

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS



INFORME SOBRE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO TINQUILCO

Presentado por:

Universidad Austral de Chile

Dr. Stefan Woelfl

Dr. Jorge Nimptsch

A petición del Comité de Protección y Desarrollo Sustentable de Tinquilco
(Financiamiento parcial)

1. Introducción

El Comité de Protección y Desarrollo Sustentable de Tinquilco esta preocupada por la calidad de agua del Lago Tinquilco, ubicado en el parque nacional “Huerquehue”, cerca del lago Caburgua. En las orillas de este lago existen tres zonas de camping y algunas casas que podría afectar negativamente la calidad de este lago, principalmente su nivel trófico, es decir su estado productivo, por ingreso de los nutrientes limitantes fósforo (P) y nitrógeno (N). En consecuencia se podría observar un aumento del crecimiento de las algas y una disminución de la concentración de oxígeno en su cuerpo de agua (véase mas detalles sobre eutrofización en el anexo). Otro problema podría ser relacionado con ingreso de bacterias fecales al lago que podría afectar incluso la salud humana (este aspecto no se trató en este estudio).

Sobre la calidad de agua del Lago Tinquilco existen muy escasos datos publicados (Steinhard et al. 2002, sobre clorofila a), sin embargo hay varios trabajos publicados sobre macrofitas (Urrutia et al. 2012) y zooplancton (De los Rios et al. 2007, 2012). Según estos antecedentes se podía suponer que el lago es oligotrófico, es decir de muy baja productividad mostrando un estado no contaminado por nutrientes (véase ANEXO). Tampoco existen datos sobre la batimetría del lago, su volumen y su tiempo de resistencia temporal. Solo existe un dato sobre su profundidad máxima que sería 40 m según De los Rios et al. 2007.

Es por eso que se realizó un solo muestreo el 15 de abril 2015 para obtener algunos datos claves para determinar principalmente el estado trófico de este lago y obtener mayores antecedentes sobre la batimetría de lago, información importante para estimar la capacidad de carga (de nutrientes). En particular se realizaron las siguientes mediciones:

- Mediciones de profundidad del lago para obtener datos batimétricos y estimaciones sobre el volumen del lago.
- Medición de la transparencia (profundidad de Secchi) y la radiación fotosintéticamente activa en la columna de agua. Estos parámetros son importantes para la clasificación trófica del lago (ANEXO)
- Medición de parámetros físicos como temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno. Este último parametro es clave para evaluar efectos negativos de una eventual eutrofización de una lago (ANEXO)

- Medición de nutrientes P, N disuelto y particular y clorofila a. Estos parámetros se usa para clasificar el estado trófico (véase ANEXO).
- Medición y descripción de los componentes de carbono disuelto en el agua. Estos parámetros se usan para detectar posibles fuentes de ingreso de carbono, incluyendo contaminantes.
- Determinación de la composición y abundancia de microcrustáceos (cualitativo y cuantitativo) y otros organismos importantes, p.e. algas (cualitativo) y ciliados mixotróficos. Estas informaciones son importantes para describir la biota.

2. Metodología

2.1 Batimetría

Se realizaron un recorrido con bote en forma de zig-zag (Fig. 1) sobre el lago completo midiendo las profundidades con una ecosonda HUMINBIRD 727 registrando paralelamente las coordenadas con un GPS GPSmap 62 (GARMIN) (Fig.2).



Figura 1. Recorrido de mediciones batimétricas.



Figura 2. Foto de la ecosonda Humminbird 727 y del GPS Garmin GPSmap 62

De este modo se obtuvieron aproximadamente 100 mediciones. Por falta de tiempo no se podían realizar mas mediciones. Sin embargo, fue suficiente para determinar las zonas mas profundas del lago.

En base de estas mediciones se dibujaron la isobatas a simple vista con el programa PHOTOIMPACT 4 para obtener finalmente un mapa batimétrico estimativo. En base de este mapa se estimó las áreas (Programa ImagePro) y finalmente el volumen aproximado del lago.

2.2 Toma de muestras y análisis de parametros físicos y químicos de agua

Parámetros físicos: Se registraron temperatura, pH, conductividad eléctrica y clorofila a con una sonda multiparametrica (Sea & Sun 90M, Sea & Sun Technology GmbH, Alemania) desde la superficie hasta la profundidad máxima en cada estación de muestreo (resolución vertical app. 0,3 m). Luego se midió la transparencia usando el disco Secchi ($\varnothing$ 30 cm) y la distribución vertical de la luz visible (PAR) en intervalos de 2 metros desde la superficie hasta la profundidad máxima.

Parámetros químicos: Las muestras de agua para el análisis de parámetros químicos se tomaron en 0-5-10-15-20 m de profundidad con una botella Friedinger (volumen 2 L). El agua se guardó en botellas de polietileno de 0,5 L volumen a una temperatura de 4-8°C para su transporte al laboratorio LIMNOLAB de la Universidad Austral de Chile y su análisis químico siguiendo la metodología descrita abajo:

Análisis de agua

La metodología utilizada para medir los factores físicos y químicos es la siguiente:

Temperatura: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M). Precisión: 0,01 °C

pH: Medición in situ con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M) y corroboración de mediciones de pH de muestras de agua estratificadas de la zona pelagial de los lagos utilizando una sonda WTW. Precisión 0,1 unidad de pH

Conductividad: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M). Precisión: 0,3 μ S/cm.

Transparencia: Medición con un disco Secchi (30 cm de diámetro). Precisión: 0,5 m.

Luz: Medición de luz visible (400-700 nm) con un medidor LI-COR desde la superficie hasta máximo 50 m de profundidad en las estaciones centrales (referencia). Precisión: 0,3 μ Mol Fotones/s *m².

Oxígeno disuelto: Medición con sonda WTW con sensor óptico directamente en la botelle Friedinger. Precisión: 0,2 mg/L

Nitrato: Método de Reducción con columna de cadmio y medición como nitrito según 4500-NO₃ – E Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,002 mg N-NO₃/L. Segmented Flow Analysis Modul SKALAR (Holanda)

Nitrito: Método colorimétrico diazonio según 4500-NO₂ - B. Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,002 mg N-NO₂/L. Segmented Flow Analysis Modul SKALAR (Holanda)

Amonio: Método Indofenol, 4500-NH₃ F Standard Methods Edición 2005. Límite de detección (MDL): 0,002 mg N-NH₄/L.

