



Universidad Austral de Chile
Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas
Escuela de Biología Marina

Profesor Patrocinante:
Dr. Stefan Woelfl
Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas
Universidad Austral de Chile.

Profesor Co-Patrocinante:
Dra. Gladys Lara
Facultad de Recursos Naturales
Universidad Católica de Temuco.

Profesor Informante:
Dr. Jorge Nimptsch
Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas
Universidad Austral de Chile.

Uso de la Fotografía subacuática georreferenciada a través de buceo autónomo, como herramienta para estimar abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* (Gray, 1828) en el Lago Tinquilco del sur de Chile.

Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al grado de *Licenciado en Biología Marina* y Título Profesional de *Biólogo Marino*.

**OTMAR HANS BARTSCH URRA
VALDIVIA – CHILE
2017**

*A mi madre por su amor incondicional, su sonrisa y cariño y,
a mi hijo por hacer mi vida más alegre y mi corazón más cálido.*



Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi madre Oriana Urra, por todos los esfuerzos y sacrificios que tuvo que hacer para ayudarme mientras estuve estudiando y, por todo el amor y cariño incondicional que me diste hasta esa última vez, gracias madre por haber sido siempre tan buena conmigo, por creer en mí y por darme siempre las fuerzas para seguir adelante.

A mi padre Otmar, hermana Siegried y familia en general, por todo el apoyo, cariño y preocupación durante todo este tiempo que, estando lejos se hace muy necesario y, a todos mis seres queridos que partieron hace muy poco tiempo, gracias por todos los lindos momentos, los llevo siempre en mi corazón.

A mi compañera en esta vida, Marjorie, por ser mi cómplice y complemento, gracias por las aventuras, lindos momentos, por todo tu cariño y amor, sobre todo por estar a mi lado siempre, apoyándome en los difíciles momentos que me ha tocado vivir, gracias amor.

A mi pequeño hijito Hans que vino a llenar de colores, alegrías y amor nuestras vidas, eres mi mayor felicidad y mi mayor motivación. De tu manito siempre mi vida, te amo.

A Purísima Guarda, por todo su apoyo, comprensión, cariño y ayuda, muchas gracias.

Al Dr. Stefan Woelfl y Dr. Jorge Nimptsch por recibirme en su laboratorio para desarrollar este trabajo de investigación y sobre todo agradecer el apoyo, la preocupación, esa empatía que generó muchos buenos momentos y la comprensión durante todo este periodo que no estuvo exento de dificultades, a la Dra. Gladys Lara por su preocupación y dedicación, muchas gracias y, al Dr. Roberto Jaramillo por su importante ayuda y compromiso con los estudiantes.

Agradecer también a todas las personas que me ayudaron en diferentes aspectos en la realización de esta mi tesis: Gerd Niedzwiedz, Gesche Kohlberg, Anne, Dirk Schories, Juan Carlos Reyes, Cristóbal Garcés, Javier Zapata, José Valenzuela, Sebastián Osorio y Miguel Pardo.

A los amigos de la vida, del laboratorio y a los que conocí en mi paso por la universidad: Waka, Yuyiyu, Dieguito, Victor Muñoz, Kako, katita, Nachito González, Max, Waly, Robinson Soto, Cami Gamín, Jano Garcés, Janits, Alex Elgueta, Sebita Osorio, Luchin Vallejos., Sebastián y Cami, Yessica Perez, Anita, Miguel Pardo, Nelson Valdivia, Luis Vargas, Pamela Silva, Marcela

Riveros, y a todas las tías del Jardín Infantil “Los Pingüinitos” por cuidar y querer tanto a nuestro pequeñito. A todos muchísimas gracias.

Resumen

En algunos lagos Nord Patagónicos como el Llanquihue, Villarrica y Riñihue, en las últimas décadas se ha reportado una tendencia del aumento de nutrientes y de la trofia asociado a la intervención antrópica. En este contexto, *Diplodon chilensis* es un bivalvo endémico del Sur de América, que se encuentra frecuentemente en los lagos y ríos del sur de Chile y se destaca por contribuir a mantener las condiciones oligotróficas de los cuerpos de agua siendo clasificado por el ministerio del medio ambiente como especie bioindicadora. El objetivo general de este trabajo de investigación fue poner a prueba una metodología no invasiva, utilizando la fotografía subacuática a través de buceo autónomo, para determinar abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* en el Lago Tinquilco, pequeño lago del sur de Chile. Además, este método se comparó con los resultados de abundancia de otros dos métodos; conteo in situ y extractivo. Se determinó la relación entre el tipo de sustrato predominante, la biomasa de *Diplodon chilensis* y el contenido de materia orgánica en el sedimento y, por último, se determinó el número mínimo de muestras fotográficas subacuáticas en base a los datos de abundancia del muestreo original. Con la metodología propuesta, se elaboró un mapa con la abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis*. La abundancia promedio obtenida a través de la fotografía subacuática fue mayor a la observada en los muestreos extractivos e in situ. En el área de estudio, el sedimento predominante fue del tipo limo/arcilloso, la biomasa de *Diplodon chilensis* no presentó diferencias significativas entre los 5 y 15m de profundidad y, el contenido de materia orgánica aumento a mayor profundidad. Para este lago, el número mínimo de muestras fotográficas hubiese sido suficiente entre 20 y 40. La metodología propuesta es de fácil aplicación y completamente viable para la determinación de abundancia y distribución de esta especie.

Abstract

In some Nord Patagonian lakes such as Llanquihue, Villarrica and Riñihue lakes, which are characterized by being deep, oligotrophic and great transparency, in the last decades a tendency of nutrient increase and the change in trophic associated to the anthropic intervention in the environment has been reported. In order to ensure the protection of water resources, the environmental authority establishes the norms of environmental quality, the Secondary Standard of Lake Villarrica being the first that considers *Diplodon chilensis* as a bioindicator of environmental water quality. This bivalve is endemic to South of America, is frequently found in the lakes and rivers of southern Chile, categorized as vulnerable species regarding conservation status, and is also noted for contributing to the maintenance of the oligotrophic conditions of water bodies. The general objective of this research was to test a non-invasive methodology, using underwater photography through autonomous diving, to determine abundance and spatial distribution of *Diplodon chilensis* in a lake in southern Chile. In addition, the method was compared with the abundance results of two other methods; counting in situ and extractive. The relationship between the predominant substrate type, the biomass of *Diplodon chilensis* and the organic matter content in the sediment was determined and, finally, the minimum size of underwater photographic samples was determined based on the abundance data of the original sample. The technique presented in this work is easy to apply and completely viable, without altering the habitat or the population of *Diplodon chilensis*.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	7
1.1	Estado de conservación de Lagos Nord Patagónicos	7
1.2	Caracterización de <i>Diplodon chilensis</i>	8
1.2.1	Distribución espacial y ciclo de vida de <i>Diplodon chilensis</i>	8
1.2.2	Rol trófico y los efectos de la eutroficación y contaminación sobre las poblaciones de <i>Diplodon chilensis</i>	10
1.2.3	Metodologías utilizadas en el muestreo de <i>Diplodon chilensis</i>	10
1.3	Aplicaciones de la fotografía subacuática georreferenciada	12
1.4	Problemática	14
2	Hipótesis y objetivos	15
2.1	Hipótesis	15
2.2	Objetivos	15
2.2.1	Objetivo general	15
2.2.2	Objetivos específicos	15
3	Materiales y métodos	16
3.1	Área de estudio	16
3.1.2	Características del Lago Tinquilco	17
3.2	Metodología	19
3.2.1	Diseño de trabajo en terreno	19
3.2.2	Determinación de abundancia y distribución espacial de <i>Diplodon chilensis</i> usando fotografía subacuática	20
3.3	Obtención de datos de abundancia de <i>Diplodon chilensis</i> a través de fotografía subacuática, conteo in situ y muestreo extractivo	24
3.4	Obtención y procesamiento de muestras de sedimento	25
3.5	Obtención y procesamiento de muestras de <i>Diplodon chilensis</i>	27
3.6	Determinación del número mínimo de muestras fotográficas subacuáticas	29
3.7	Análisis estadísticos	29

4 Resultados	30
4.1 Determinación de la abundancia y distribución espacial de <i>Diplodon chilensis</i> mediante el uso de la fotografía subacuática	30
4.2 Comparación de abundancia de <i>Diplodon chilensis</i>, obtenida con diferentes métodos ..	33
4.2.1 Fotografía subacuática vs conteo in situ	33
4.2.2 Fotografía subacuática vs muestreo extractivo	35
4.3 Caracterización del sedimento	37
4.4 Peso seco de <i>Diplodon chilensis</i>	40
5 Determinación del número mínimo de muestras fotográficas subacuáticas	42
6 Discusión	44
7 Conclusiones	48
8 Bibliografía	49
ANEXOS	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica de las poblaciones de <i>Diplodon chilensis</i> en lagos a lo largo de Chile	9
Figura 2. Ejemplo de los resultados de la técnica de investigación subacuática. Photo credit: EPA Region 10 Dive Team.....	13
Figura 3. Uso de GPS subacuático para monitoreo cerca de la Isla Ardley, Isla Rey Jorge, en la Antártica.	13
Figura 4. Lago Tinquilco, ubicado en la precordillera andina en la IX Región de la Araucanía, Chile.	16
Figura 5. Imagen satelital del Lago Tinquilco (Google earth).....	17
Figura 6. Mapa batimétrico aproximado del Lago Tinquilco	18
Figura 7 a: Cámara fotográfica y estructura de aluminio con cuadrante en su base, b: Boya con GPS utilizada para realizar el track del muestreo.....	21
Figura 8. Esquema explicativo del trabajo realizado en terreno (imagen: Rodrigo Segovia).....	23
Figura 9. Programa PHOTOIMPACT 12 utilizado para el análisis de muestras fotográficas obtenidas durante las campañas de terreno.....	25
Figura 10. Mufla Thermo SCIENTIFIC Furnace 62700.....	26
Figura 11. tamizador modelo RX-29-10 tipo ROTAP y cribas de 4 mm, 1,4 mm, 710 µm, 355 µm y 63 µm.	27
Figura 12 a: pie de metro. b: balanza digital SARTORIUS TE 412 (d=0,01 g). c: cápsulas de aluminio, d: estufa de secado DAIHAN Lab Tech.	28
Figura 13. Fotografías analizadas con el programa QGIS. En amarillo los individuos contabilizados.	30

Figura 14. Abundancia y distribución espacial de <i>Diplodon chilensis</i> en el sector “playa” del Lago Tinquilco. Los puntos corresponden a foto-cuadrantes georreferenciados.....	31
Figura 15. Abundancia de <i>Diplodon chilensis</i> obtenida mediante muestreos fotográficos y conteo in situ a través de un mismo cuadrante replicado en 24 sitios del área de estudio.....	33
Figura 16. Diagrama de caja y bigotes de los datos del conteo de <i>Diplodon chilensis</i> en las fotográficas subacuáticas y el conteo in situ.	34
Figura 17. Abundancia de <i>Diplodon chilensis</i> obtenida mediante muestreos fotográficos y extractivos a través de un mismo cuadrante replicado en 15 sitios del área de estudio.	35
Figura 18. Diagrama de caja y bigotes de datos del conteo de <i>Diplodon chilensis</i> en las fotográficas subacuáticas y las muestras extractivas.....	36
Figura 19. Sector playa del lago Tinquilco. Círculos negros representan el lugar aproximado donde fueron extraídas las muestras de sedimento.....	38
Figura 20. Diagrama ternario de 5 y 15 metros de profundidad, representa la distribución en porcentaje de tres tipos de sustrato.....	39
Figura 21. Diagrama pesos secos <i>Diplodon chilensis</i> y porcentaje de materia orgánica a 5 y 15 m de profundidad.....	40
Figura 22. Relación entre longitud y peso seco de <i>Diplodon chilensis</i> obtenidos en 5 y 15 m. ...	41
Figura 23. Diagrama de caja y bigotes de 11 grupos de datos de abundancia (ind/m ²) de <i>Diplodon chilensis</i> . Los grupos desde 200 a 20 datos fueron obtenidos aleatoriamente a partir de los datos del muestreo preliminar que corresponde al primer grupo con 230 datos.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Referencias sobre métodos de muestreos extractivos aplicados en <i>Diplodon chilensis</i> .	11
Tabla 2. Parámetros físicos y químicos medidos en el Lago Tinquilco en abril de 2015 (Woelfl y Nimptsch 2015, Informe Técnico lago Tinquilco).	19
Tabla 3. Rango (Mín.- Máx.), promedio y desviación estándar (SD) de las abundancias de <i>Diplodon chilensis</i> obtenidas desde 3 a 15 metros de profundidad a través de foto-cuadrantes (n: número de muestras).	32
Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) de la abundancia de <i>Diplodon chilensis</i> (ind/m ²) obtenida del análisis de muestras fotográficas del sector Playa del Lago Tinquilco.	32
Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) del conteo de <i>Diplodon chilensis</i> a través de muestras fotográficas e in situ.	34
Tabla 6. Rango, promedio y desviación estándar de las abundancias de <i>Diplodon chilensis</i> obtenidas aleatoriamente entre 5 y 15 metros de profundidad a través de foto-cuadrantes.	35
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) del conteo de <i>Diplodon chilensis</i> a través de muestras fotográficas y extractivas.	36
Tabla 8. Rango, promedio y desviación estándar de las abundancias de <i>Diplodon chilensis</i> obtenidas aleatoriamente entre 5 y 15 metros de profundidad a través de foto-cuadrantes.	36
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) de los porcentajes de materia orgánica a 5 y 15m de profundidad.	40
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) de los datos pesos secos promediados de individuos de <i>Diplodon chilensis</i> de igual longitud y diferentes profundidades.	42

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para 11 grupos, de los cuales el primero con 230 datos corresponde al muestreo preliminar y desde 200 a 20 corresponden a datos obtenidos aleatoriamente a partir del total de datos del muestreo preliminar 43

1 Introducción

1.1 Estado de conservación de Lagos Nord Patagónicos

Al sur de Chile y Argentina entre los 39° y 41° S se encuentran los denominados Lagos Araucanos o Nord Patagónicos, los que se caracterizan por ser profundos, monomícticos, temperados, oligotróficos, de gran transparencia, con una baja conductividad y baja diversidad de especies (Geller, 1992; Woelfl, 2007). Sin embargo, en las últimas décadas se ha reportado una tendencia del aumento de nutrientes y de la trofia en algunos lagos como el Llanquihue, Villarrica y Riñihue (Soto & Campos, 1995; Woelfl et. al., 2003). Estos antecedentes indican que los recursos hídricos del Sur de Chile están en peligro de sufrir alteraciones de su trofia asociado a la intervención antrópica en el ambiente (Peredo et al., 2006; Valdovinos & Pedreros 2007). Para proteger los recursos acuáticos y prevenir o remediar la contaminación ambiental en Chile, la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, establece los Instrumentos de Gestión Ambiental, entre ellos, las normas de calidad ambiental. De este modo, para aquellos lagos que cuentan con Norma Secundaria de Calidad Ambiental, el Ministerio del Medio Ambiente dicta el programa de medición y control de la calidad ambiental del agua. Dentro del programa se incluyen áreas de vigilancia “complementarias” donde diversos organismos bentónicos se agrupan en la categoría “bioindicadores” que integran la red de observación. La Norma Secundaria del Lago Villarrica es la primera norma que considera a *Diplodon chilensis* como bioindicador de la calidad ambiental (MMA; SMA, Resolución 671 EXENTA, 2016). Este bivalvo es un organismo endémico del Sur de América y se encuentra frecuentemente en los lagos y ríos del Sur de Chile (Peredo et al., 2012; Valdovinos 2006; Valdovinos & Pedreros 2007).

1.2 Caracterización de *Diplodon chilensis*

En Chile la diversidad de bivalvos de agua dulce se encuentra representada por dos órdenes de bivalvos: Veneroidea y Unionoidea. Los unionoides se encuentran representados solo por la familia Hyriidae y, esta a su vez representada sólo por el género *Diplodon* con una única especie validada: *Diplodon chilensis* (Gray 1828) (Letelier & Ramos, 2003; Parada & Peredo, 2008). Esta especie es la más común en Chile, pudiendo encontrarse en una serie de cuencas hidrográficas incluyendo ambientes lénticos y lóticos (Lara et al., 2002; Peredo et al., 2005), con una distribución en el país que va desde los 34° 58' S a los 46° 37' S (Figura 1) (Parada & Peredo, 2002; Peredo et al., 2012; Valdovinos & Pedreros, 2007).

1.2.1 Distribución espacial y ciclo de vida de *Diplodon chilensis*

Su patrón de distribución espacial es de tipo agregado con densidades que varían de acuerdo al tipo de sustrato (Lara & Parada, 1988), disponibilidad de alimentos (Lara & Parada, 2009), refugio (Lara y Moreno, 1995) y mejores condiciones para el éxito reproductivo (Lara & Parada, 2008). En el Lago Villarrica esta especie presenta diferentes densidades, siendo estas de: 28 ind/m² en sustrato areno pedregoso, 91,5 ind/m² en sustrato arenoso y 361 ind/m² en sustrato fangoso, sin embargo, en el Lago Panguipulli *Diplodon chilensis* prefiere sustratos de arena-grava, ya que las piedras generan espacios y cavidades donde estos organismos se entierran y es más abundante la acumulación y proliferación de alimento-materia orgánica y fitobentos (Lara & Parada, 2008). *Diplodon chilensis* presenta un ciclo reproductivo estacional con una fase larval del tipo gloquidio.

