<i>Cylindrocapsa geminella</i>						4.5						6.4	7.8	4.1	4.5		6.3				
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>														6.5							
	<i>Eudorina elegans</i>	8.9								5.1												
	<i>Geminella rectangularis</i>																			4.9		
	<i>Kirchneriella obesa</i>							4.5														
	<i>Monoraphidium sexatile</i>																			5.3		
	<i>Neprocytium agardhianum</i>												6.5	5.8								
	<i>Oocystis elliptica</i>			5.8																7.6		
	<i>Oocystis limneticus</i>					4.6	5.2	7.2	5.6						7.9		4.0	5.5	5.2	6.1		
	<i>Planctonema lauterbornii</i>																			4.9		
	<i>Platydorina caudata</i>												4.5	5.9								
	<i>Radiofilum conjuctivum</i>								5.2	7.4										5.3		
	<i>Scenedesmus obtusos</i>							4.8					4.5									
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>														6.7							
	<i>Sphaerocystis schroetri</i>	11.8	13.1	11.9	11.0	9.9	9.8	11.0	11.7	13.5	8.6	13.4	12.4	10.9	10.7	8.7	10.4	11.7	11.8	11.3	10.5	
	<i>Spondylomorom quaternarium</i>									4.6												
	<i>Tetraedron trigonum</i>				4.5			4.5									1.2					
	<i>Ulothrix zonata</i>																		1.6			
<i>Volvox globator</i>	4.9	6.2	7.0	6.2			4.1	7.6	4.8			7.0	4.4	5.6		6.4	6.3	5.1	6.0			

Filum	Especies	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m		
Cryptophyta	<i>Cryptomonas ovata</i>	10.2	5.8	11.5	6.0	6.6		5.3	4.8	4.8	7.4	4.5	7.5	4.7	4.5	4.5		6.7	6.3	5.5			
Cyanobacteria	<i>Aphanocapsa parietina</i>						5.0	9.1	6.4	6.4	5.5	9.9	9.6	8.2	7.4	5.1	5.3	6.1	12.1	6.2	6.2		
	<i>Aphanothece microscopica</i>	10.7	6.8	5.9	5.8	5.6	8.5	10.8	11.8	7.4	6.2	7.1		7.6	4.6		6.2		8.2	5.4			
	<i>Calothrix sp</i>						5.4																
	<i>Chroococcus helveticus</i>				4.4																		
	<i>Chroococcus limneticus</i>				5.0			7.2		7.6	4.4												
	<i>Coelomoron regulare</i>													7.4									
	<i>Geitlerinema splendidum</i>						5.6																
	<i>Gloeotrichia echinulata</i>																			7.6	5.8		
	<i>Limnothrix redekei</i>			5.2	5.1		5.6	4.9			4.2		4.6	4.5	4.8	5.2							
	<i>Lyngbya martensiana</i>																			5.0			
	<i>Merismopedia elegans</i>				6.2																		
	<i>Merismopedia tennissima</i>							4.5															
	<i>Microcystis flos-aquae</i>										4.7		4.8					6.4		6.0	5.3		
	<i>Microcystis incerta</i>									5.5													
	<i>Microcystis viridis</i>							5.4	4.4					5.3	4.7	5.9		4.8	6.1	5.9			
	<i>Nodularia spumigena</i>	4.4	4.5	5.0			5.2	5.5			5.4		4.7	5.7	7.1		4.9		5.6	5.2	4.8		
	<i>Nostoc sp</i>																			5.1			
	<i>Oscillatoria lacustris</i>							4.6															
<i>Oscillatoria limnetica</i>																			5.4				
<i>Pseudoanabaena catenata</i>						6.2	4.6																
<i>Raphidiopsis curvata</i>				4.4																			
Euglenozoa	<i>Euglena viridis</i>			4.6						7.2													
	<i>Trachelomonas volvocina</i>								6.3				5.0	5.2			4.6	6.8	9.4				
Miozoa	<i>Ceratium tetraceros</i>			4.3	4.6	5.6	7.0	4.7				5.6	5.8	5.8	4.7		6.8	5.0	6.2				