Fósforo soluble: Método azul del ácido ascórbico según 4500-P – E. Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,002 mg P-PO₄/L.

Fósforo Total (PT): Método de digestión ácida y Persulfato de Potasio según Koroleff (1983) y 4500-P B/5 Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,003 mg P-PO₄/L.

Nitrógeno Total: 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 APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,015 mg N/L. Segmented Flow Analysis Modul SKALAR (Holanda)

Nitrógeno orgánico: Norg. = NT –(N-NO₃ + N-NO₂ + N-NH₄).

Clorofila a: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M). Precisión: 0,1 °C

Carbono orgánico disuelto: Medición con Elementar C-Analyzer

Componentes carbón disuelto: Medición de 3D fluorescencia

2.3 Muestreo y análisis de zooplancton

En el punto de muestreo se colectaron microcrustáceos con una red de zooplancton de 80 µm (apertura: 29 cm) con flujómetro desde la superficie hasta 25 m Las muestras fueron almacenadas en frascos plásticos con un volumen de 70 ml y fijadas con formalina saturada con azúcar a 4% concentración final. Los organismos se cuantificaron en cámaras de Bogorov usando un microscopio invertido LEITZ Fluovert FS (aumento 40-200x), en una submuestra de 1-10 ml según la densidad de los microcrustáceos. Los microcrustáceos, copépodos y cladóceros, se clasificaron a nivel de especie donde fue posible.

En terreno se observaron ciliados mixotróficos del género *Stentor* que son característicos para lagos Nord Patagónicos que no sufrieron alteraciones en su cuenca (Woelfl 2007). Para identificar la especie y para cuantificar su abundancia, los ciliados – colectados en una muestra integrada de 0-5 m - fueron filtrados (1L) sobre filtros de 0,2 μm y contados bajo lupa Wild M5 (aumento 60x) según método de Woelfl (2007).

3. Resultados y evaluación

3.1 Parámetros morfológicos

La figura 3 muestra el mapa batimétrico preliminar basandose en las mediciones de profundidad. Los isobatas fueron dibujadas solamente a mano y deben ser consideradas estimaciones (Fig. 3). La longitud total del lago es 2,61 km, el ancho máximo 0,55 km, el área superficial $\sim 0,901 \text{ km}^2$, la línea de costa 6,01 km y el volumen total $\sim 10,81 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Tabla 1). La profundidad máxima encontrada fue $\sim 26 \text{ m}$, la profundidad media (volumen/superficie) fue $\sim 11,9$ (Fig. 4 y 5). Estos valores difieren de los datos publicados por De Los Rios et al. (2007; 2015), donde se reporta una profundidad máxima de 40 m y una superficie de 10 km^2 . Sin embargo, creemos que los datos reportados son erróneos, por los sobre la superficie (según WIKIPEDIA la superficie es 110 ha = $1,1 \text{ km}^2$). La forma de la curva hipsográfica de las áreas en relación a la profundidad indica una distribución homogénea y lineal con la profundidad, típico de un lago glacial con signos de sedimentación acumulada en la profundidad y un fondo plano (Fig. 4). Por falta de datos hidrológicas no se puede estimar el tiempo de renovación del agua del lago, dato importante para estimar la capacidad de carga de nutrientes del lago.

Tabla 1. Area y volumen por profundidad en el lago Tinquilco.

		Prof. (m)	area (m ²)	Voumen (m ³)
Longitud máxima (km)	2,61	0	910459	4161990 (0-5 m)
Ancho máximo (km)	0,55	5	754337	3567835 (5-10 m)
Profundidad máxima (m)	26,0	10	672797	5730505 (10-20 m)
Profundidad media (m)	11,9	20	473304	1461070 (20-25 m)
Linea de la costa (km)	6,01	25	111124	55562 (25-26m)
		26		
		Total		10814972