La cual parasita de manera obligada a peces, condición clave para alcanzar el desarrollo y dispersión del grupo en los ecosistemas dulceacuícolas antes de alcanzar el estado bentónico (Semenas & Brugni, 2002).

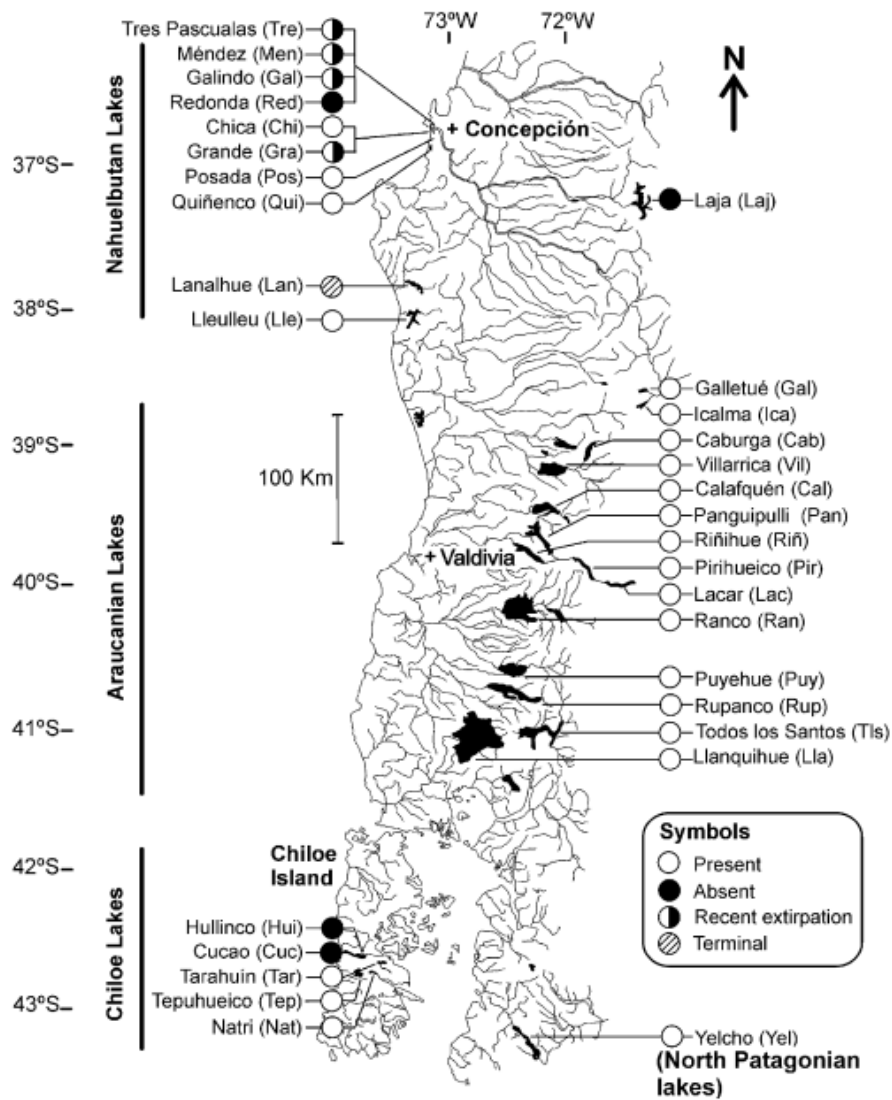


Figura 1. Distribución geográfica de las poblaciones de *Diplodon chilensis* en lagos a lo largo de Chile (Valdovinos & Pedreros 2007).

1.2.2 Rol trófico y los efectos de la eutroficación y contaminación sobre las poblaciones de *Diplodon chilensis*

Varios autores se refieren a los aportes relacionados con aspectos ecológicos de *Diplodon chilensis*, destacándose por contribuir a mantener las condiciones oligotróficas (Lara et al., 2002) y, mejorar la calidad de los cuerpos de agua debido a su gran capacidad de filtración de hasta 1,3 L/h*ind.(Valdovinos & Pedreros, 2007; Soto & Mena 1999), pudiendo llegar a influenciar la abundancia de las comunidades fitoplanctónicas (Lara et al., 2002; Valdovinos & Pedreros, 2007), de esta forma cumple una importante función trófica en los ecosistemas dulceacuícolas del Sur de Chile. Un estudio mediante un método experimental de marcaje y recaptura y otro descriptivo del análisis de los anillos de crecimiento, indican que la esperanza de vida y la tasa de crecimiento de *Diplodon chilensis* se podrían ver influenciadas por las condiciones del ambiente en que se encuentran. De este modo, individuos de ambientes eutróficos tendrían una esperanza de vida más corta y un crecimiento continuo, mientras que individuos de ambientes oligotróficos y de aguas más frías serían más longevos, pero con una baja tasa de crecimiento (Parada et al., 1989). Una relación similar ha sido observada y reportada para otros unionodos, como *Anodonta piscinales* (Haukioja & Hakala, 1978).

1.2.3 Metodologías utilizadas en el muestreo de *Diplodon chilensis*

En las últimas décadas se ha observado un considerable avance respecto al estudio y al estado de conocimiento de la biodiversidad de bivalvos dulceacuícolas (Fuentealba et al., 2010; Parada & Peredo, 2002). Del total de las publicaciones consultadas para la elaboración del presente trabajo, que incluyen a *Diplodon chilensis* en su investigación, un 40% menciona en su metodología un muestreo extractivo a través de buceo autónomo, un 40% menciona un muestreo

extractivo, pero no se detalla ni describe la forma en que se realizó la extracción y un 20% de las publicaciones corresponden a revisiones bibliográficas (ver Tabla 1). Según la literatura, es evidente que el estudio de bivalvos dulceacuícolas está vinculado estrechamente a la intervención del hábitat donde se encuentran estos animales.

Tabla 1. Referencias sobre métodos de muestreos extractivos aplicados en *Diplodon chilensis*.

Publicaciones	Muestreo extractivo		
	Buceo	No especifica	No corresponde
Fuentealba et al., 2010		x	
Haukioja & Hakala, 1978		x	
Jacob et al, 2011		x	
Lara & Moreno, 1995	x		
Lara & Parada, 1988	x		
Lara & Parada, 2008	x		
Lara & Parada, 2009	x		
Lara et al., 2002		x	
Letelier et al., 2003			x
Muñoz et al., 2009			x
Parada & Peredo, 2002			x
Parada et al., 1989		x	
Parada et al., 1990		x	
Parada et al., 2008	x		
Peredo et al.,2005		x	
Peredo et al.,2006	x		
Semenas & Brugni, 2002	x		
Soto & Mena, 1999		x	
Valdovinos & Pedreros, 2007	x		
Valdovinos, 2006			x

Sin embargo existen otros métodos no invasivos utilizados para estudios de organismos bentónicos y pelágicos como, por ejemplo; censos visuales realizados por buzos para el monitoreo de peces y hábitats submarinos principalmente en áreas marinas protegidas (Pelletier, 2011), imágenes de sonar para la creación de mapas bentónicos de escala fina (Kendall, 2005),

video-transectos para cartografiar el hábitat del fondo (Grizzele et al., 2008) y, fotografía subacuática utilizada para la ubicación de objetos o áreas de interés entre otros, (Siwiec et al., 2008).

1.3 Aplicaciones de la fotografía subacuática georreferenciada

Trabajos de investigación que se realicen mediante faenas de buceo para inspeccionar un área y obtener muestras de organismos bentónicos o fotografías para análisis posteriores, presentan el inconveniente de no poder registrar con precisión donde fueron tomadas esas fotos bajo el agua (Siwiec et al., 2008) debido a que los satélites utilizados por los sistemas de posicionamiento global (GPS) transmiten una onda de radio de alta frecuencia (1.575,42 MHz) que puede penetrar una capa muy delgada de agua, por lo que no son útiles en aplicaciones subacuáticas (Schories & Niedzwiedz, 2012). Sin embargo, existen diversas formas de abordar la problemática de la localización geográfica subacuática y, el sistema más simple utilizado es una boya que contiene un GPS que es remolcada por un buzo sobre el equipo de buceo y va registrando las posiciones a lo largo de la inmersión (Siwiec et al., 2008) o una boya que contiene un receptor GPS o antena, que es remolcada por un buzo y utiliza un cable o fibra para enviar la posición de la boya al GPS que se encuentra dentro de un carcasa sumergible que lleva el buzo bajo del agua. Este sistema se llama comúnmente falso GPS subacuático ya que no localiza el móvil bajo el agua, sólo la boya (King, 2004). Por último, la información del GPS se relaciona con la información de las fotos digitales que dan lugar a las fotos digitales georreferenciadas, las que se pueden ver en un mapa para el análisis posterior del ambiente bentónico (Figura 2 y 3).



Figura 2. Ejemplo de los resultados de la técnica de investigación subacuática. Photo credit: EPA Region 10 Dive Team (Siwiec et al., 2008).

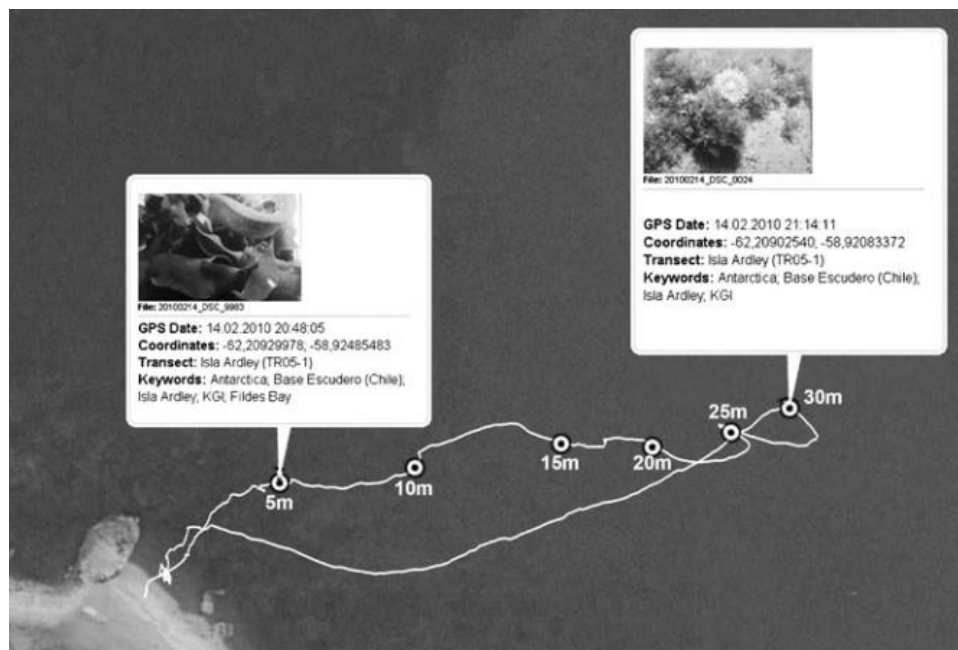


Figura 3. Uso de GPS subacuático para monitoreo cerca de la Isla Ardley, Isla Rey Jorge, en la Antártica (Schories & Niedzwiedz, 2012).

1.4 Problemática

Las actividades agropecuarias y antropogénicas contribuyen a la contaminación de los cuerpos de agua a escala global (Graeber et al., 2015). La urbanización, la fragmentación del hábitat, y el aumento de la eutroficación, entre otros, provocan la declinación de las poblaciones de *Diplodon chilensis* y de peces nativos que son muy importantes para el desarrollo y dispersión de estos bivalvos (Campos et al., 1998; Peredo et al., 2006; Semenas & Brugni, 2002; Valdovinos & Pedreros, 2007), por lo que actualmente es considerada una especie en peligro (Valdovinos & Pedreros, 2007). En los últimos años se ha observado un notable interés por la investigación de bivalvos dulceacuícolas (Fuentealba et al., 2010; Parada & Peredo, 2002) especialmente sobre *Diplodon chilensis* que, además, es considerado un potencial bioindicador de eutroficación de los lagos que cuentan con Norma Secundaria de Calidad Ambiental (Lagos Villarrica, Llanquihue). En base a los antecedentes recopilados de la literatura (Tabla 1), el muestreo extractivo con fines científicos tiene el potencial de disminuir las poblaciones de *Diplodon chilensis* y, si se integran todos los factores de contaminación y los muestreos contemplados en la Norma Secundaria, la presión sobre estas poblaciones será cada vez mayor, lo que contradice la idea de proteger la especie, considerando su estado de conservación vulnerable, por lo tanto, el desarrollo de una metodología de muestreo, a través del buceo autónomo, que se base en la observación por sobre la extracción de estos especímenes es necesaria. A partir de esto, el presente trabajo busca desarrollar una metodología, no invasiva, rápida, de fácil aplicación y precisa para generar datos representativos de abundancia y distribución espacial de las poblaciones de *Diplodon chilensis*.

2 Hipótesis y objetivos

2.1 Hipótesis

La fotografía subacuática a través del buceo autónomo, es una técnica no invasiva, rápida y suficientemente precisa para estimar abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* en lagos del sur de Chile.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Poner a prueba una metodología no invasiva, utilizando la fotografía subacuática a través de buceo autónomo, para estimar abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* en el Lago Tinquilco del sur de Chile.

2.2.2 Objetivos específicos

1. Determinar la abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* mediante fotografía subacuática.
2. Comparar los datos de abundancia de *Diplodon chilensis* obtenidos a través de fotografía subacuática con datos obtenidos a través de métodos tradicionales como conteo in situ y muestreo extractivo.
3. Determinar si existe una relación entre el tipo de sustrato y la materia orgánica de este con la biomasa de *Diplodon chilensis*.
4. Determinar el número mínimo de muestras fotográficas subacuáticas.

3 Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

El Lago Tinquilco (Figura 4) está localizado en la precordillera andina, en la IX Región de la Araucanía ($39^{\circ} 10' 00''$ S ; $71^{\circ} 43' 25''$ O), específicamente en el Parque Nacional Huerquehue muy próximo al Lago Caburga. Se encuentra a una altitud de 763 msnm. y recibe el aporte de muchos pequeños arroyos desde las montañas. Uno de estos arroyos llamado también Tinquilco, es el efluente de una red de al menos tres lagos situados en lo alto de dichas montañas, estos son Chico, Toro y Verde, los que están conectados entre sí por pequeños esteros (De Los Ríos et al., 2007). Los lagos altoandinos son sistemas acuáticos oligotróficos (De Los Ríos et al., 2007), cuya importancia radica en su condición de pristinidad y su baja contaminación.

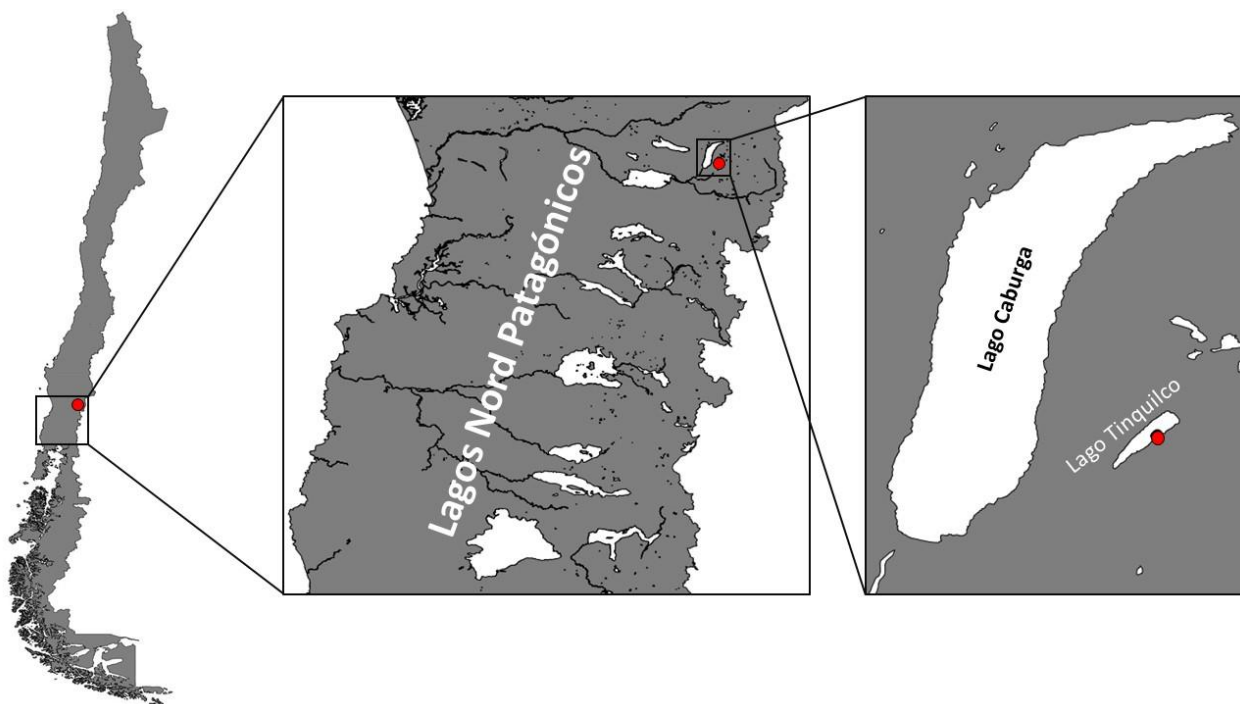


Figura 4. Lago Tinquilco, ubicado en la precordillera andina en la IX Región de la Araucanía, Chile.