	<i>Gymnodinium fuscum</i>	6.2	9.3	19.5	5.3	4.6	10.0	7.6	9.3	1.6		7.9	7.7	9.0	6.4		14.8		9.4	5.3	5.2		
	<i>Peridinium cinctum</i>	8.9	16.3	4.5	4.8		4.8	4.5	4.6						4.9	7.4		7.9	4.1	4.9	6.1	7.2	
Ochrophyta	<i>Dinobryon divergens</i>	15.9	16.4	7.2	5.8	4.6	5.0	6.2	6.1			6.0	7.8	7.7			9.2	6.6	7.1	4.7	5.7		
	<i>Mallomonas caudata</i>	5.4	5.0	6.1	4.8	5.6	4.8	5.1	5.4	4.8			5.2	5.1	4.9	4.7		6.2	5.2	5.8	5.3	6.8	

Estaciones		LRC1					LRC2					LRC3					LRC4					
Filum	Especies	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	0 m	10 m	15 m	30 m	40 m	
Bacillariophyta	<i>Achnanthes lanceolata</i>	10.3	4.8	6.8			4.6	5.4	5.1	6.3		7.2	10.0		5.0	5.2	6.5	10.8	6.1	8.8		
	<i>Achnanthes pinnata</i>											4.8										
	<i>Amphipleura lindheimeri</i>	8.4					5.2															
	<i>Asterionella formosa</i>	9.5	5.4	5.4	8.0	5.1	5.6	6.5	6.4	8.0	4.6	4.7	5.4	4.8	7.2		5.1	6.8	7.0	6.4	5.8	
	<i>Ceratoneis arcus</i>							5.7		7.2											4.7	
	<i>Cocconeis placentula</i>		4.4	5.3	4.0		4.8					5.6		6.6	5.0		4.6	4.8	5.3			
	<i>Cymbella minuta</i>		5.0	6.1	4.2			5.7			6.8									7.2	4.0	4.7
	<i>Diatoma tenue</i>	8.9	6.1	7.4			5.6	4.8		7.6		6.4	4.5						5.2	5.5		
	<i>Ephitemia sores</i>																	4.9				
	<i>Fragilaria construns</i>						8.2	4.7	5.6	5.0	5.7			7.0	5.2		8.1	10.2	9.8	4.8	7.6	
	<i>Frustulia rhomboides</i>			6.4	4.5				5.6	5.4	6.0		5.3	5.8	5.0	6.1	6.8		6.8	4.8	4.4	
	<i>Gomphonema parvulum</i>	5.3		4.5		7.2																
	<i>Gomphonema pusilla</i>				5.1																	
	<i>Gomphonema subclavatum</i>			9.7	5.6	7.5	4.4	5.7	5.0	4.5			4.7	5.9	5.6	5.9		5.0	5.9	4.8	5.0	
	<i>Melosira granulata</i>	5.1	5.2	6.4	4.8	5.4	7.2	6.8	5.0	5.6			5.0	7.7	5.5	6.6	4.4	6.8	5.8	5.8	5.4	
	<i>Melosira hustedtii</i>	8.0	6.0	6.2	5.4		6.4	5.8			5.8	5.1	4.9	6.1	6.6	5.9	6.2	6.0	12.6	5.3		
	<i>Melosira varians</i>												4.7				5.4					
	<i>Navicula directa</i>			5.6		5.7		4.5	4.6	5.0				4.6	4.5	7.4	5.5	6.8	5.1	7.3		
	<i>Navicula pygmaea</i>	4.6	4.3										4.6	4.4								
	<i>Navicula viridula</i>																6.8	4.9	5.6			
	<i>Nitzschia acicularis</i>	6.2	9.3	10.9	8.8		8.6	11.2	13.2	9.1	9.4	11.7	13.0	11.6	9.3	9.4	16.6	17.2	20.5	11.1	9.8	
	<i>Nitzschia aff. incospicua</i>	4.5																				
	<i>Nitzschia parvula</i>	4.7		4.2				5.2														
	<i>Nitzschia pugens</i>																				5.6	
	<i>Opephora martyi</i>			5.1																		
	<i>Pinnularia intermedia</i>	5.6	4.6	6.0	5.1	4.4				4.6	4.8					4.6	4.7	6.0	5.7	4.8	4.2	
	<i>Pinnularia major</i>		4.4	5.0			7.2	5.9					4.6		4.4		5.2	5.0		6.9	4.4	
	<i>Rhizosolenia eriensis</i>		5.1	5.0	4.7				4.9				4.5		5.7				4.6	6.2	5.2	
	<i>Rhoicosphenia curvata</i>	5.6	4.5	5.6	4.0	5.6		4.9		7.6		4.7	6.9	4.6	4.8	4.8	6.0	6.0	5.2	5.0	4.4	
	<i>Rhopalodia gibba</i>									5.8												
<i>Surirella ovata</i>			5.9																			
<i>Synedra acus</i>	10.6	8.2	8.7	3.6	4.2	9.0	8.3	4.6				7.6					6.2	5.4				
<i>Synedra rumpens</i>	8.0	8.9	9.2	5.1	6.2	6.6	8.4	14.2	7.2	5.0	8.5	10.2	7.1	5.0		7.8	7.6	14.6	5.2	1.2		
<i>Tabellaria fenestra</i>	9.5	8.5	9.7	9.8	10.2	11.3	11.1	9.8	10.1	9.8		8.5	8.7	9.6		9.4	9.2	9.0	9.1	11.6		