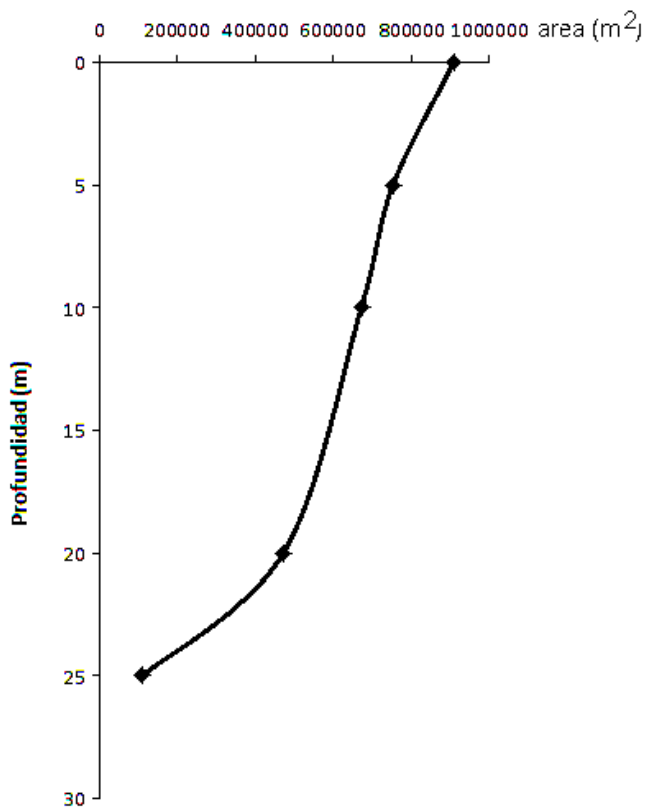


Fig. 4 Curva hipsográfica de area del lago Tinquilco

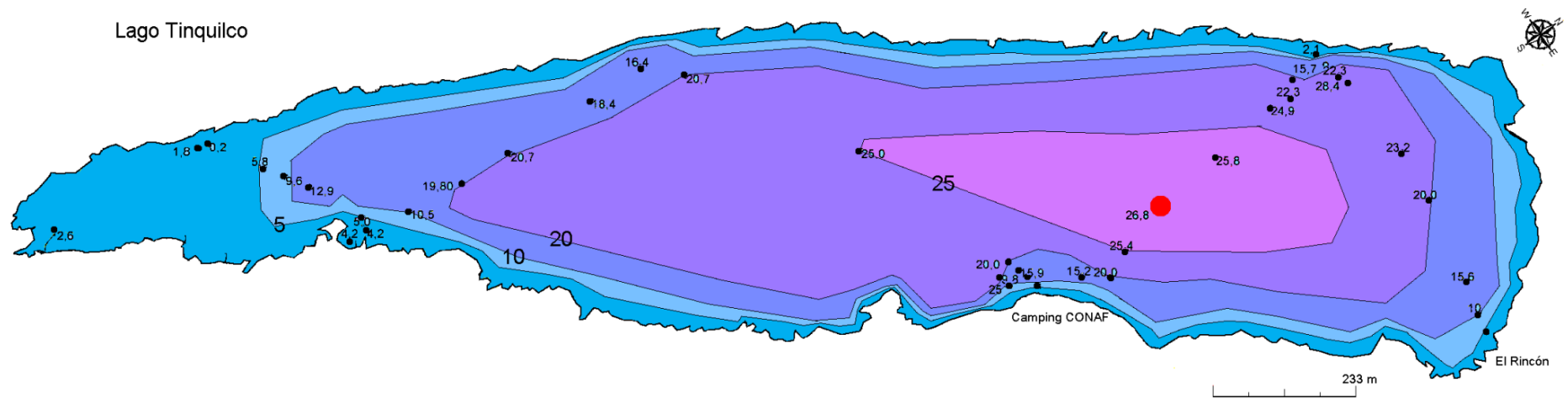


Figura 5. Mapa batimétrico (estimativo) del Lago Tinquilco. Se nota muy bien, que la parte oeste-sur del lago es poco profundo con vastas zonas someras y fondo blando. El punto rojo indica el sitio de muestreo de la columna de agua. No todas las estaciones de medición de profundidad están dibujadas.

3.2 Parámetros físicos

La figura 6 muestra el perfil de temperatura y del clorofila a. Se nota muy bien, que el lago fue estratificado (termicamente) muy marcadamente con un epilimnion de 0-10 m con temperatura de 16,6 °C, un metalimnion de 10-15 m y un hipolimnion de 15 hasta el fondo con una temperatura de 8°C. Esto significa que la temperatura de la mezcla invernal del año 2014 fue 8°C. La relación entre el volumen del epilimnion y el hipolimnion fue 1:~2.

Las concentraciones de clorofila a fueron en general bajas ($< 1 \mu\text{g/L}$) siendo homogéneas (0,5-0,6 $\mu\text{g/L}$) en el epilimnion para después mostrar una marcado peak en la termoclina (1,1 $\mu\text{g/L}$). Estos valores son típicos para lagos poco productivos (oligotróficos) y han sido reportado por Steinhart et al (2002) en una ocasión en 1995 (0,9 $\mu\text{g/L}$ clorofila a). En la zona áfótica las concentraciones de clorofila a disminuyó hasta el fondo a valores $< 0,3 \mu\text{g/L}$. Sobre las especies algales no se dispone de antecedentes.

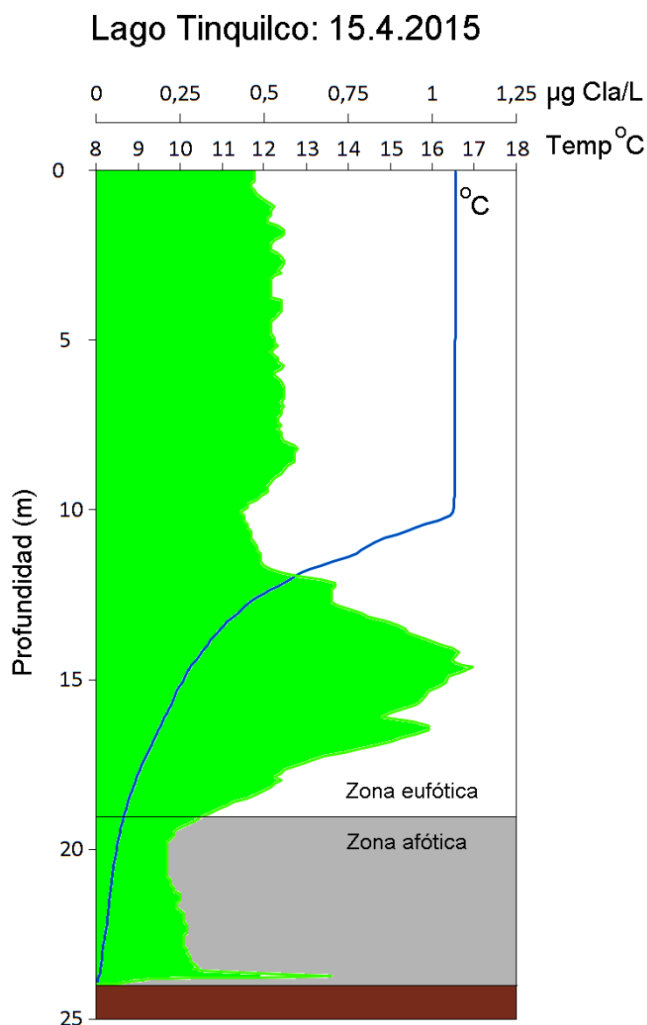


Figura 6. Perfil vertical de la temperatura y la clorofila a, medido con sonda multiparamétrica Sea & Sun 90

Las mediciones del perfil vertical de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) mostro que la zona eufótica alcanzó con 19 m casi el fondo del lago. En relación a la zona eufótica la transparencia (Secchi) fue alta con 15 m, es decir que el agua es muy transparente, sin color y sin muchas algas. Los valores son típicos para lagos oligotróficos.