3.1.2 Características del Lago Tinquilco

La información existente sobre el Lago Tinquilco es escasa, sin embargo, de la literatura disponible se puede inferir que este lago es oligotrófico y de baja productividad mostrando un estado no contaminado por nutrientes (De los Rios et al., 2007; Steinhart et al., 2012 ; Urrutia et al., 2012).



Figura 5. Imagen satelital del Lago Tinquilco (Google earth).

En abril de 2015, investigadores de la Universidad Austral de Chile elaboraron un informe sobre la calidad de agua del Lago Tinquilco (Woelfl y Nimptsch 2015, Informe Técnico Lago Tinquilco) a petición del Comité de Protección y Desarrollo Sustentable de Tinquilco, donde se realizó un muestreo para determinar el estado trófico del Lago Tinquilco, obtener antecedentes sobre su batimetría y estimar la capacidad de carga de nutrientes.

En base al trabajo realizado se elaboró el primer mapa batimétrico aproximado del Lago Tinquilco (Figura 6). El lago tiene una profundidad máxima de ~ 26 m, una superficie de ~ 0,9 km² y un volumen de ~ 10,81 x 10⁶ m³. Presenta una alta transparencia y una zona eufótica casi hasta el fondo.

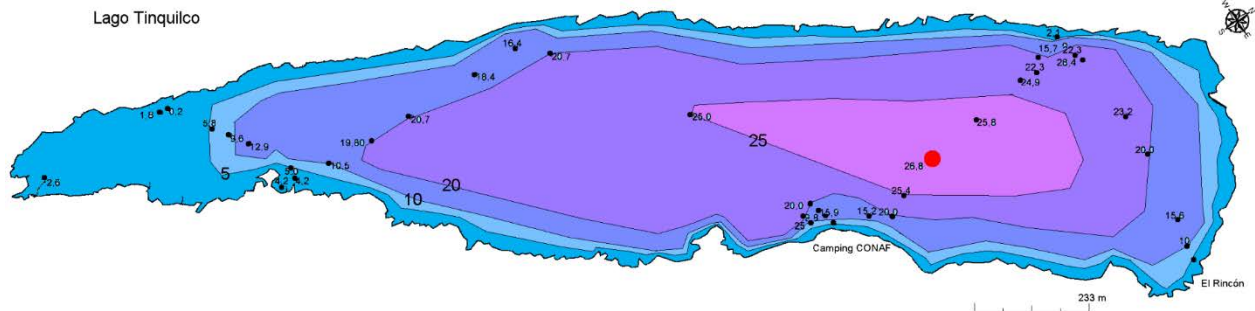


Figura 6. Mapa batimétrico aproximado del Lago Tinquilco, el punto rojo indica el sitio de muestreo de la columna de agua (Woelfl y Nimptsch 2015, Informe Técnico lago Tinquilco)

La cantidad de clorofila a y las concentraciones de P y N (Tabla 2) indican que es un lago poco productivo que se caracteriza como oligotrófico. Sin embargo, las concentraciones de fósforo total (7 y 8 µg P/L) indican un ingreso levemente mayor de lo esperado. Un lago prístino debiera tener concentraciones de P menores a 5 µg/L.

Tabla 2. Parámetros físicos y químicos medidos en el Lago Tinquilco en abril de 2015 (Woelfl y Nimptsch 2015, Informe Técnico lago Tinquilco).

Prof. (m)	T (C)	pH	Cond. (μ S/cm)	O ₂ (mg/L)	N-NH ₄ μ g/L	N-NO ₃ μ g/L	N-NO ₂ μ g/L	N-TOTAL μ g/L	P_PO ₄ μ g/L	P-TOTAL μ g/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

3.2 Metodología

3.2.1 Diseño de trabajo en terreno

Entre fines de verano y en otoño de 2016, se realizaron tres campañas de terreno al Lago Tinquilco con distintos objetivos. La primera de ellas fue el 4 de marzo de 2016, donde se realizó una prospección del lugar mediante inmersiones de buceo en apnea en distintos puntos de la costa Este del lago, para corroborar la presencia de *Diplodon chilensis* y escoger un área apropiada donde realizar el trabajo de investigación. La segunda campaña se desarrolló entre el 19 y 23 de marzo de 2016 en la que se eligió como lugar de estudio el sector “playa” del Lago, por presentar condiciones para los muestreos y buena accesibilidad. Allí se realizó una nueva prospección, esta vez mediante buceo autónomo, para observar la distribución espacial de *Diplodon chilensis* y la profundidad máxima a la que era posible observarlo, para después continuar con la toma de muestras fotográficas y realizar el track del muestreo. Además, se obtuvieron datos de abundancia de *Diplodon chilensis* a través de fotografía subacuática, conteo in situ y muestreos

extractivos. Por último, la tercera campaña se realizó el 31 de mayo de 2016 y su objetivo fue la obtención de muestras de *Diplodon chilensis* y de sustrato a 5 y 15m de profundidad.

3.2.2 Determinación de abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* usando fotografía subacuática

La toma de muestras fotográficas subacuáticas se realizó con dos cámaras fotográficas (NIKON D300 y Canon PowerShot G15), ambas equipadas con carcasa sumergible, cada cámara fue fijada sobre una estructura de aluminio de base rectangular muy liviana y fácil de manipular bajo el agua. La base de la estructura fue utilizada como cuadrante (Figura 7 a, cámara NIKON D300). Las dimensiones del cuadrante utilizado con la cámara NIKON D300 fue de 30 x 39 cm y para la cámara Canon PowerShot G15 fue de 46 x 32,5 cm. El número de individuos de *Diplodon chilensis* contabilizados por muestra fotográfica se expresó en individuos por metro cuadrado (ind/m^2) para los análisis realizados en este trabajo (Anexo 2). Para realizar el track del muestreo, se utilizó una boya a la que se le incorporó un GPS GARMIN GPS map 62 (Figura 7 b).

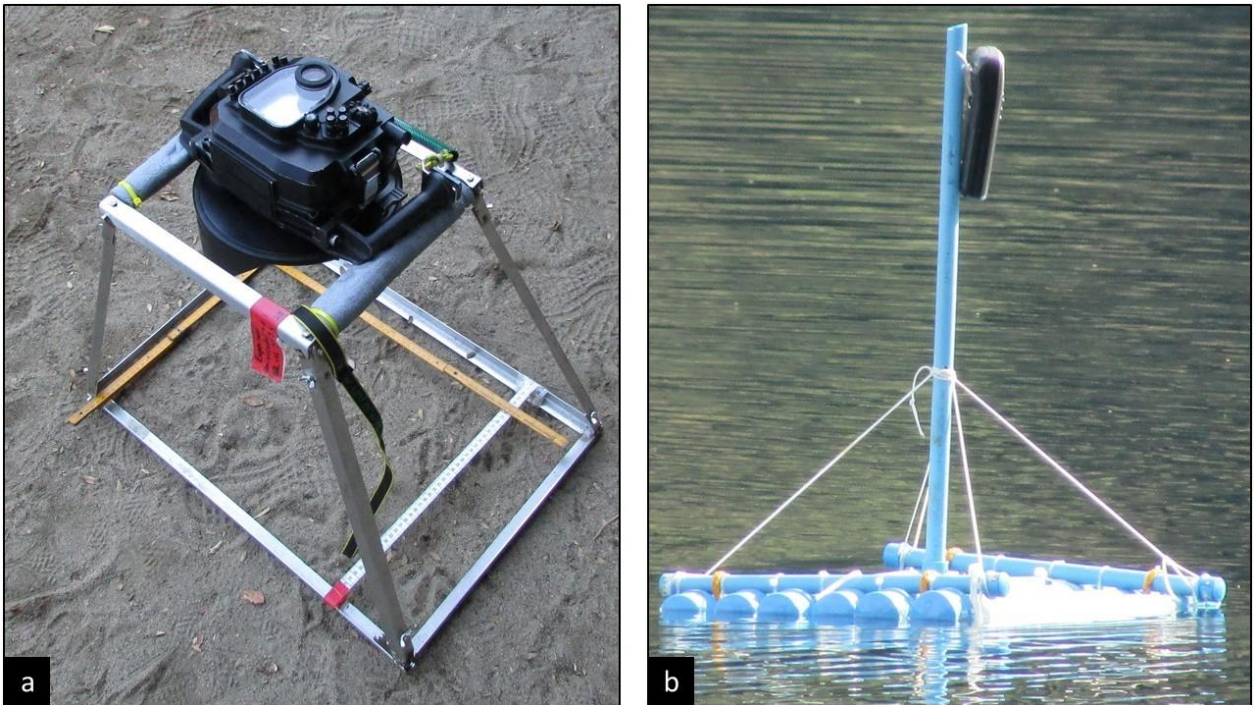


Figura 7 a: Cámara fotográfica y estructura de aluminio con cuadrante en su base, **b:** Boya con GPS utilizada para realizar el track del muestreo.

Para realizar el muestreo fotográfico se necesitó la participación de dos buzos con equipos de buceo autónomo, el primer buzo (B1) fue el responsable de las capturas fotográficas y el segundo buzo (B2) de la manipulación de la boya con GPS. Antes de la inmersión, el GPS debió ser configurado para marcar un punto cada 10 segundos y su fecha y hora se sincronizó con la de la cámara. Una vez listos para el trabajo, B1 se sumerge a la profundidad máxima donde es posible encontrar a *Diplodon chilensis*, seguido de B2 que lo hará a una profundidad menor, la que dependerá de la profundidad a la que se encuentre trabajando B1, de esta forma B2 podrá observar la posición y el desplazamiento de B1 y manipular la boya con GPS a través de una cuerda (Figura 8). A medida que B1 va realizando capturas fotográficas en transectos paralelos a la costa, B2 se sitúa exactamente sobre B1 para realizar el track del muestreo. Con las coordenadas geográficas y datos obtenidos de individuos por foto-cuadrante, se elaboró un mapa

con el software QGIS de la distribución y abundancia de *Diplodon chilensis* en el área de estudio, pero antes, las coordenadas geográficas fueron convertidas de grados sexagesimales a grados decimales.

Los sistemas de localización geográficos (GPS) determinan la ubicación de un punto usando el sistema de grados sexagesimales que consiste en 3 grupos de valores: Grados, Minutos y Segundos, siendo el método tradicional usado en los mapas. Sin embargo, para programas y aplicaciones de mapas en la red, como por ejemplo QGIS, es necesario convertir la localización de grados sexagesimales a grados decimales, donde se separa la parte entera de la fraccionaria con una coma y se transforman los minutos y segundos en números decimales.

Ejemplo:

$$(39^{\circ} 9' 59.91'' \text{ S}) = (39 + (9 / 60) + (59.91 / 3600)) = 39,16664167$$

$$(71^{\circ} 43' 30.20'' \text{ O}) = (71 + (43 / 60) + (30.20 / 3600)) = 71,72505556$$

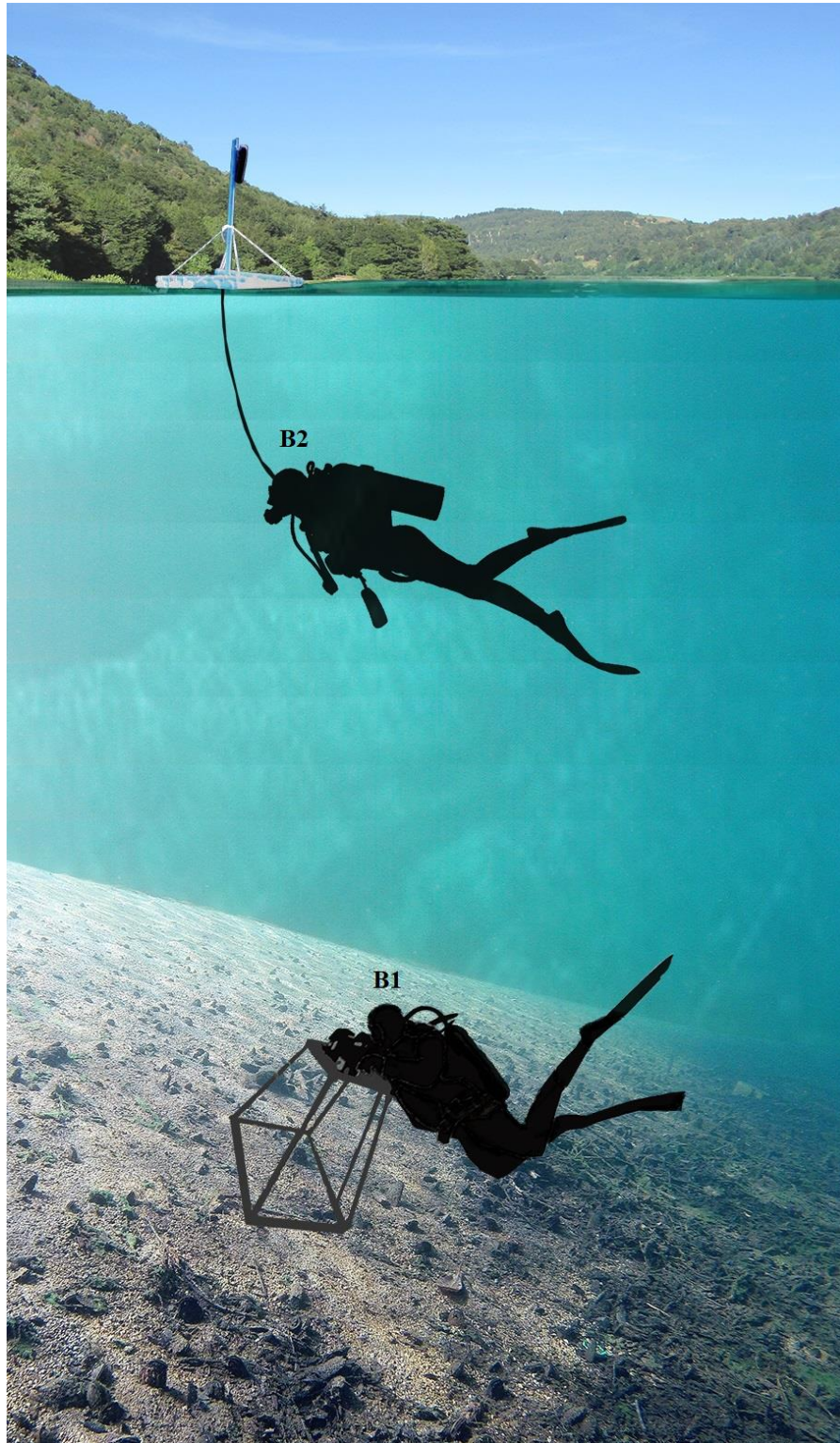


Figura 8. Esquema explicativo del trabajo realizado en terreno (imagen: Rodrigo Segovia)

3.3 Obtención de datos de abundancia de *Diplodon chilensis* a través de fotografía subacuática, conteo in situ y muestreo extractivo

Con el objetivo de proponer la fotografía subacuática como un método eficiente para la determinación de la abundancia (densidad) de *Diplodon chilensis*, se obtuvieron datos de abundancia a través de fotografía subacuática, conteo in situ y muestreo extractivo. Primero se realizaron los métodos fotográfico y conteo in situ, para ello se escogieron 24 puntos al azar entre los 5 y 15 m de profundidad. En cada punto de muestreo, el cuadrante y la cámara fotográfica se posicionaron cuidadosamente para evitar la resuspensión de sedimento y se realizaron 3 fotografías, de las cuales posteriormente se seleccionó la más nítida para ser analizada en el programa editor de imágenes PHOTOIMPACT 12 (Figura 9) y, a continuación, se realizó el conteo de los individuos (in situ) dentro del cuadrante y el registro de la abundancia se hizo en una tabla de acrílico.

Luego se realizaron los métodos fotográfico vs extractivo, donde se escogieron 15 puntos al azar entre los 5 y 15 m de profundidad para la realización de los muestreos (en cada punto se tomó una muestra fotográfica y una extractiva). Primero se realizó el muestreo fotográfico bajo las mismas condiciones y cuidados mencionados anteriormente y, luego se continuó con el muestreo extractivo que consistió en la extracción total de los individuos de *Diplodon chilensis* dentro del cuadrante, los que fueron colocados dentro de bolsas herméticas rotuladas para su posterior cuantificación en superficie, una vez realizado el conteo de los individuos extraídos, fueron retornados al lago.