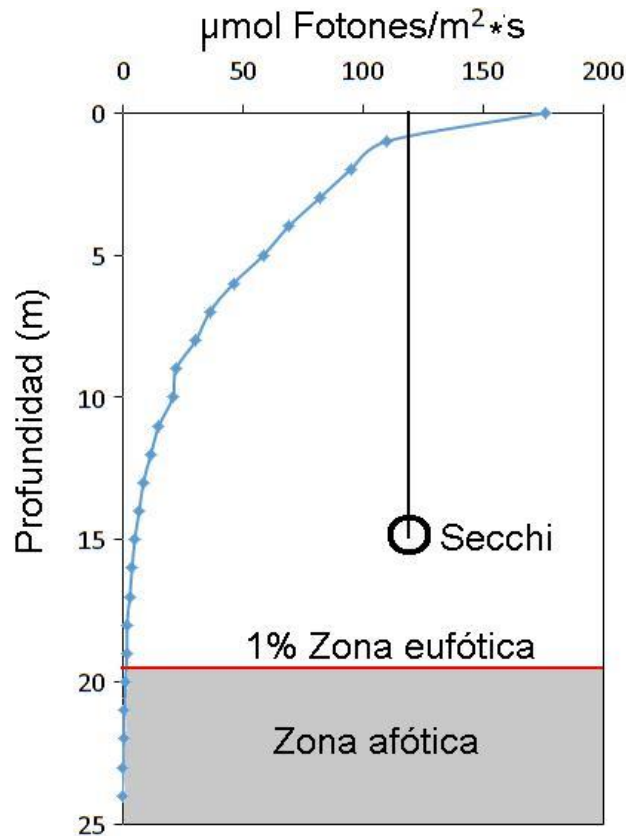


Figura 7. Perfil vertical de luz PAR en el lago Tinquilco.

La oxigenación de la columna de agua fue buena con valores > 8 mg/L siendo cercanos a la saturación de oxígeno en el epilimnion y aprox. 85% de saturación en el hipolimnion (Tabla 2). Esto significa que el lago está bien oxigenado hasta el fondo, sin embargo muestra cierta disminución de oxígeno en el hipolimnion probablemente producto de la respiración microbiana.

3.3 Parámetros químicos

En la tabla 2 se muestran los resultados de los análisis químicos del agua del lago Tinquilco. Respecto a los nutrientes se nota que desde la superficie hasta el fondo prácticamente ya no hay nutrientes disponibles, ni amonio, ni nitrato y tampoco fósforo soluble. Todos los valores están bajo los niveles de detección (< 2 ug/L). Por otro lado, los totales de fósforo y nitrógeno muestran valores muy homogéneos desde la superficie hasta el fondo. Los valores están todavía en el rango de valores característicos de oligotrofia, pero ya no de un lago sin intervención que muestra

generalmente valores menores a 5 µgP/L (véase también anexo 1 sobre clasificación de la trofia). Es de gran importancia mantener este valor o mejor reducirlo en el futuro para garantizar el nivel oligotrófico del lago. La concentración de fósforo total ya es mayor a la reportada para el L.Caburgua siendo ya similar a la del lago Villarrica, que ya muestra señales de una transición de oligotrofia a mesotrofia.

Tabla 2. Parámetros físicos y químicos, medidos en el lago Tinquilco (15.4.2015)

Prof.			Cond.	O ₂	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NO ₂	N-TOTAL	P_PO ₄	P-TOTAL
(m)	T (C)	pH	(µS/cm)	(mg/L)	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
0	16,5	7,0	31,8	8,51	< 2	< 2	< 2	81,9	< 2	7,2
5	16,5	7,1	31,9	8,84	< 2	< 2	< 2	78,9	< 2	7,0
10	16,5	7,0	31,9	8,75	< 2	< 2	< 2	81,9	< 2	8,2
15	14,5	6,9	31,8	9,00	< 2	< 2	< 2	73,8	< 2	8,0
20		6,5	31,5	8,62	< 2	< 2	< 2	77,7	< 2	7,0
25	14,2	6,5	29,8	8,61	< 2	< 2	< 2	70,8	< 2	7,6

3.4 Concentraciones de Carbono disuelto en el perfil vertical del lago Tinquilco

En el perfil vertical del lago Tinquilco se observan valores relativamente bajos y estables de carbono orgánico e inorgánico desde la superficie hasta los 10 m de profundidad con valores en el rango de 0,85 – 1,03 mg C /L de DOC y en el rango de 1,71 – 1,99 mg C/L de DIC. A los 15 m de profundidad se observa un pequeño máximo de carbono orgánico (1,29 mg C/L). El carbono inorgánico, en cambio aumenta desde los 15 m de profundidad desde valores de 1,73 mg C/L a valores máximos registrados de 3,10 mg C/L a 25 m de profundidad. Este aumento es producido por el aumento en la respiración bacteriana en los estratos profundos y va en concomitancia con el máximo de clorofila y el aumento de componentes proteicos en el estrato profundo.

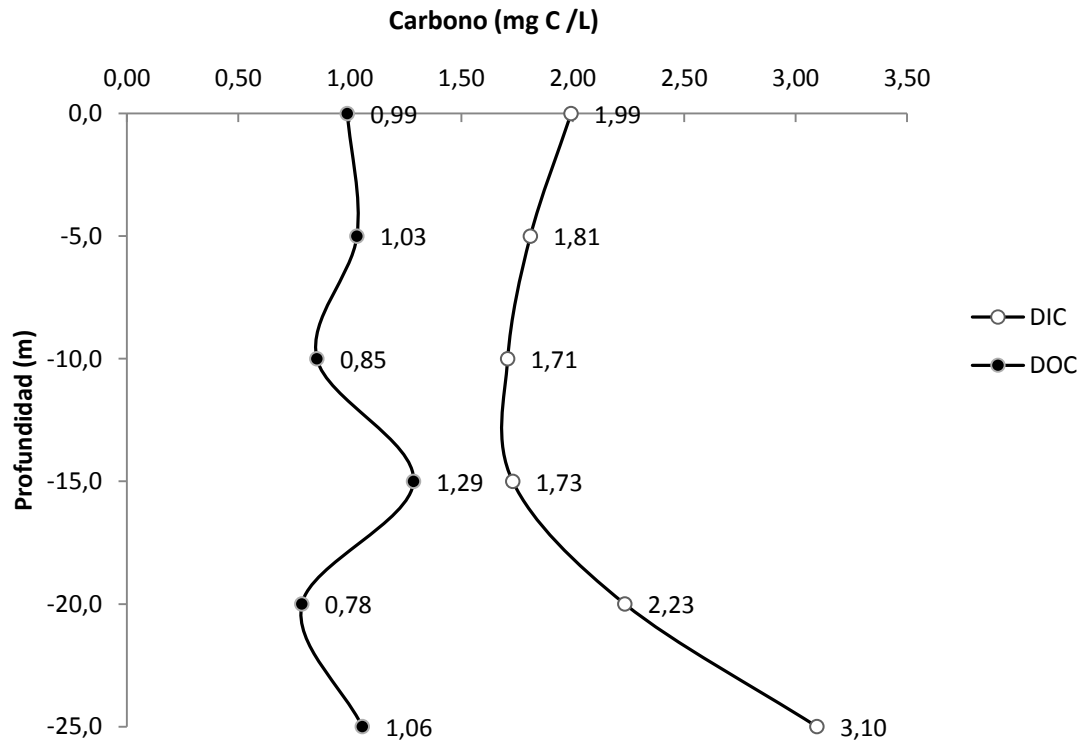


Figura 8. Perfiles de concentraciones de Carbono orgánico disuelto (DOC), carbono inorgánico disuelto (DIC) y carbono disuelto total (DC) en el lago Tinquilco (0 – 25 m de profundidad)

Distribución de los componentes de Materia orgánica disuelta (DOM) en el perfil vertical del lago Tinquilco

En el perfil vertical del lago Tinquilco se observa mayores proporciones de DOM tipo húmico con origen alóctono desde la superficie hasta los 10 m de profundidad con un leve máximo subsuperficial a los 5 m de profundidad con valores de 0,09 (R.U.). Desde los 10 a los 20 m de profundidad se observa una disminución proporcional del componente húmico hasta un mínimo relativo de 0,04 (R.U.) a los 20 m de profundidad para aumentar a valores de 0,07 (R.U.) a los 25 m de profundidad.

El componente proteico de origen autóctono en cambio muestra una muy baja variabilidad cerca de la superficie entre los 0 y los 10 m de profundidad. Entre los 10 y los 15 m de profundidad aumenta considerablemente de 0,05 a 0,11 (R.U.) manteniendo estos valores hasta los 25 m de

profundidad y predominando la composición de la materia orgánica disuelta en el estrato profundo del lago.

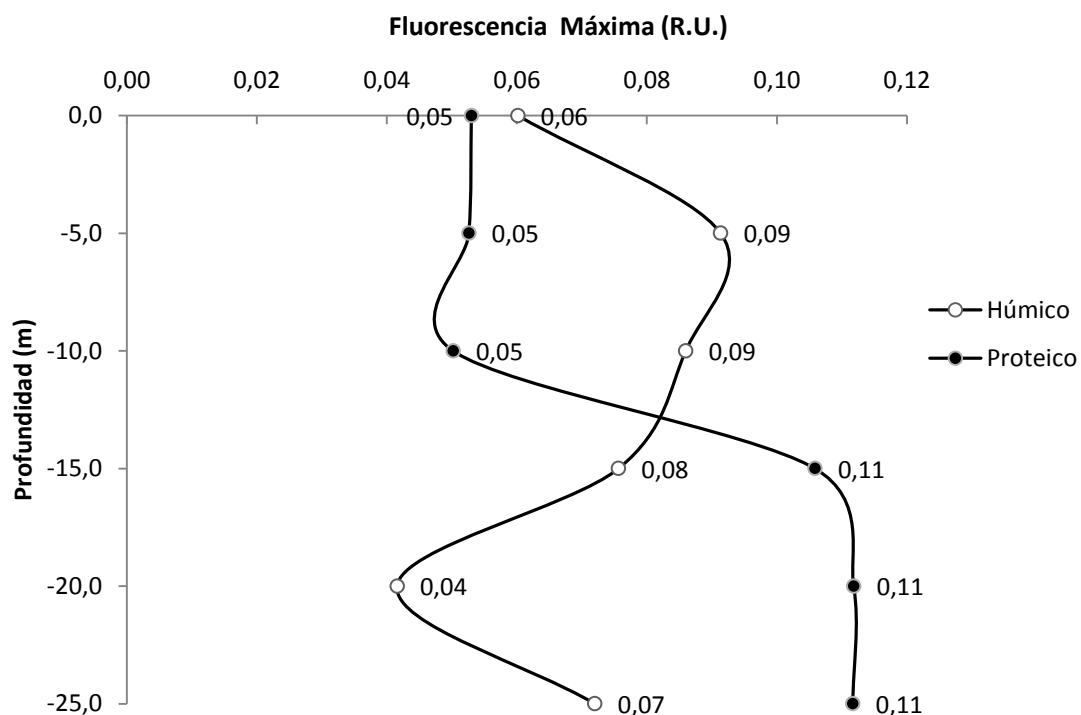


Figura 9. Perfiles de componentes húmicos (alóctono) y proteicos (autóctono) de la materia orgánica disuelta en el lago Tinquilco (0 – 25 m de profundidad)

3.5 Zooplankton

Se encontraron 6 especies de microcrustaceos, 2 copépodos ciclopoideos, 1 copépodo calanoideo y 3 cladóceros. La diversidad es similar a otros lagos de la zona y típicos para lagos similares de la Nord Patagonia. La abundancia es relativamente moderada con predominancia de los cladóceros y los copépodos calanoideos (Fig. 10), mientras los copepodos ciclopoideos alcanzaron solamente muy bajas abundancia, típico para los lagos araucanos.