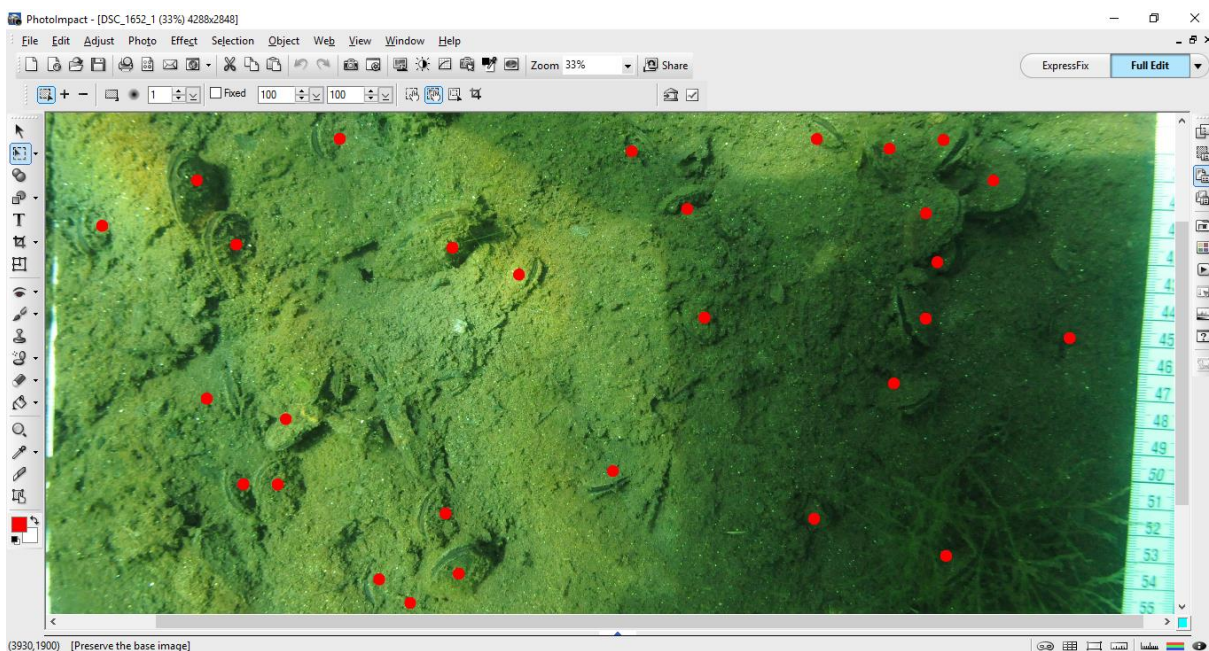


Figura 9. Programa PHOTOIMPACT 12 utilizado para el análisis de muestras fotográficas obtenidas durante las campañas de terreno.

3.4 Obtención y procesamiento de muestras de sedimento

Se extrajo un total de 25 muestras de sedimento mediante un core de 500 cc en transectos paralelos a la costa a 2 diferentes profundidades, 15 muestras a los 5 m de profundidad y 10 muestras a los 15 m de profundidad¹, de acuerdo al protocolo de Lara & Parada (1988). Cada muestra fue almacenada en bolsas herméticas previamente rotuladas y transportadas en coolers al laboratorio de Limnología y Química de aguas del Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas

¹ Por falta de aire en las botellas de buceo autónomo durante el trabajo en terreno, no se pudo extraer un igual número de muestras de sedimento en ambas profundidades.

de la Universidad Austral de Chile. Cada muestra fue homogenizada y, una vez que decantó el sedimento más fino de la muestra, se le extrajo el sobrenadante a través de un sifón para después ser colocadas en bandejas de aluminio previamente pesadas y rotuladas. Luego fueron llevadas a una estufa de secado DAIHAN Lab Tech a 100°C por 48 horas para obtener el peso seco, a continuación, todas las muestras fueron llevadas a una mufla Thermo SCIENTIFIC Furnace 62700 (Figura 10) a 550°C por 5 horas para determinar la materia orgánica contenida en cada muestra, la que se obtuvo por diferencia de paso antes y después del muflado. Por último, las muestras de sedimentos mufladas fueron transportadas al laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos de la Universidad Católica de Temuco, donde fueron procesadas en un tamizador modelo RX-29-10 tipo ROTAP (Figura 11) con cribas de 4 mm, 1,4 mm, 710 μm , 355 μm y 63 μm para separar su contenido en grava, arena gruesa, arena fina, arena muy fina, limo y arcilla respectivamente. Una vez tamizadas las muestras, fueron pesadas por tipo de sustrato en una balanza digital SARTORIUS para obtener los respectivos porcentajes, los que fueron utilizados para elaborar un diagrama ternario (Castaño 1994) y determinar el tipo de sedimento.



Figura 10. Mufla Thermo SCIENTIFIC Furnace 62700.



Figura 11. tamizador modelo RX-29-10 tipo ROTAP y cribas de 4 mm, 1,4 mm, 710 μm , 355 μm y 63 μm .

3.5 Obtención y procesamiento de muestras de *Diplodon chilensis*

Se extrajeron un total de 200 muestras al azar de *Diplodon chilensis* en transectos paralelos a la costa a 2 diferentes profundidades, 100 individuos a los 5 m de profundidad y 100 individuos a los 15 m de profundidad, los que fueron trasladados en un cooler con agua a una temperatura entre 14 y 16°C al laboratorio de Limnología y Química de aguas del Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas de la Universidad Austral de Chile, donde se midió su longitud (eje mayor del cuerpo del animal) con un pie de metro KARSON 6''150 mm (Figura 12 a) y se registró el peso húmedo de cada individuo con una balanza digital SARTORIUS (Figura 12 b), luego, las valvas y carne de cada individuo fueron depositadas por separado en cápsulas de papel

aluminio (Figura 12 c) previamente pesadas y rotuladas, las que fueron llevadas a una estufa de secado DAIHAN Lab Tech (Figura 12 d) a 70°C por 48 horas para obtener el peso seco de cada individuo.



Figura 12 a: pie de metro. **b:** balanza digital SARTORIUS TE 412 ($d=0,01$ g). **c:** cápsulas de aluminio, **d:** estufa de secado DAIHAN Lab Tech.

3.6 Determinación del número mínimo de muestras fotográficas subacuáticas

Para determinar el número mínimo de muestra, se realizó el siguiente procedimiento: De un total de 230 muestras fotográficas analizadas, que corresponden al n total de muestras utilizadas en la presente investigación, se obtuvo el número de individuos por metro cuadrado en cada una de ellas. Para determinar el número mínimo de muestras a partir del n total, se formaron 10 grupos escogidos aleatoriamente entre 200 y 20 muestras (cada grupo con 20 muestras menos que el anterior) a través de la fórmula de Excel:

$$= ALEATORIO.ENTRE(inferior; superior)$$

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) al grupo de datos y se elaboró un diagrama de caja y bigotes para observar diferencias o similitudes entre la media de los grupos.

3.7 Análisis estadísticos

Para comparar las medias de las diferentes variables incluidas en este estudio (abundancia, tipo de sedimento y porcentaje de materia orgánica en el sedimento), mediante el software estadístico R, se aplicó primeramente un test Kolmogorov-Smirnov para verificar la normalidad de los datos y posteriormente un test de ANOVA o Kruskal-Wallis según el cumplimiento o no los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los datos.

4 Resultados

4.1 Determinación de la abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* mediante el uso de la fotografía subacuática

Del análisis de fotografías subacuáticas (foto-cuadrante, Figura 13) y de sus coordenadas geográficas obtenidas a través del GPS, se obtuvieron datos de abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* a diferentes profundidades. Con esta información se elaboró un mapa (Figura 14) de abundancia y distribución espacial con el software QGIS 2.0.1.

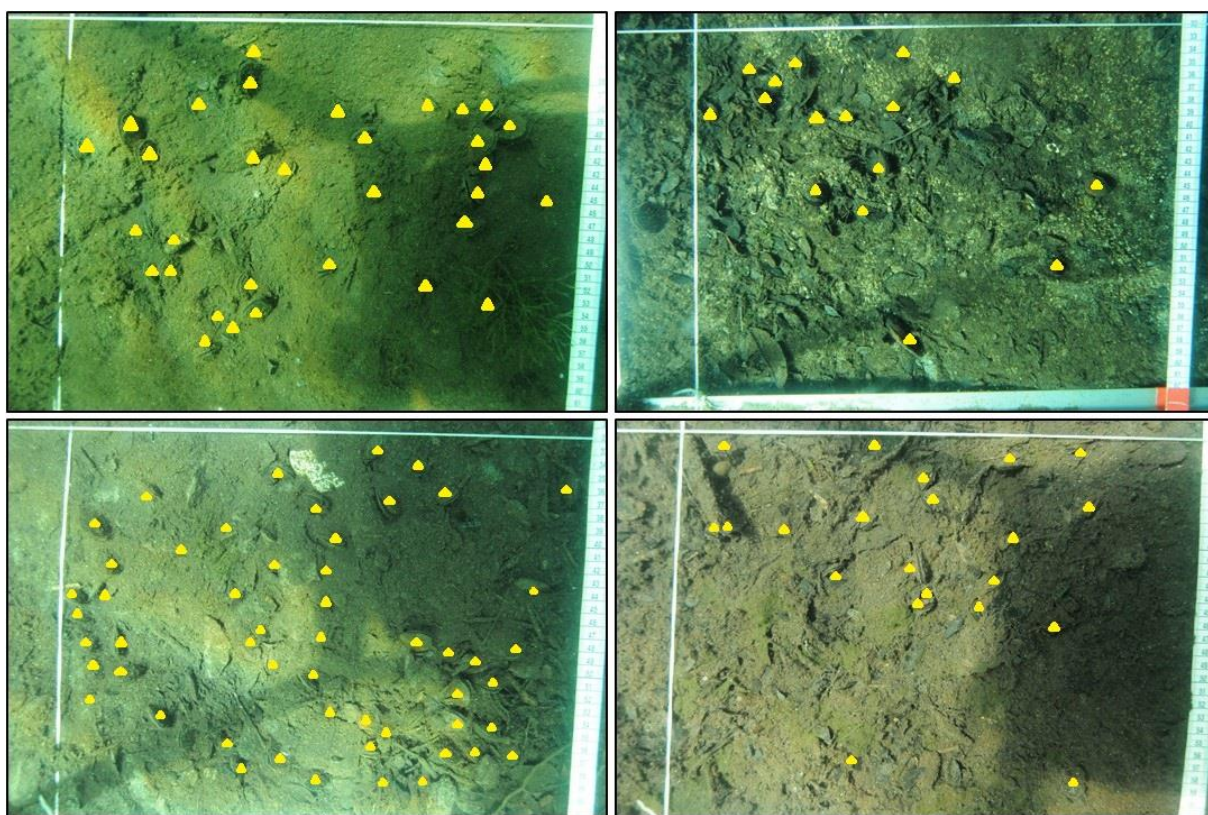


Figura 13. Fotografías analizadas con el programa QGIS. En amarillo los individuos contabilizados.

La cantidad de individuos contabilizados por foto-cuadrante fueron expresados como individuos por m² (ver tabla en Anexo 2) y se agruparon en rangos de: 0; 1-100; 101-200; 201-300; 301-400 y 401-500.

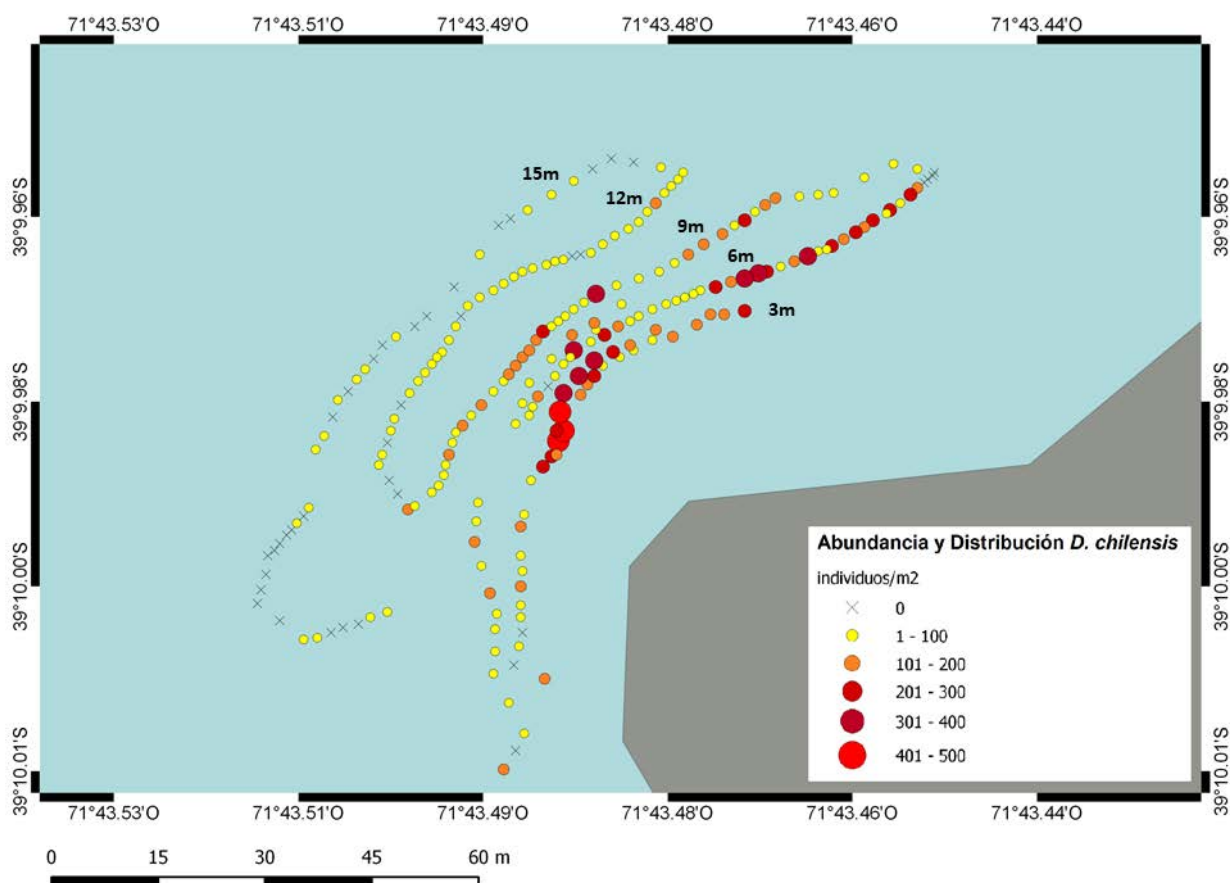


Figura 14. Abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis* en el sector “playa” del Lago Tinquilco. Los puntos corresponden a foto-cuadrantes georreferenciados.

En la figura 14 se representa espacialmente la distribución y abundancia de *Diplodon chilensis* en el área de estudio. En esta se observa una disminución de la abundancia a medida que aumenta la profundidad con valores que varían desde 453,2 a 51,3 ind/m² desde los 3 a los 15m respectivamente, con una media de $155,5 \pm 125$ ind/m² a 3 metros de profundidad, mientras

que a 15 metros de profundidad este valor es ~ 26 veces menor (Tabla 3). Entre los 3 y 9 metros se observa una disminución de la abundancia media de *Diplodon chilensis* en un 22% aproximadamente (103,3 ind/m²) y, entre los 3 y 15 m de profundidad una disminución de un 88% aproximadamente (51,3 ind/m²) en comparación con lo encontrado a los 3m de profundidad. Esta disminución de la abundancia entre las diferentes profundidades es altamente significativa (P <<0,01) (Tabla 4).

Tabla 3. Rango (Mín.- Máx.), promedio y desviación estándar (SD) de las abundancias de *Diplodon chilensis* obtenidas desde 3 a 15 metros de profundidad a través de foto-cuadrantes (n: número de muestras).

Profundidad	n	Mín	Máx	Promedio	SD
3m	42	0	453,2	155,6*	125,0
6m	61	0	376,2	103,3*	106,4
9m	49	0	350,6	87,9*	70,0
12m	39	0	102,6	24,3*	22,4
15m	39	0	51,3	5,9*	10,4

(*) Diferencias estadísticamente significativas (p << 0,01)

Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) de la abundancia de *Diplodon chilensis* (ind/m²) obtenida del análisis de muestras fotográficas del sector Playa del Lago Tinquilco.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	610809	4	152702	21,76	<< 0,01
Dentro de los grupos	1579188	225	7019		
Total	2189997	229			

4.2 Comparación de abundancia de *Diplodon chilensis*, obtenida con diferentes métodos

A continuación, se muestran los resultados de la comparación de los datos de abundancia de *Diplodon chilensis* obtenidos del análisis de fotografías subacuáticas, con datos de abundancia obtenidos a través de conteos in situ y muestreos extractivos.

4.2.1 Fotografía subacuática vs conteo in situ

La relación de los datos de abundancia obtenidos a través de ambos métodos (Figuras 15 y 16), presentan diferencias significativas ($p = 0,004$) (Tabla 5). A través del método conteo in situ se observa una abundancia promedio de 136,75 ind/m² la que corresponde a un ~ 30% menor a la observada en el conteo fotográfico (202,99) (Tabla 6). En relación a las abundancias mínimas y máximas, la mayor diferencia se observó entre los valores máximos, donde esta alcanzó casi el 100%.

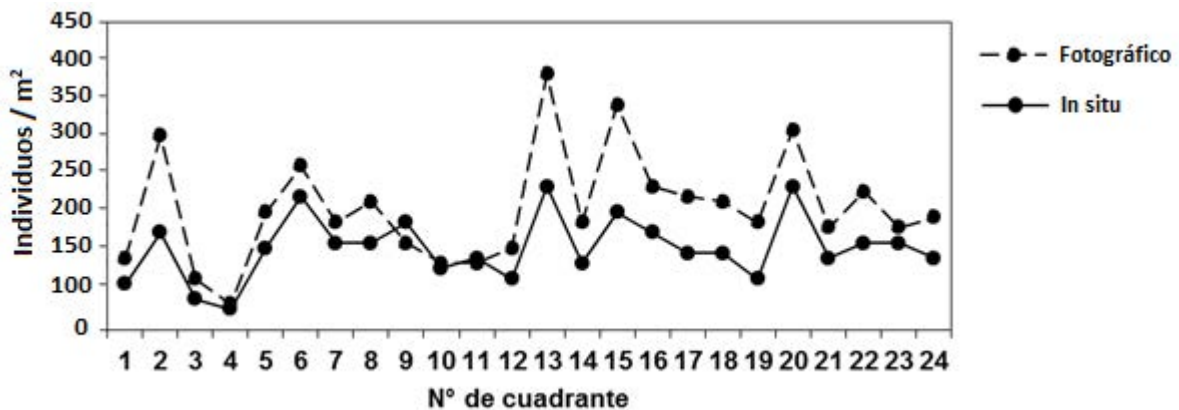


Figura 15. Abundancia de *Diplodon chilensis* obtenida mediante muestreos fotográficos y conteo in situ a través de un mismo cuadrante replicado en 24 sitios del área de estudio.

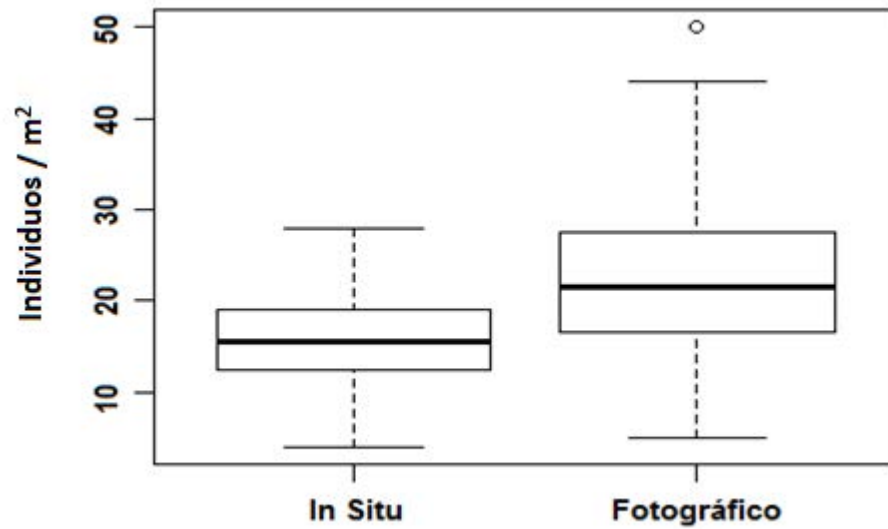


Figura 16. Diagrama de caja y bigotes de los datos del conteo de *Diplodon chilensis* en las fotografías subacuáticas y el conteo in situ.

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) del conteo de *Diplodon chilensis* a través de muestras fotográficas e in situ.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	52651	1	52651	9,33	0,004
Dentro de los grupos	259660	46	5644		
Total	312312	47			

Tabla 6. Rango, promedio y desviación estándar de las abundancias de *Diplodon chilensis* obtenidas aleatoriamente entre 5 y 15 metros de profundidad a través de foto-cuadrantes.

Método	n	Mín	Máx	Promedio	SD
Fotográfico	24	42,74	427,35	202,99	92,03
In situ	24	34,18	239,31	136,75	53,11

4.2.2 Fotografía subacuática vs muestreo extractivo

La relación de los datos de abundancia obtenidos a través de ambos métodos (Figura 17), no presentan diferencias significativas ($p = 0,39$) (Tabla 7). A través del método de conteo extractivo se observa una abundancia promedio de 188,18 ind/m² la que corresponde a un ~ 15% menor a la observada en el conteo fotográfico (221,63) (Tabla 8). En relación a las abundancias mínimas y máximas, la mayor diferencia se observó entre los valores máximos, alcanzando un ~ 28 %.

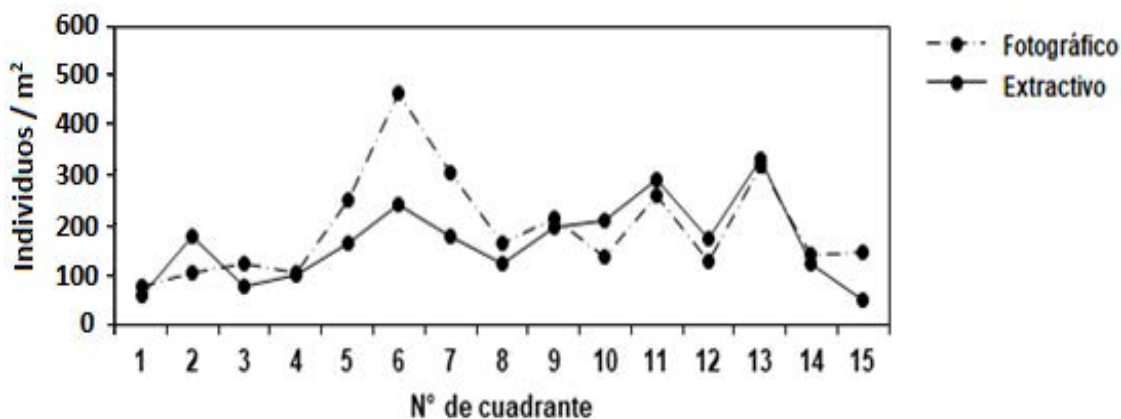


Figura 17. Abundancia de *Diplodon chilensis* obtenida mediante muestreos fotográficos y extractivos a través de un mismo cuadrante replicado en 15 sitios del área de estudio.

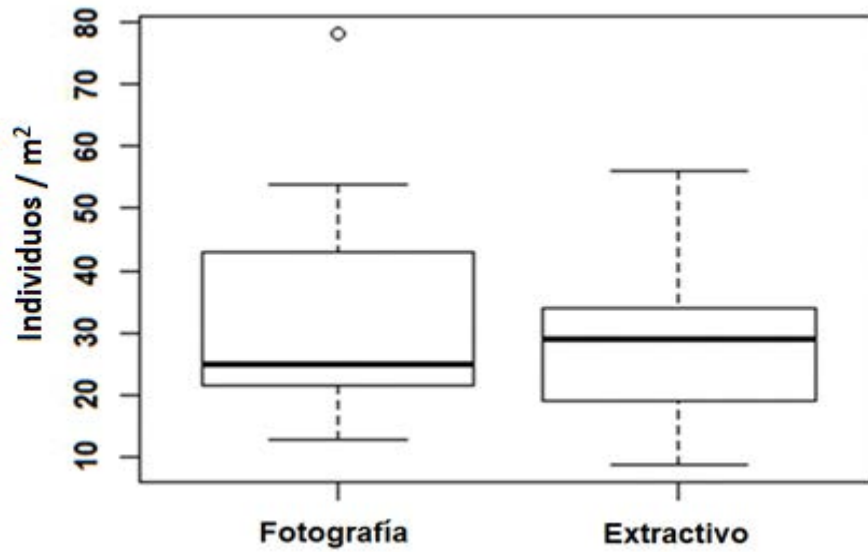


Figura 18. Diagrama de caja y bigotes de datos del conteo de *Diplodon chilensis* en las fotográficas subacuáticas y las muestras extractivas.

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) del conteo de *Diplodon chilensis* a través de muestras fotográficas y extractivas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	8389	1	8389	0,75	0,39
Dentro de los grupos	312817	28	11172		
Total	321206	29			

Tabla 8. Rango, promedio y desviación estándar de las abundancias de *Diplodon chilensis* obtenidas aleatoriamente entre 5 y 15 metros de profundidad a través de foto-cuadrantes.

Método	n	Min	Max	Promedio	SD
Fotográfico	15	86,95	521,74	221,63	118,39
Extractivo	15	60,2	374,58	188,18	91,26

4.3 Caracterización del sedimento

Las muestras de sedimento obtenidas en los distintos puntos de muestreo a profundidades de 5 y 15 m, se caracterizaron de acuerdo a los porcentajes de las distintas fracciones (i.e. grava, arena gruesa, arena fina, arena muy fina, limo y arcilla), a lo largo de los transectos recorridos (Figura 19). Se registró un aumento en el sustrato del tipo *Limo/arcilloso* conforme aumenta la profundidad del lago, con valores que varían de un 64 - 82% entre los 5 y 15m de profundidad respectivamente (Figura 20). Esto, a diferencia de lo ocurrido con los sustratos del tipo *Arena fina/Arena muy fina* y *Grava/Arena gruesa*, los que presentaron una disminución de su contenido al aumentar la profundidad, registrándose un 21% y 15% a los 5 m de profundidad y un 16% y 2% a los 15 m de profundidad respectivamente. El tipo de sustrato más abundante encontrado en términos porcentuales en ambas profundidades, es del tipo *Limo / Arcilloso* (Figura 20).

Los resultados de materia orgánica registrado en las muestras de sedimento indican que el mayor porcentaje promedio fue de 20% a los 15 metros de profundidad, mientras que a los 5 metros de profundidad fue de un 13% (Figura 21) Se observan una diferencia significativa ($p = 0,05$) (Tabla 9) entre los contenidos de materia orgánica obtenidos de las muestras de sedimento a diferentes profundidades con valores promedio de 514,47 g/m² y 600,47 g/m² a los a 5m y 15m de profundidad respectivamente (Anexo 8).

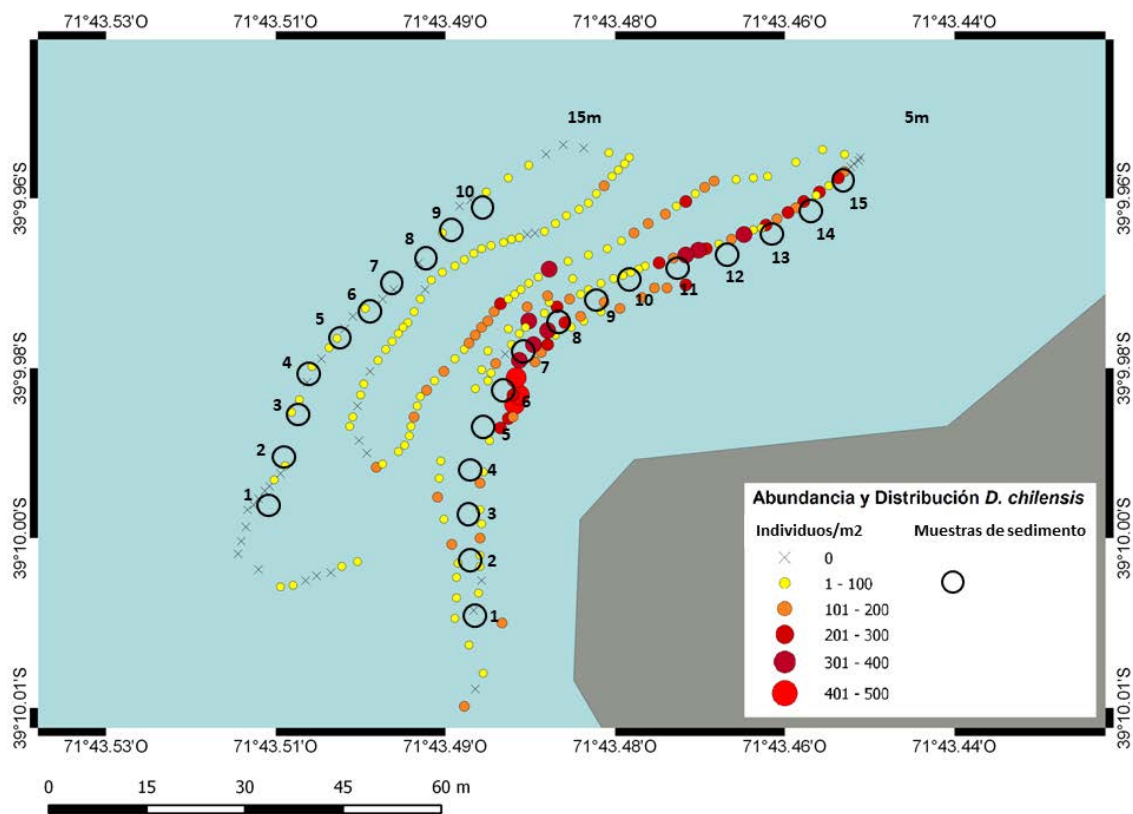


Figura 19. Sector playa del Lago Tinquilco. Círculos negros representan el lugar aproximado donde fueron extraídas las muestras de sedimento.

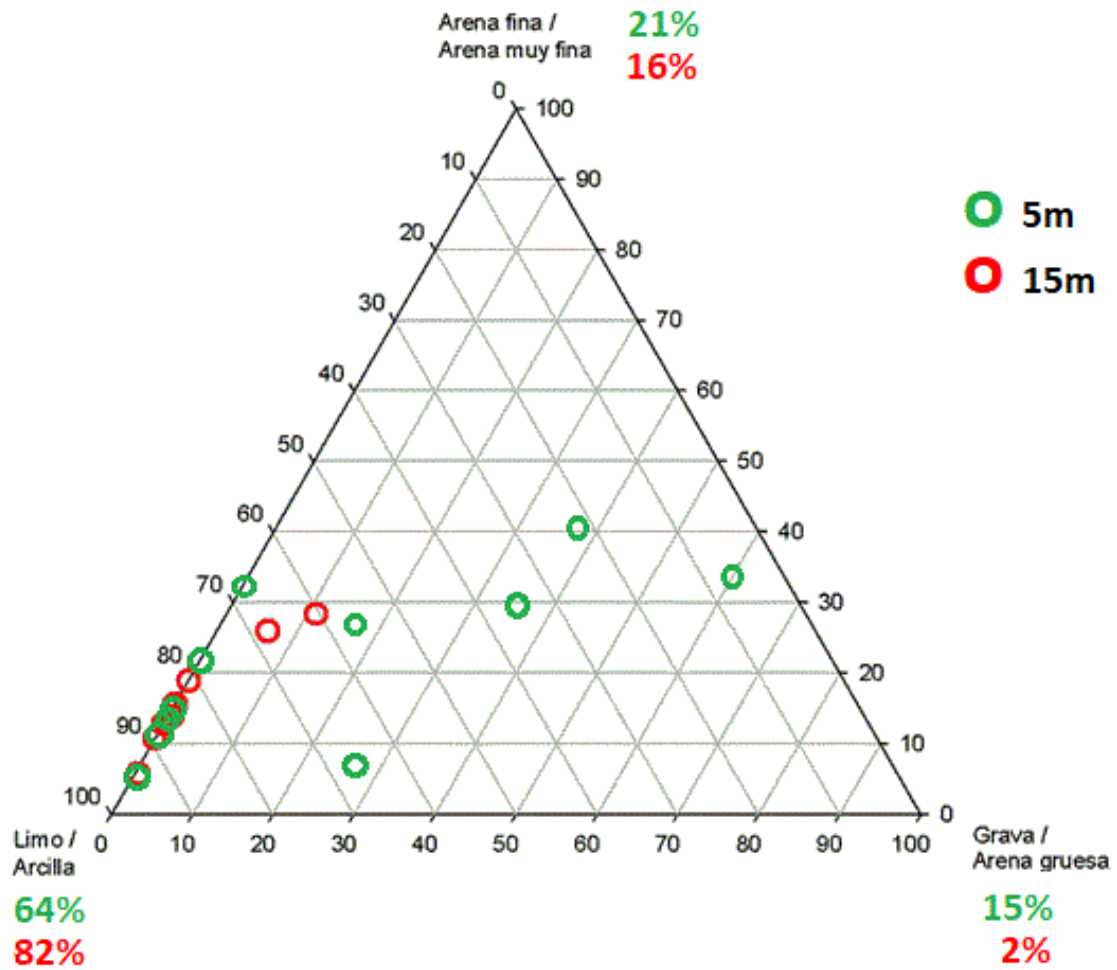


Figura 20. Diagrama ternario de 5 y 15 metros de profundidad, representa la distribución en porcentaje de tres tipos de sustrato.