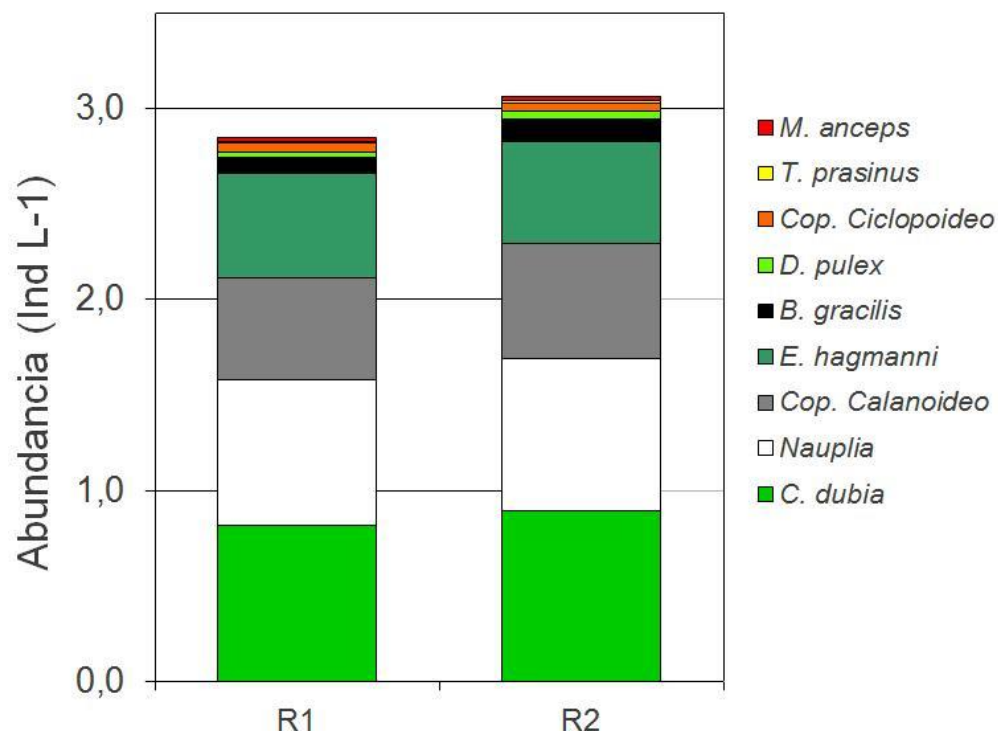


Figura 10. Perfiles de componentes húmicos (alóctono) y proteicos (autóctono) de la materia orgánica disuelta en el lago Tinquilco (0 – 25 m de profundidad)

Aparte de los microcrustaceas se encontraron además grandes ciliados mixotróficos del genero *Stentor* (tamaño: ~ 0,2 – 0,3 mm), con la especie *Stentor amethystinus*. En 0-5 m de profundidad

su abundancia promedio fue de 527 ind/L, lo que es bastante alta, pero dentro de los valores reportados para otros lagos araucanos como L.Caburgua, L.Colico, L.Maihue, L.Neltume y L.Pirehueico.

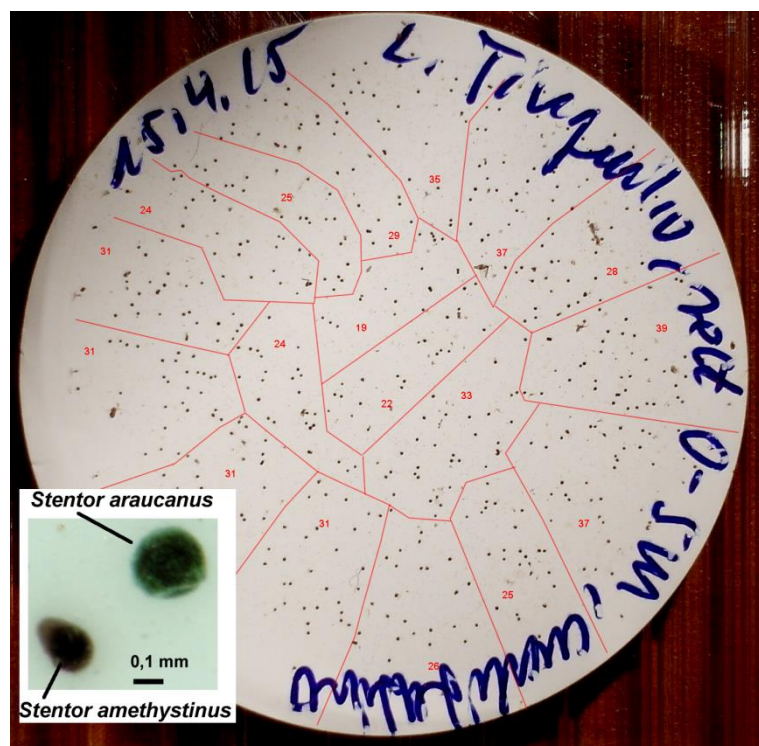


Fig. 11 *Stentor amethystinus* (puntos oscuros) sobre filtro (Ø 47 mm), 1L filtrado (0-5 m), Lago Tinquilco.

Esta especie es típica de lagos oligotróficos del Sur de Chile y junto con la especie *Stentor araucanus* es indicador de ambientes oligotróficos (Woelfl 2007, 2010). Estos ciliados mixotróficos contienen algas simbióticas y están muy bien adaptados a ambientes oligotróficos. Históricamente han sido reportados en varios lagos del Sur de Chile donde hoy ya no se encuentra, p.e. el lago Villarrica (Woelfl 2007). Por su alta abundancia, biomasa (pueden alcanzar hasta 60-80% de la biomasa total del zooplancton) y productividad han sido reconocido a nivel mundial como organismos clave en los ecosistemas araucanos. Son de interés científico para los limnólogos siendo un buen indicador para ecosistemas “naturales” del Sur de Chile. Sin embargo, como muestran los estudios de los últimos 20-30 años, en lagos que sufren cambios en su entorno, esta especie desaparece (Lvillarrica, L. Pirehueico) por lo cual amerita ser monitoreada con atención especial.

4. Conclusión

En base al muestreo realizado el 15 de abril 2015 se puede concluir lo siguiente:

- Se dispone ahora de un primer mapa batimétrico aproximado del lago Tinquilco. Tiene una profundidad máxima de ~ 26 m, una superficie de $0,9 \text{ km}^2$ y un volumen de $\sim 10,81 \times 10^6 \text{ m}^3$
- El lago tiene una alta transparencia y zona eufótica, casi hasta el fondo.
- La cantidad de clorofila *a* y las concentraciones de P y N caracterizan el lago como un lago oligotrófico (poco productivo). Sin embargo, las concentraciones de fósforo total (7 y $8 \mu\text{g/L}$) son - según nuestra experiencia - ya indicativas para un ingreso un poco mayor de lo esperado. Un lago prístino debería tener concentraciones menores a $5 \mu\text{gP/L}$.
- No está claro cuál es la capacidad de carga (de nutrientes) que podría soportar el lago sin aumentar su nivel de trófia (productividad). El límite es $10 \mu\text{gP/L}$, al cual la concentración de P no debería llegar. Se debe monitorear este lago en el futuro porque este tipo de lagos no es frecuente siendo frágil frente a cualquier alteración en su cuenca que aumenta el ingreso de P, N y carbono.