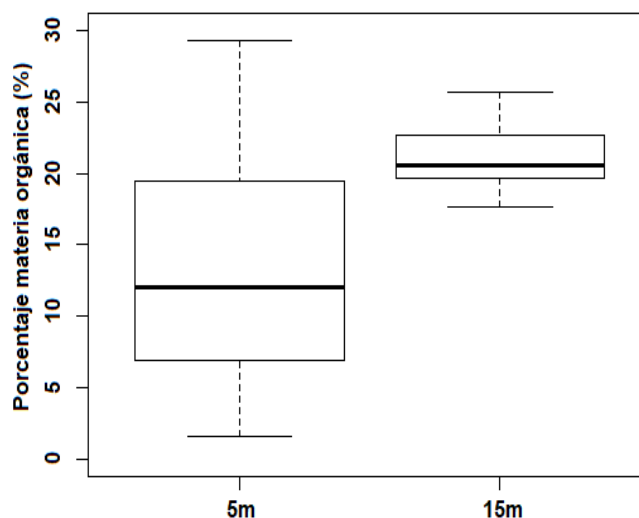


Figura 21. Diagrama pesos secos *Diplodon chilensis* y porcentaje de materia orgánica a 5 y 15 m de profundidad.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) de los porcentajes de materia orgánica a 5 y 15m de profundidad.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	235	1	235	4,28	0,05
Dentro de los grupos	1041	19	55		
Total	1275	20			

4.4 Peso seco de *Diplodon chilensis*

De la relación de pesos secos (valvas y tejidos blandos) promediados entre individuos de igual longitud a diferentes profundidades se procedió a realizar una regresión exponencial obteniendo un R^2 de 0,9677 para las muestras a 5 m de profundidad y un R^2 de 0,9056 para las

muestras de 15 m de profundidad (Figura 22). El análisis de varianza indica que no se observan diferencias significativas ($p = 0,7$) entre las dos profundidades muestreadas (Tabla 10). La diferencia entre las potencias de la relación peso total seco y longitud (i.e. 2,4133 a 5m y 2,1335 a 15m) sugiere una tendencia a mayor gordura de individuos a profundidades de 5m, lo que significa que, a mayor longitud, el peso correspondiente aumenta más en individuos ubicados a 5m que a 15m de profundidad.

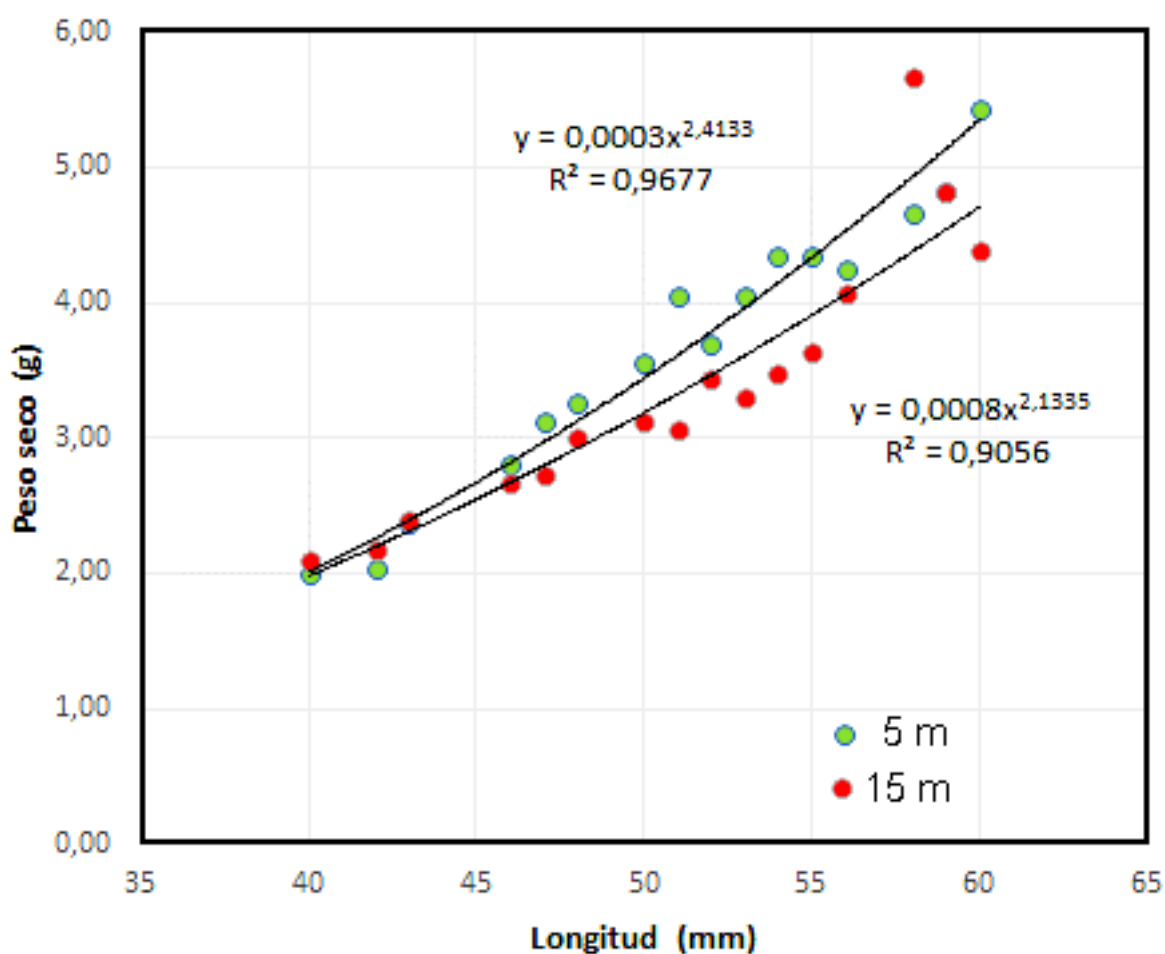


Figura 22. Relación entre longitud y peso seco de *Diplodon chilensis* obtenidos en 5 y 15 m.

Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) de los datos pesos secos promediados de individuos de *Diplodon chilensis* de igual longitud y diferentes profundidades.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	0	1	0	0,15	0,70
Dentro de los grupos	36	31	1		
Total	36	32			

5 Determinación del número mínimo de muestras fotográficas subacuáticas

El número mínimo de muestras fotográficas estandarizados por m², según el análisis realizado (Figura 23) indica que no existen diferencias significativas ($p = 0,99$) entre las medias de los grupos con distinto número de muestras (Tabla 11). De lo anterior se puede determinar que el número mínimo de muestras, según este método, para determinar la abundancia de *Diplodon chilensis* varía entre los 20 y 40 muestras fotográficas. Cabe mencionar que el número de outliers aumenta a mayor número de muestras (Figura 23).

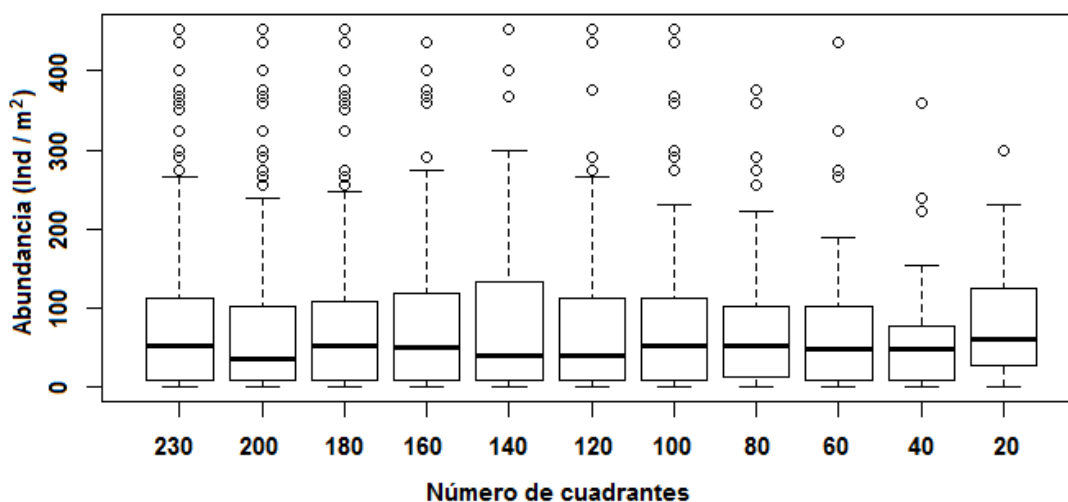


Figura 23. Diagrama de caja y bigotes de 11 grupos de datos de abundancia (ind/m²) de *Diplodon chilensis*. Los grupos desde 200 a 20 datos fueron obtenidos aleatoriamente a partir de los datos del muestreo preliminar que corresponde al primer grupo con 230 datos.

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para 11 grupos, de los cuales el primero con 230 datos corresponde al muestreo preliminar y desde 200 a 20 corresponden a datos obtenidos aleatoriamente a partir del total de datos del muestreo preliminar.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	9530	10	953	0,10	0,99
Dentro de los grupos	12277013	1308	9386		
Total	12286544	1318			

6 Discusión

A través de la metodología propuesta, los análisis fotográficos permitieron la elaboración detallada de un mapa con la abundancia, distribución vertical y horizontal de *Diplodon chilensis* en el Lago Tinquilco. En este trabajo se demuestra que la utilización de la técnica de la fotografía subacuática es completamente viable y permite ver que la distribución espacial de *Diplodon chilensis* es agregada (Figura 14 y Tabla 3). Esta observación coincide con lo reportado por Lara & Parada (1988), en relación a que la distribución espacial de *Diplodon chilensis* en el Lago Villarrica es agregada.

En un comienzo no se tenía certeza de la viabilidad de la fotografía subacuática como método para la estimación de la abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis*, sin embargo, es importante mencionar que el análisis de las muestras fotográficas subacuáticas resultó ser exitoso ya que los individuos se pudieron observar fácilmente, debido a que se distinguen claramente partes de sus tejidos blandos como sifones y parte del manto. Además, estos bivalvos evitan grandes acumulaciones de desechos orgánicos como hojas y ramas, lo que facilita su identificación. No obstante, este método se ve limitado por la visibilidad (i.e. claridad del agua) y la presencia de vegetación acuática que dificulta la identificación y cuantificación de algunos individuos. Estas limitaciones fueron reportadas por Grizzle et al. (2008) en estudios de mapeo de bancos de ostras mediante técnicas de fotografía/video subacuático con geolocalización.

El muestreo fotográfico tiene la ventaja de que se puede obtener una gran cantidad de muestras en pocas horas, sin embargo, el análisis de las fotografías implica más tiempo, debido a que se debe tener precaución en identificar a todos los individuos dentro del foto-cuadrante,

principalmente a aquellos que se encuentran enterrados casi completamente. El tiempo destinado al análisis de las fotografías subacuáticas es relativo y depende del número de individuos que se observen en las muestras, por lo que se podría estimar un tiempo aproximado de 10 minutos por imagen.

Uno de los aspectos importantes al momento de utilizar este método de muestreo, es que no se realiza la extracción de los bivalvos, evitando la intervención del hábitat y reduciendo los efectos negativos sobre sus poblaciones, considerando además, que es una especie cuyo estado de conservación es vulnerable. Teniendo en cuenta que la norma secundaria del lago Villarrica, que utiliza *Diplodon chilensis* como bioindicador de calidad de aguas, no implica una extracción definitiva de los organismos que son devueltos al lago, sin embargo, la extracción de los organismos ya podría ser considerado una intervención de hábitat.

Actualmente en Chile, no se han realizado trabajos de investigación donde se utilice la fotografía subacuática para la estimación de la abundancia y la distribución espacial de organismos bentónicos en ambientes límnicos. Sin embargo, en los últimos años, a nivel global, se han desarrollado una gran cantidad de metodologías no invasivas para el estudio de los ambientes acuáticos poco profundos (hasta 30 metros de profundidad aproximadamente), principalmente marinos, como la elaboración de mapas bentónicos a través del uso de sonar para la identificación y protección de comunidades bentónicas y peces (Kendall et al., 2005), censos visuales, videotransectos y fotografía subacuática para la identificación y cuantificación de macrofauna y hábitats subacuáticos (Grizzle et al., 2008; Pelletier et al., 2011; Adams, 2010; Siwiec, 2008).

Para justificar el uso de la fotografía subacuática georreferenciada como método, se evaluó la relación de los datos de abundancia obtenidos a través del análisis de muestras fotográficas con los del conteo in situ y del muestreo extractivo. Para la relación de los muestreos fotográfico e in situ, se observaron diferencias significativas ($p = 0,004$) pero no para la relación de los muestreos fotográfico y extractivo ($p = 0,39$). En el primer caso, la diferencia se puede atribuir a que el tiempo del que se dispone bajo el agua, para contabilizar a los individuos dentro del cuadrante, es muy reducido si se compara con el del análisis fotográfico y, mientras más individuos se encuentren por muestra, el error del conteo tiende a ser mayor (Figura 16).

En el segundo caso (muestreo fotográfico y extractivo) el resultado esperado era contabilizar un número igual o mayor de individuos en comparación con el registro fotográfico, sin embargo, se contabilizaron en promedio menos individuos. Esta diferencia se puede atribuir a que al momento de la extracción total de *Diplodon chilensis* dentro del cuadrante, la re-suspensión del sedimento fue tan alta (sustrato limo/arcilloso), que el procedimiento todas las veces se realizó con visibilidad nula, lo que claramente afecta el resultado final. Un claro ejemplo de esto fue el registro de abundancia obtenido en la muestra número 6, que arrojó un 47% más de individuos. La diferencia es muy grande, lo que podría llevar a un error considerable si la finalidad es determinar la abundancia de estos organismos aplicando este método en este tipo de sustrato. Para este tipo de ambientes, donde el sustrato predominante es muy fino, el conteo in situ no es conveniente, hay sesgo.

Los resultados de esta investigación indican que el sustrato predominante, en ambas profundidades, es del tipo limo/arcilloso y que la abundancia de este bivalvo en el área de estudio, disminuye conforme aumenta la profundidad, contrario a lo que ocurre con el contenido

de materia orgánica presente en el sedimento, que aumenta a mayor profundidad con valores promedio de 514,47 g/m² y 600,47 g/m² a los a 5m y 15m de profundidad respectivamente. Por otro lado, la biomasa de individuos de igual longitud y de diferentes profundidades, no presentó diferencias significativas ($p = 0,7$), pero se observa una tendencia a mayor gordura de los individuos a 5m de profundidad en comparación con los individuos a 15m de profundidad. Esta tendencia se ve acentuada en organismos de mayor longitud.

El Lago Tinquilco presenta grandes concentraciones de oxígeno disuelto desde la superficie hasta los 25 m ($> 8,5$ mg/L). Las concentraciones de fósforo total (7,0 – 8,2 $\mu\text{g/L}$) están por sobre los valores indicadores de un lago prístino (menor a 5 $\mu\text{gP/L}$) (Woelfl & Nimptsch, 2015), las concentraciones de clorofila a fueron en general bajos (< 1 $\mu\text{g/L}$) siendo homogéneas (0,5-0,6 $\mu\text{g/L}$) en el epilímnion para después mostrar una marcado peak en la termoclina (1,1 $\mu\text{g/L}$). Estos valores son típicos para lagos poco productivos (oligotróficos). Sin embargo, estos parámetros no explican la distribución espacial y abundancia de *Diplodon chilensis*, donde se esperaría una mayor abundancia y gordura en las profundidades con mayor concentración de clorofila y % materia orgánica (i.e. 15 m de profundidad), lo cual hace necesario investigar otros factores que expliquen la distribución de esta especie de bivalvo de agua dulce.

Los análisis estadísticos mostraron que en este lago hubiese sido suficiente obtener entre 20 y 40 muestras fotográficas, según lo expresado en los resultados de la determinación del número mínimo de muestras (Figura 23), pero con este numero reducido de muestras, se pierden los datos (valores atípicos) que en la práctica definen la distribución altamente heterogénea reportada para las poblaciones de *Diplodon chilensis*. Es probable que en otros sitios donde las

condiciones son diferentes, por ejemplo; pendiente, % materia orgánica, tipo de sustrato, etc. el tamaño mínimo de muestras no represente la abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis*. Existen métodos estadísticos para determinar el tamaño mínimo de muestras, donde el número de muestras, la desviación estándar y el error estándar son fundamentales para realizar estas aproximaciones (Martella et al., 2012; Suchs, 1984). Considerando el alto tiempo de análisis de las fotografías, sería ideal lograr el mínimo de muestras posibles con el cual se pueda obtener un valor de abundancia de *Diplodon chilensis* que refleje lo que se encuentra en el lugar de muestreo. Sin embargo, considerando la heterogeneidad de las variables físico-químicas de diferentes lagos, se recomienda realizar muestreos preliminares en diferentes lagos y sitios de los mismos, para validar esta técnica y poder presentarla como una eficaz herramienta de monitoreo a las autoridades ambientales.

7 Conclusiones

1. La fotografía subacuática es una herramienta eficaz para la determinación de la abundancia y distribución espacial de *Diplodon chilensis*.
2. La comparación de los datos de abundancia de *Diplodon chilensis* obtenidos a través de fotografía subacuática con datos obtenidos a través de conteo in situ y muestreo extractivo muestran que existen diferencias significativas al comparar el muestreo in situ con el método fotográfico, pero no existen diferencias significativas entre el muestreo extractivo y el método fotográfico. Las diferencias encontradas al comparar los métodos de muestreo in situ con el fotográfico son atribuibles a una limitante de tiempo de buceo.

3. Según los datos obtenidos no se encontró una relación directa entre el tipo de sustrato y la materia orgánica de éste con la biomasa de *Diplodon chilensis*.
4. De acuerdo a los cálculos realizados, el número mínimo de muestras fotográficas subacuáticas necesarias para estimar la abundancia y distribución de *Diplodon chilensis* está en el rango de 20 a 40 muestras fotográficas.
5. Se puede concluir que la metodología no invasiva presentada en este trabajo es de fácil aplicación y los datos obtenidos se acercan de una mejor manera al promedio de abundancia en este tipo de ambientes, en comparación a las técnicas de conteo in-situ y extractivas.

8 Bibliografía

- Adams N (2010). Procedures for conducting underwater searches for invasive mussels (*Dreissena* sp.): U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1308, 44 p.
- Campos H, Dazarola G, Dyer B, Fuentes L, Gavilán JF, Huaquín L, Ruiz VH (1998). Categorías de conservación de peces nativos de aguas continentales de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)*, 47, 101-122.
- Castaño S (1994). Mecánica de los diagramas ternarios: aplicación en el diagrama de clasificación de las rocas ígneas de Streckeisen. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12(3), 406-411.
- De los Ríos P, Hauenstein E, Acevedo P, Jaque X (2007). Littoral crustaceans in mountain lakes of Huerquehue National Park (38 S, Araucania region, Chile). *Crustaceana*, 80(4), 401-410.

- Fuentealba C, Figueroa R, González F, Palma M (2010). Variabilidad genética local del bivalvo dulceacuícola *Diplodon chilensis* (Gray 1828) proveniente de tres lagos Nahuelbutanos. *Gayana (Concepción)*, 74(2), 113-124.
- Fuentealba C, Henriquez O (2009). Rol de las poblaciones de *Diplodon chilensis* (Gray, 1828) (Bivalvia: Hyriidae) en el estado trófico de la Laguna Chica de San Pedro (Chile). *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay*, 9(92).
- Geller W (1992). The temperature stratification and related characteristics of Chilean lakes in midsummer. *Aquatic Sciences-Research Across Boundaries*, 54(1), 37-57.
- Grandón MA, Barros JA & González RR (2008). Caracterización metabólica de *Diplodon chilensis* (Gray, 1828) (Bivalvia: Hyriidae) expuesto a anoxia experimental. *Revista de biología marina y oceanografía*, 43(3), 531-537.
- Grizzle RE, Brodeur MA, Abeels HA, Greene JK (2008). Bottom habitat mapping using towed underwater videography: subtidal oyster reefs as an example application. *Journal of Coastal Research*, 103-109.
- Haukioja E, Hakala T (1978, January). Measuring growth from shell rings in populations of *Anodonta piscinalis* (Pelecypoda, Unionidae). In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 60-65). Finnish Academy of Sciences, Societas Scientiarum Fennica, Societas pro Fauna et Flora Fennica and Societas Biologica Fennica Vanamo.
- Jacob DE, Wirth R, Soldati AL, Wehrmeister U, Schreiber A (2011). Amorphous calcium carbonate in the shells of adult Unionoida. *Journal of structural biology*, 173(2), 241-249.
- Kendall MS, Jensen OP, Alexander C, Field D, McFall G, Bohne R, Monaco ME (2005). Benthic mapping using sonar, video transects, and an innovative approach to accuracy assessment:

- a characterization of bottom features in the Georgia Bight. *Journal of Coastal Research*, 1154-1165.
- King JD (2004). *U.S. Patent No. 6,791,490*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Lara G, Parada E (1988). Distribución espacial y densidad de *Diplodon chilensis* (Gray, 1828) en el Lago Villarrica (39°18'S; 72°05'W). *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*, 59, 105-114.
- Lara G, Moreno C (1995). Efectos de la depredación de *Aegla abtao* (Crustacea, Aeglidae) sobre la distribución espacial y abundancia de *Diplodon chilensis* (Bivalvia, Hyriidae) en el Lago Panguipulli, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 68, 123-129.
- Lara G, Contreras A, Encina F (2002). La almeja de agua dulce *Diplodon chilensis* (Bivalvia: Hyriidae) potencial biofiltro para disminuir los niveles de coliformes en pozos: Experimento de laboratorio. *Gayana (Concepción)*, 66(2), 113-118.
- Lara G, Parada E (2008). Mantención del patrón de distribución espacial, densidad y estructura de tamaños de la almeja de agua dulce *Diplodon chilensis* Gray, 1828 (Bivalvia: Hyriidae) en el Lago Panguipulli, Chile. *Gayana (Concepción)*, 72(1), 45-51.
- Lara G, Parada E (2009). Substrate selection by the freshwater mussel *Diplodon chilensis* (Gray, 1828): field and laboratory experiments. *Journal of Molluscan Studies*, 75(2), 153-157.
- Letelier S, Vega MA, Ramos AM, Carreño E (2003). Base de datos del Museo Nacional de Historia Natural: moluscos de Chile. *Revista de Biología Tropical*, 51(3), 33-50.
- Martella MB, Trumper EV, Bellis LM, Renison D, Giordano PF, Bazzano G, Gleiser RM (2012). Manual de Ecología. Evaluación de la biodiversidad. *Reduca (Biología)*, 5(1).
- Muñoz H, Palma R, Torrijos R (2009). Incorporación de bioindicadores en la norma secundaria de calidad de agua para el lago Villarrica. Preparado por subcomisión técnica -

bioindicadores proceso normativo NSCA Iago Villarrica. Hernán, CONADI Rodrigo Palma, SAG.

(www.sinia.cl/1292/articles-51209_TomoIII_1000_1109.pdf).

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (2010). Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas del Lago Llanquihue. Decreto 122.

(<http://www.leychile.cl/N?i=1014239&f=2010-06-04&p=>).

Ministerio del Medio Ambiente (2013). Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica. Decreto 19.

(<http://www.leychile.cl/N?i=1055224&f=2013-10-16&p=>).

Ministerio del Medio Ambiente; Superintendencia del Medio Ambiente (2016). Programa de medición y control de la calidad ambiental del agua para las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica. Resolución 671 exenta.

(<https://www.leychile.cl/N?i=1093000&f=2016-07-27&p=>).

Parada E, Peredo S, Cárdenas S, Valdebenito I, Peredo M (2008). *Diplodon chilensis* Gray, 1828 (Bivalvia: Hyriidae) A potential residual waters depurator on inland wáter salmonid fish-farms: A laboratory scale study. *Gayana*, 72(1), 68-78.

Parada E, Peredo S, Lara G, Valdebenito I (1989). Growth, age and life span of the freshwater mussel *Diplodon chilensis chilensis* (Gray, 1828). *Archiv für Hydrobiologie*, 115(4), 563-573.

Parada E, Peredo S, Gallardo C (1990). Tácticas reproductivas y dinámica poblacional de *Diplodon chilensis* (Gray, 1828)(Bivalvia: Hyriidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, 63, 23-35.

- Parada E, Peredo S (2002). Estado actual de la taxonomía de bivalvos dulceacuícolas chilenos: progresos y conflictos. *Revista chilena de historia natural*, 75(4), 691-701.
- Parada E, Peredo S, Cárdenas S, Valdebenito I, Peredo M (2008). *Diplodon chilensis* Gray, 1828 (Bivalvia: Hyriidae) un potencial depurador de aguas residuales de piscicultura de salmonidos de aguas continentales: Un estudio a escala de laboratorio. *Gayana (Concepción)*, 72(1), 68-78.
- Pelletier D, Leleu K, Mou-Tham G, Guillemot N, Chabanet P (2011). Comparison of visual census and high definition video transects for monitoring coral reef fish assemblages. *Fisheries Research*, 107(1), 84-93.
- Peredo S, Parada E, Valdebenito I, Peredo M (2006). Effect of aerial exposure on physiological condition and survival of *Diplodon chilensis* (Bivalvia: Hyriidae) during translocation. *Malacologia*, 49(1), 217-221.
- Peredo S, Parada E, Valdebenito I, Peredo M (2005). Relocation of the freshwater mussel *Diplodon chilensis* (Hyriidae) as a strategy for its conservation and management. *Dev. Biol*, 191, 69-83.
- Schories D, Niedzwiedz G (2012). Precision, accuracy, and application of diver-towed underwater GPS receivers. *Environmental monitoring and assessment*, 184(4), 2359-2372.
- Semenas L, Brugni N (2002). Características poblacionales y ciclo de vida de *Diplodon chilensis* (d'Orbigny, 1835) (Hyriidae, Bivalvia) en el lago Gutiérrez (Patagonia, Argentina). *Ecología austral*, 12(1), 29-40.
- Siwec T, Sheldrake S, Hess A, Thompson D, Macchio L, Duncan PB (2008). Survey Technique for Underwater Digital Photography with Integrated GPS Location Data.

- Soto D, Mena G (1999). Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture*, 171(1), 65-81.
- Soto D, Campos H (1995). Revista Chilena Historia Natural 75: 377-393. Los lagos oligotróficos del bosque templado húmedo del sur de Chile (Oligotrophic lakes in the temperate rain forest of southern Chile). In: Armesto JJ, MK Arrollo & C Villagrán (eds) Ecología de los bosques nativos de Chile: 317-333. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Steinhart GS, Likens GE, Soto D (2002). Physiological indicators of nutrient deficiency in phytoplankton in southern Chilean lakes. *Hydrobiologia*, 489(1), 21-27.
- Urrutia J, Rivera R, Hauenstein E, De los Ríos P (2012). Modelos nulos para explicar asociaciones de macrófitas en ambientes lénticos de la región de La Araucanía, Chile. *Phyton (Buenos Aires)*, 81(1), 7-13.
- Valdovinos C (2006). Invertebrados dulceacuícolas. Conama, Eds. Biodiversidad de Chile.
- Valdovinos C, Pedreros P (2007). Geographic variations in shell growth rates of the mussel *Diplodon chilensis* from temperate lakes of Chile: Implications for biodiversity conservation. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 37(1), 63-75.
- Woelfl S (2007). The distribution of large mixotrophic ciliates (*Stentor*) in deep North Patagonian lakes (Chile): first results. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 37(1), 28-36.
- Woelfl S, Nimptsch J (2015). Informe sobre calidad de agua del Lago Tinquilco. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 25 p.
- Woelfl S, Villalobos L, Parra O (2003). Trophic parameters and method validation in Lake Rinihue (North Patagonia: Chile) from 1978 through 1997. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(3), 459-474.

ANEXOS

Anexo 1 Propuesta bioindicadores

001000

Propuesta

INCORPORACIÓN DE BIOINDICADORES EN LA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DE AGUA PARA EL LAGO VILLARRICA.

Preparado por subcomisión técnica - bioindicadores proceso normativo NSCA lago Villarrica

Hernán Muñoz, CONADI
Rodrigo Palma, SAG
Ricardo Torrijos, SERNAPESCA
Ana Maria Prado, Seremi de Salud

001003

Tabla 1.- Características de los potenciales grupos utilizados como bioindicadores en la NSCALV (* grupo seleccionado)

Grupo	Taxón	Características Grupo	Discriminante
Animales Bentónicos	Crustáceos	Decápodos y Anfípodos son grupos que responden a presencia de materia orgánica (polífagos) en zona litoral y que se caracterizan por poseer un amplio rango de tolerancia, por lo tanto bajo poder predictor para un ambiente oligotrófico	*No hay suficiente información científica (abundancia, distribución y diversidad) de estos grupos que respalde su uso como bioindicador.

001004

2.- Valores de calidad usando bioindicadores.

Para cada grupo de organismos seleccionados como bioindicador, se definió la metodología a ser utilizada y el nivel de calidad respectivo que deberá tenerse en cuenta para cada área de vigilancia en la norma. En la tabla 2 se muestran cada uno de los valores de calidad posibles en conformidad a datos cuantitativos (densidad y/o riqueza) de los grupos propuestos como bioindicadores.

Tabla 2.- Metodología y valor de calidad para los grupos propuestos como bioindicadores. (Criterio calidad: 1= muy buena; 2= buena; 3= regular; 4=mala y 5=muy mala)

Bioindicador	Area de vigilancia	Metodología	Unidad	Calidad- criterio
Moluscos (<i>Diplodon chilensis</i>)	Zona litoral	(<20m profundidad) se toman 20 muestras (625 cm ² cada una) en sustrato Areno-fangoso mediante buceo. Monitoreo cada dos años en primavera verano	ind/m ²	Calidad 1 = < 50 Calidad 2=50 y < 80 Calidad 3= 80 y <150 Calidad 4= 150 y <300 Calidad 5= ≥300

Anexo 2 Fotografías subacuáticas georreferenciadas y datos de profundidad, abundancia e individuos por metro cuadrado.

Muestra	Foto	Latitud	Longitud	Profundidad	Abundancia	ind/m ²
1	DSC_1101_1	-39,1666417	-71,72505556	15m	4	34,2
2	DSC_1103_1	-39,16665	-71,72508333	15m	2	17,1
3	DSC_1104_1	-39,1666611	-71,72510278	15m	0	0
4	DSC_1105_1	-39,1666667	-71,72512778	15m	0	0
5	DSC_1107_1	-39,166675	-71,72514722	15m	0	0
6	DSC_1110_1	-39,1666833	-71,72516944	15m	1	8,55
7	DSC_1113_1	-39,1666861	-71,72519167	15m	1	8,55
8	DSC_1117_1	-39,1666556	-71,72523056	15m	0	0
9	DSC_1119_1	-39,1666278	-71,72526667	15m	0	0
10	DSC_1120_1	-39,1666056	-71,72526111	15m	0	0
11	DSC_1121_1	-39,1665806	-71,72525278	15m	0	0
12	DSC_1122_1	-39,16655	-71,72525	15m	0	0
13	DSC_1123_1	-39,1665417	-71,72523889	15m	0	0
14	DSC_1124_1	-39,1665306	-71,72523056	15m	0	0
15	DSC_1125_1	-39,1665167	-71,72521944	15m	0	0
16	DSC_1126_1	-39,1665083	-71,72521111	15m	0	0
17	DSC_1127_1	-39,1664972	-71,72520278	15m	1	8,55
18	DSC_1128_1	-39,1664861	-71,72519167	15m	0	0
19	DSC_1135_1	-39,1664722	-71,72518333	15m	1	8,55
20	DSC_1138_1	-39,1663778	-71,72517222	15m	2	17,1
21	DSC_1142_1	-39,1663556	-71,72515833	15m	1	8,55
22	DSC_1147_1	-39,166325	-71,72514444	15m	0	0
23	DSC_1150_1	-39,1662972	-71,72513611	15m	1	8,55
24	DSC_1152_1	-39,1662833	-71,72511944	15m	0	0
25	DSC_1155_1	-39,1662639	-71,72510556	15m	1	8,55
26	DSC_1158_1	-39,1662472	-71,72509167	15m	1	8,55
27	DSC_1160_1	-39,1662306	-71,72507778	15m	0	0
28	DSC_1166_1	-39,1662083	-71,72506389	15m	0	0
29	DSC_1169_1	-39,1661944	-71,72504167	15m	1	8,55
30	DSC_1172_1	-39,1661778	-71,72501111	15m	0	0
31	DSC_1180_1	-39,1661611	-71,72499167	15m	0	0
32	DSC_1182_1	-39,1661139	-71,72494722	15m	0	0
33	DSC_1190_1	-39,1660611	-71,72490556	15m	1	8,55
34	DSC_1191_1	-39,1660139	-71,724875	15m	0	0
35	DSC_1194_1	-39,1660028	-71,72485556	15m	0	0
36	DSC_1195_1	-39,1659889	-71,72482778	15m	1	8,55

37	DSC_1197_1	-39,1659639	-71,72478889	15m	6	51,3
38	DSC_1200_1	-39,1659417	-71,72475278	15m	2	17,1
39	DSC_1203_1	-39,1659222	-71,72472222	15m	0	0
40	DSC_1204_1	-39,1659056	-71,72469167	12m	0	0
41	DSC_1205_1	-39,1659111	-71,72465556	12m	0	0
42	DSC_1206_1	-39,1659194	-71,72461111	12m	1	8,55
43	DSC_1207_1	-39,1659278	-71,724575	12m	1	8,55
44	DSC_1209_1	-39,1659389	-71,72458333	12m	2	17,1
45	DSC_1211_1	-39,16595	-71,72459444	12m	6	51,3
46	DSC_1212_1	-39,1659611	-71,72460556	12m	4	34,2
47	DSC_1214_1	-39,1659778	-71,72461944	12m	12	102,6
48	DSC_1216_1	-39,1659917	-71,72463333	12m	2	17,1
49	DSC_1218_1	-39,1660083	-71,72464722	12m	5	42,75
50	DSC_1219_1	-39,1660194	-71,72466389	12m	5	42,75
51	DSC_1220_1	-39,1660306	-71,72468611	12m	5	42,75
52	DSC_1223_1	-39,1660444	-71,72470556	12m	3	25,65
53	DSC_1224_1	-39,1660583	-71,724725	12m	7	59,85
54	DSC_1226_1	-39,1660611	-71,72474167	12m	0	0
55	DSC_1230_1	-39,1660639	-71,72475556	12m	0	0
56	DSC_1234_1	-39,1660694	-71,72476944	12m	3	25,65
57	DSC_1238_1	-39,1660722	-71,72478333	12m	6	51,3
58	DSC_1241_1	-39,1660778	-71,72479722	12m	1	8,55
59	DSC_1244_1	-39,1660833	-71,72481944	12m	2	17,1
60	DSC_1248_1	-39,1660889	-71,72483611	12m	3	25,65
61	DSC_1252_1	-39,1660972	-71,72485	12m	6	51,3
62	DSC_1257_1	-39,1661083	-71,72486667	12m	2	17,1
63	DSC_1261_1	-39,1661194	-71,72488333	12m	1	8,55
64	DSC_1265_1	-39,1661306	-71,72490556	12m	2	17,1
65	DSC_1268_1	-39,1661444	-71,724925	12m	2	17,1
66	DSC_1272_1	-39,1661611	-71,72493611	12m	0	0
67	DSC_1273_1	-39,1661778	-71,72494444	12m	4	34,2
68	DSC_1275_1	-39,1662	-71,72495556	12m	1	8,55
69	DSC_1279_1	-39,1662194	-71,72496667	12m	3	25,65
70	DSC_1282_1	-39,1662278	-71,724975	12m	4	34,2
71	DSC_1285_1	-39,1662389	-71,72498333	12m	8	68,4
72	DSC_1287_1	-39,1662528	-71,72499444	12m	3	25,65
73	DSC_1290_1	-39,1662667	-71,72500556	12m	1	8,55
74	DSC_1294_1	-39,1662861	-71,72501944	12m	1	8,55
75	DSC_1297_1	-39,1663056	-71,72503333	12m	0	0
76	DSC_1301_1	-39,1663278	-71,72504444	12m	3	25,65
77	DSC_1303_1	-39,1663472	-71,72505	12m	2	17,1