- La capacidad de carga depende de la profundidad media (se dispone de este valor) y del tiempo de renovación del agua. Este último valor no es accesible en este momento por falta de antecedentes.
- Se concluye que el lago debería ser monitoreado en el tiempo, especialmente durante el verano, para obtener mas antecedentes sobre su los niveles de nutrientes, el estado trófico y los ingresos de nutrientes. Es muy necesario obtener datos sobre los ingresos y egresos de agua para establecer un balance hídrico, que es fundamental para estimar la capacidad de carga de este lago.
- Es necesario proteger el lago que por sus características naturales es un ambiente lacustre de alto valor siendo al mismo tiempo vulnerable frente a cualquier alteración en su cuenca.

Referencias

De los Ríos, P., E. Hauenstein, P. Acevedo y X. Jaque (2007). Littoral crustaceans in mountain lakes of Huerquehue National Park (38°S, Araucania region, Chile). *Crustaceana* 80: 401-410.

De los Ríos, P., E. Hauenstein, P. Acevedo. 2015. Daily variations in vertical distribution of crustacean zooplankton in a mountain lake (Lake Tinquilco, 39°S, Araucanua Region) in Chile. *Crustaceana* 88 (2) 208-215

Urrutia J, R. Rivera, E. Hauenstein, P. De los Ríos. 2012. Modelos nulos para explicar asociaciones de macrófitas en ambientes lénticos de la región de La Araucanía, Chile. *ØYTON* 81: 7-13.

Steinhart, S.G., G. Likens and D. Soto. 2002. Physiological indicators of nutrient deficiency in phytoplankton in southern Chilean lakes. *Hydrobiologia*. 489: 21–27.

Woelfl, S. (2007) The distribution of large mixotrophic ciliates (*Stentor*) in deep North Patagonian lakes (Chile): first results *Limnologica* 37: 28-36

Woelfl, S., P. Garcia & C. Duarte (2010). *Chlorella*-bearing ciliates (*Stentor*, *Ophrydium*) dominate in an oligotrophic, deep North Patagonian lake (Lake Caburgua, Chile). *Limnologica* 40(2): 134-139

COMPOSICIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

INVESTIGADORES

Dr. Stefan Woelfl

Dr. Jorge Nimptsch

Ing. Forestal Ignacio Esquivel

Biol. Mar. Ana Lorca

Biol. Mar. Juan Carlos Reyes

ANEXO 1 ASPECTOS GENERALES SOBRE EL PROBLEMA DE EUTROFIZACIÓN DE LAGOS

Desde los años 1950 se ha detectado a nivel mundial que muchos lagos han y están sufriendo un aumento de ingreso de nutrientes, especialmente fósforo (P) y nitrógeno (N) específicamente nitrato y amonio, iniciando procesos de eutrofización. Estos nutrientes provienen en gran parte de fertilizantes, desechos humanos y de animales y de la contaminación atmosférica, y están estrechamente relacionados con el uso de los suelos y las actividades antropogénicas en la cuenca hidrográfica incluyendo las actividades de salmonicultura. El aumento de los nutrientes limitantes (P en el hemisferio Norte, P y N en el hemisferio Sur) genera la base para el crecimiento de los productores primarios (algas y macrófitas) y se produce un incremento de su biomasa y de su productividad primaria, proceso denominado “eutrofización”.

En comparación a la eutrofización natural, el cual es un proceso lento de miles de años, la eutrofización antropogénica es un proceso que cambia el ecosistema en muy corto tiempo, muchas veces sólo en algunos años o décadas. Los efectos de la eutrofización son considerados como negativos para el ecosistema, porque producen una mala calidad de agua. Los efectos negativos más importantes son:

- aumento de la abundancia, biomasa y productividad primaria de algas/macrófitas
- cambio de especies en cada nivel trófico: algas, zooplancton, peces, bentos
- aumento de algas azules, que potencialmente producen toxinas
- aumento de la abundancia, biomasa y productividad de organismos heterotróficos
- disminución de la transparencia (visibilidad) y de la zona eufótica (1% luz superficial) del agua
- aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)
- disminución del oxígeno, principalmente en el hipolimnion del lago durante la estratificación térmica en verano
- otros efectos como muerte de peces, aparición de algas tóxicas (provenientes de algas azules-verdes) etc.

En forma general se puede decir, que el aumento de los nutrientes produce **un aumento de la productividad del lago** - acompañado por un cambio de especies en cada nivel trófico –, además de un aumento en la degradación de la materia orgánica (MO). Durante esa degradación

se consume oxígeno (respiración microbiana principalmente: oxidación de la MO) produciendo una disminución de este gas en el agua hasta llegar a condiciones anaeróbicas. Esta disminución de oxígeno comienza primero sobre el sedimento del lago y luego se extiende en el hipolimnion del lago hasta llegar a condiciones anóxicas que causan la muerte de la mayoría de los organismos.

Además de los efectos ecosistémicos, la eutrofización afecta también al hombre, porque cambia no sólo el aspecto estético del lago (cambio de color desde azul hacia verde) sino también los potenciales usos del agua (p.e. para recreación, potabilidad, pesca etc.).

CLASIFICACIÓN DE TROFÍA

Para caracterizar el estado trófico de los lagos generalmente se utilizan los principales parámetros descriptores de calidad de agua empleados por los principales índices de trofia en la literatura:

- clorofila-a
- transparencia del agua (profundidad de visión del Disco de Secchi/zona eufótica
- concentración de nutrientes P y N

La tabla 1 reporta los índices de la literatura para evaluar el estado de los sistemas, que son por ejemplo el índice propuesto por Dillon y Carlson, de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD, 1982) y la clasificación trófica propuesta por la Guía CONAMA para la elaboración de Normas Secundarias en Chile (Tabla 1).

Se observa que existen ciertas diferencias en los rangos propuestos para caracterizar los diferentes estados tróficos.

Tabla 1 Clasificación trófica según la literatura

		Dillon 1975	Carlson 1977	OECD 1982	Nürnberg 1996	Guía NS Tabla 2
Secchi (m)	Ultraoligo-	-	-	-	-	> 20
	Oligo-	> 5	> 4	12-6	> 4	≥ 10
	Meso	5-2	4-2	6-3	4-2	10-5
Clorofila a (µg/l)	Ultra-oligo-	-	-	-	-	< 1
	Oligo-	≤ 2,1 (< 5,7)	< 2,6	1-2,5 (< 8)	<3,5	1- 3
	Meso	≤ 5,6 (< 15)	2,6-7,3	2,5-8 (< 25)	3,5-9	3 - 10
P Total (µg P/l)	Ultraoligo-	-	-	-	-	< 5
	Oligo-	≤ 10	≤ 12	4-10	<10	≤ 10
	Meso	≤ 20	12-24	10-35	10-30	≤ 20
N Total (µg N/l)	Ultraoligo-	-	-	-	-	-
	Oligo-	-	-	< 350	< 350	≤ 250
	Meso	-	-	350-650	350-650	≤ 400

Esto tiene que ver con el hecho, que una clasificación trófica usando valores límites máximos y mínimos es un procedimiento "técnico-práctico", que no refleja adecuadamente el escenario real del estado trófico de un lago, que se debería describir con un modelo probalístico (Fig. 2). Según la propuesta de Vollenweider & Kerekes, 1980, se puede deducir una determinada probabilidad (1 = 100%, 0 = 0%) para clasificar el estado de lago que tiene una cierta concentración de P total, clorofila a o transparencia. Por ejemplo, un lago con una concentración promedio de 10 µg P/L se clasificaría con un probabilidad de 68% como oligotrófico y con una probabilidad de 25% como mesotrófico (véase línea roja en la figura 2). No obstante de estas limitaciones en este informe se usará la clasificación "técnica-prac-tica" presentada en la tabla 1 para evaluar el estado trófico de los lagos, simplemente por su utilidad más simple.

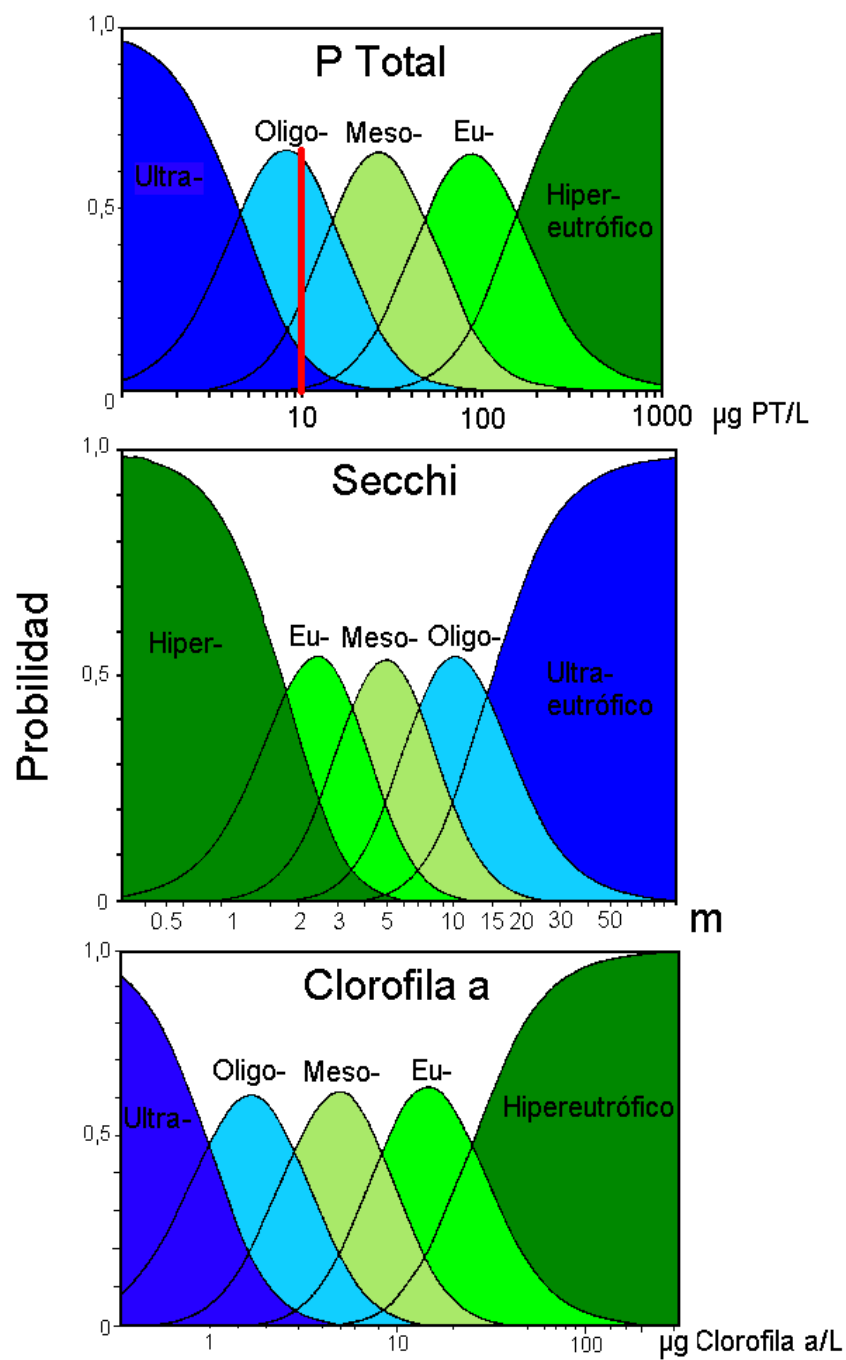


Fig. 1 Modelo probabilístico para la clasificación de la trofía (EPA-822-B00-001, 2000) .

ANEXO 2 Fotos de terreno