78	DSC_1307_1	-39,1663667	-71,72505556	12m	0	0
79	DSC_1312_1	-39,1663861	-71,72506389	9m	1	8,55
80	DSC_1316_1	-39,1664028	-71,72506944	9m	2	17,1
81	DSC_1321_1	-39,1664278	-71,72505278	9m	0	0
82	DSC_1323_1	-39,16645	-71,72503889	9m	0	0
83	DSC_1327_1	-39,166475	-71,72502222	9m	12	102,6
84	DSC_1331_1	-39,1664694	-71,72501111	9m	7	59,85
85	DSC_1335_1	-39,1664583	-71725	9m	7	59,85
86	DSC_1339_1	-39,1664472	-71,72498333	9m	4	34,2
87	DSC_1343_1	-39,1664361	-71,72497222	9m	6	51,3
88	DSC_1346_1	-39,1664194	-71,72496389	9m	7	59,85
89	DSC_1347_1	-39,1664028	-71,72496111	9m	4	34,2
90	DSC_1350_1	-39,1663861	-71,72495556	9m	12	102,6
91	DSC_1353_1	-39,1663667	-71,72495	9m	6	51,3
92	DSC_1356_1	-39,16635	-71,72494444	9m	8	68,4
93	DSC_1357_1	-39,1663389	-71,72493333	9m	14	119,7
94	DSC_1361_1	-39,1663222	-71,72491944	9m	4	34,2
95	DSC_1363_1	-39,1663056	-71,72490278	9m	13	111,15
96	DSC_1367_1	-39,1662833	-71,72488333	9m	9	76,95
97	DSC_1372_1	-39,1662667	-71,72486667	9m	2	17,1
98	DSC_1374_1	-39,1662556	-71,72485833	9m	16	136,8
99	DSC_1377_1	-39,1662417	-71,72484722	9m	12	102,6
100	DSC_1380_1	-39,1662278	-71,72483611	9m	22	188,1
101	DSC_1383_1	-39,1662167	-71,724825	9m	12	102,6
102	DSC_1387_1	-39,1662	-71,72481389	9m	12	102,6
103	DSC_1388_1	-39,1661861	-71,72480278	9m	27	230,85
104	DSC_1391_1	-39,1661778	-71,72478889	9m	8	68,4
105	DSC_1394_1	-39,1661694	-71,72477778	9m	7	59,85
106	DSC_1397_1	-39,1661611	-71,72476667	9m	3	25,65
107	DSC_1401_1	-39,16615	-71,72475278	9m	11	94,05
108	DSC_1404_1	-39,1661389	-71,72473611	9m	6	51,3
109	DSC_1409_1	-39,166125	-71,72471667	9m	41	350,55
110	DSC_1417_1	-39,1661111	-71,72468333	9m	9	76,95
111	DSC_1420_1	-39,1661	-71,72464722	9m	11	94,05
112	DSC_1423_1	-39,1660889	-71,72461389	9m	6	51,3
113	DSC_1433_1	-39,166075	-71,72458889	9m	6	51,3
114	DSC_1436_1	-39,1660611	-71,72456667	9m	13	111,15
115	DSC_1438_1	-39,1660444	-71,72454167	9m	16	136,8
116	DSC_1442_1	-39,1660278	-71,72451111	9m	16	136,8
117	DSC_1445_1	-39,1660139	-71,72449167	9m	6	51,3
118	DSC_1448_1	-39,1660056	-71,724475	9m	35	299,25

119	DSC_1452_1	-39,1659917	-71,72445833	9m	10	85,5
120	DSC_1457_1	-39,1659806	-71,72444167	9m	23	196,65
121	DSC_1465_1	-39,1659694	-71,724425	9m	19	162,45
122	DSC_1466_1	-39,1659667	-71,72438611	9m	4	34,2
123	DSC_1471_1	-39,1659639	-71,72435556	9m	7	59,85
124	DSC_1473_1	-39,1659611	-71,72433056	9m	7	59,85
125	DSC_1476_1	-39,1659361	-71,72428056	9m	8	68,4
126	DSC_1478_1	-39,1659139	-71,72423333	9m	6	51,3
127	DSC_1481_1	-39,1659222	-71,72419444	9m	7	59,85
128	DSC_1485_1	-39,1659278	-71,72416667	6m	0	0
129	DSC_1486_1	-39,1659333	-71,72416944	6m	0	0
130	DSC_1487_1	-39,1659389	-71,72417778	6m	0	0
131	DSC_1488_1	-39,1659444	-71,72418333	6m	0	0
132	DSC_1490_1	-39,1659528	-71,72419444	6m	13	111,15
133	DSC_1492_1	-39,1659639	-71,72420556	6m	28	239,4
134	DSC_1496_1	-39,1659778	-71,72422222	6m	7	59,85
135	DSC_1498_1	-39,1659889	-71,72423889	6m	26	222,3
136	DSC_1501_1	-39,1659944	-71,72424444	6m	2	17,1
137	DSC_1503_1	-39166	-71,72425278	6m	4	34,2
138	DSC_1506_1	-39,1660056	-71,72426667	6m	25	213,75
139	DSC_1508_1	-39,1660167	-71,72428056	6m	17	145,35
140	DSC_1510_1	-39,166025	-71,72429444	6m	26	222,3
141	DSC_1512_1	-39,1660361	-71,72431389	6m	20	171
142	DSC_1516_1	-39,1660472	-71,72433333	6m	34	290,7
143	DSC_1518_1	-39,1660528	-71,72434167	6m	4	34,2
144	DSC_1520_1	-39,1660556	-71,72435556	6m	1	8,55
145	DSC_1523_1	-39,1660639	-71,72437222	6m	44	376,2
146	DSC_1524_1	-39,1660722	-71,72439444	6m	18	153,9
147	DSC_1528_1	-39,1660806	-71,72441667	6m	6	51,3
148	DSC_1531_1	-39,1660889	-71,72443889	6m	32	273,6
149	DSC_1532_1	-39,1660917	-71,72445278	6m	43	367,65
150	DSC_1536_1	-39,1661	-71,724475	6m	42	359,1
151	DSC_1539_1	-39,1661056	-71,72449722	6m	12	102,6
152	DSC_1541_1	-39,1661139	-71,72452222	6m	30	256,5
153	DSC_1545_1	-39,1661194	-71,72454722	6m	9	76,95
154	DSC_1548_1	-39,166125	-71,72455833	6m	10	85,5
155	DSC_1549_1	-39,1661306	-71,72457222	6m	2	17,1
156	DSC_1553_1	-39,1661361	-71,72458611	6m	7	59,85
157	DSC_1556_1	-39,1661417	-71,72460278	6m	2	17,1
158	DSC_1559_1	-39,16615	-71,724625	6m	7	59,85
159	DSC_1562_1	-39,1661611	-71,72464722	6m	7	59,85

160	DSC_1565_1	-39,1661694	-71,72466111	6m	3	25,65
161	DSC_1568_1	-39,1661778	-71,72468056	6m	17	145,35
162	DSC_1573_1	-39,1661917	-71,72470278	6m	31	265,05
163	DSC_1576_1	-39,1662028	-71,724725	6m	1	8,55
164	DSC_1579_1	-39,1662167	-71,72475278	6m	44	376,2
165	DSC_1581_1	-39,1662278	-71,72475833	6m	1	8,55
166	DSC_1583_1	-39,1662389	-71,72476944	6m	3	25,65
167	DSC_1586_1	-39,1662583	-71,72478333	6m	2	17,1
168	DSC_1588_1	-39,166275	-71,72479444	6m	0	0
169	DSC_1591_1	-39,1662917	-71,72481111	6m	16	136,8
170	DSC_1594_1	-39,1663083	-71,72481944	6m	8	68,4
171	DSC_1596_1	-39,1663222	-71,724825	6m	10	85,5
172	IMG_5160_1	-39,1661833	-71,72471667	6m	4	26,76
173	IMG_5163_1	-39,1661417	-71,724675	6m	1	6,69
174	IMG_5166_1	-39,1661722	-71,72471944	6m	19	127,11
175	IMG_5169_1	-39,1661917	-71,72475556	6m	22	147,18
176	IMG_5175_1	-39,1662306	-71,72478889	6m	11	73,59
177	IMG_5177_1	-39,1662694	-71,724825	6m	4	26,76
178	IMG_5179_1	-39,1663028	-71,72483611	6m	5	33,45
179	IMG_5181_1	-39,1663361	-71,72484722	6m	12	80,28
180	IMG_5188_1	-39,1663667	-71,72485556	6m	15	100,35
181	IMG_5192_1	-39,1664639	-71,72490833	6m	7	46,83
182	IMG_5195_1	-39,1664944	-71,72491111	6m	5	33,45
183	IMG_5198_1	-39,1665278	-71,72491389	6m	17	113,73
184	IMG_5201_1	-39,1665667	-71,72490278	6m	7	46,83
185	IMG_5204_1	-39,1666111	-71,72488889	6m	21	140,49
186	IMG_5206_1	-39,1666444	-71,72487778	6m	1	6,69
187	IMG_5209_1	-39,1666694	-71,72488056	6m	5	33,45
188	IMG_5212_1	-39,1667056	-71,72488056	6m	1	6,69
189	DSC_1611_1	-39,16675	-71,7248	3m	14	119,7
190	DSC_1613_1	-39,1667278	-71,72485	3m	0	0
191	DSC_1616_1	-39,1666972	-71,72484167	3m	3	25,65
192	DSC_1621_1	-39,166675	-71,72483611	3m	0	0
193	DSC_1624_1	-39,16665	-71,72483889	3m	5	42,75
194	DSC_1626_1	-39,1666306	-71,72483889	3m	8	68,4
195	DSC_1631_1	-39,1666	-71,72483889	3m	15	128,25
196	DSC_1634_1	-39,166575	-71,72483611	3m	6	51,3
197	DSC_1638_1	-39,16655	-71,72483889	3m	6	51,3
198	DSC_1644_1	-39,1665028	-71,72483889	3m	20	171
199	DSC_1647_1	-39,1664833	-71,72483333	3m	10	85,5
200	DSC_1651_1	-39,1664278	-71,72482222	3m	8	68,4

201	DSC_1652_1	-39,1664056	-71,72480278	3m	32	273,6
202	DSC_1658_1	-39,1663889	-71,72478889	3m	29	247,95
203	DSC_1661_1	-39,1663639	-71,72477778	3m	51	436,05
204	DSC_1666_1	-39,1663472	-71,72476944	3m	47	401,85
205	DSC_1669_1	-39,1662889	-71,72474167	3m	21	179,55
206	DSC_1674_1	-39,1662722	-71,72473056	3m	13	111,15
207	DSC_1676_1	-39,1662583	-71,72471944	3m	30	256,5
208	DSC_1681_1	-39,1662417	-71,72470556	3m	9	76,95
209	DSC_1686_1	-39,1662278	-71,72467778	3m	6	51,3
210	DSC_1689_1	-39,1662167	-71,72465556	3m	10	85,5
211	DSC_1693_1	-39,1661833	-71,72461944	3m	15	128,25
212	DSC_1695_1	-39,1661583	-71,72453056	3m	19	162,45
213	DSC_1700_1	-39,1661528	-71,724475	3m	34	290,7
214	DSC_1703_1	-39,1661583	-71,72450833	3m	18	153,9
215	DSC_1707_1	-39,166175	-71,72455278	3m	14	119,7
216	DSC_1709_1	-39,1661944	-71,72459167	3m	15	128,25
217	DSC_1712_1	-39,1662	-71,724625	3m	7	59,85
218	DSC_1714_1	-39,1662083	-71,72466111	3m	18	153,9
219	DSC_1717_1	-39,1662194	-71,72468889	3m	25	213,75
220	DSC_1721_1	-39,1662333	-71,72471944	3m	38	324,9
221	DSC_1726_1	-39,1662583	-71,72474444	3m	42	359,1
222	DSC_1728_1	-39,1662861	-71,72476944	3m	42	359,1
223	DSC_1733_1	-39,1663167	-71,724775	3m	53	453,15
224	DSC_1735_1	-39,1663472	-71,72478056	3m	32	273,6
225	DSC_1740_1	-39,1663861	-71,72478056	3m	21	179,55
226	IMG_5216_1	-39,1667417	-71,72488333	3m	1	6,69
227	IMG_5219_1	-39,1667889	-71,72485833	3m	1	6,69
228	IMG_5222_1	-39,1668389	-71,72483333	3m	12	80,28
229	IMG_5225_1	-39,1668667	-71,72484722	3m	0	0
230	IMG_5228_1	-39,1668972	-71,72486667	3m	22	147,18

Anexo 3 Datos de abundancia obtenidos a través de muestreos fotográficos e in situ.

Muestra	Foto	Ab. Foto	Ab. in situ
1	1003_1	14	9
2	1006_1	38	19
3	1011_1	10	6
4	1013_1	5	4
5	1018_1	23	16
6	1025_1	32	26
7	1027_1	21	17
8	1030_1	25	17
9	1036_1	17	21
10	1039_1	13	12
11	1041_1	13	14
12	1044_1	16	10
13	1049_1	50	28
14	1051_1	21	13
15	1055_1	44	23
16	1059_1	28	19
17	1060_1	26	15
18	1064_1	25	15
19	1069_1	21	10
20	1074_1	39	28
21	1078_1	20	14
22	1082_1	27	17
23	1085_1	20	17
24	1090_1	22	14

Anexo 4 Datos de abundancia obtenidos a través de muestreos fotográficos y extractivos

Muestra	Foto	Ab. foto	Ab. extractivo
1	IMG_5241_1	13	10
2	IMG_5242_1	18	30
3	IMG_5246_1	21	13
4	IMG_5248_1	18	17
5	IMG_5250_1	42	28
6	IMG_5253_1	78	41
7	IMG_5258_1	51	30

8	IMG_5261_1	28	21
9	IMG_5263_1	36	33
10	IMG_5266_1	23	35
11	IMG_5271_1	44	49
12	IMG_5274_1	22	29
13	IMG_5275_1	54	56
14	IMG_5279_1	24	21
15	IMG_5283_1	25	9

Anexo 5 Porcentajes por tipo de sedimento a los 5 y 15m de profundidad

n	Profundidad	Grava	Arena Gruesa	Arena Fina	Arena muy Fina	Limo	Arcilla
1	5M	1,56	35,14	27,05	14,07	20,72	1,46
2	5M	1,77	14,79	12,92	14,19	46,59	9,73
3	5M	0,05	0,50	4,34	6,67	74,58	13,86
4	5M	23,40	2,86	3,31	4,20	54,00	12,23
5	5M	0,00	0,54	1,05	3,56	75,13	19,73
6	5M	0,00	0,08	7,62	7,17	64,89	20,24
7	5M	0,00	0,15	5,19	6,14	72,10	16,42
8	5M	2,41	32,25	17,88	12,42	30,18	4,86
9	5M	3,07	57,22	27,11	6,65	4,59	1,35
10	5M	0,18	0,32	0,48	32,04	49,90	17,09
11	5M	0,00	0,22	0,47	13,18	55,71	30,42
12	5M	0,00	0,32	1,25	21,00	58,81	18,61
1	15M	0,00	0,50	2,08	3,64	70,45	23,33
2	15M	0,00	0,67	5,54	8,29	62,89	22,61
3	15M	0,00	0,18	0,30	15,11	66,55	17,86
4	15M	0,00	0,18	0,66	14,90	62,33	21,93
5	15M	0,00	0,13	0,35	10,32	65,79	23,41
6	15M	0,00	0,11	0,47	12,27	62,36	24,79
7	15M	0,45	5,99	11,71	14,17	55,55	12,14
8	15M	0,44	10,77	13,47	14,89	49,69	10,74
9	15M	0,00	0,19	8,70	10,14	58,91	22,06

Anexo 6 Análisis de varianza (ANOVA) del tipo de sustrato

Grava

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	41	1	41	1,90	0,18
Dentro de los grupos	481	22	22		
Total	522	23			

Arena gruesa

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	377	1	377	2,11	0,16
Dentro de los grupos	3579	20	179		
Total	3956	21			

Arena fina

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	74	1	74	1,48	0,24
Dentro de los grupos	1005	20	50		
Total	1080	21			

Arena muy fina

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	33	1	33	0,60	0,45
Dentro de los grupos	1124	20	56		
Total	1158	21			

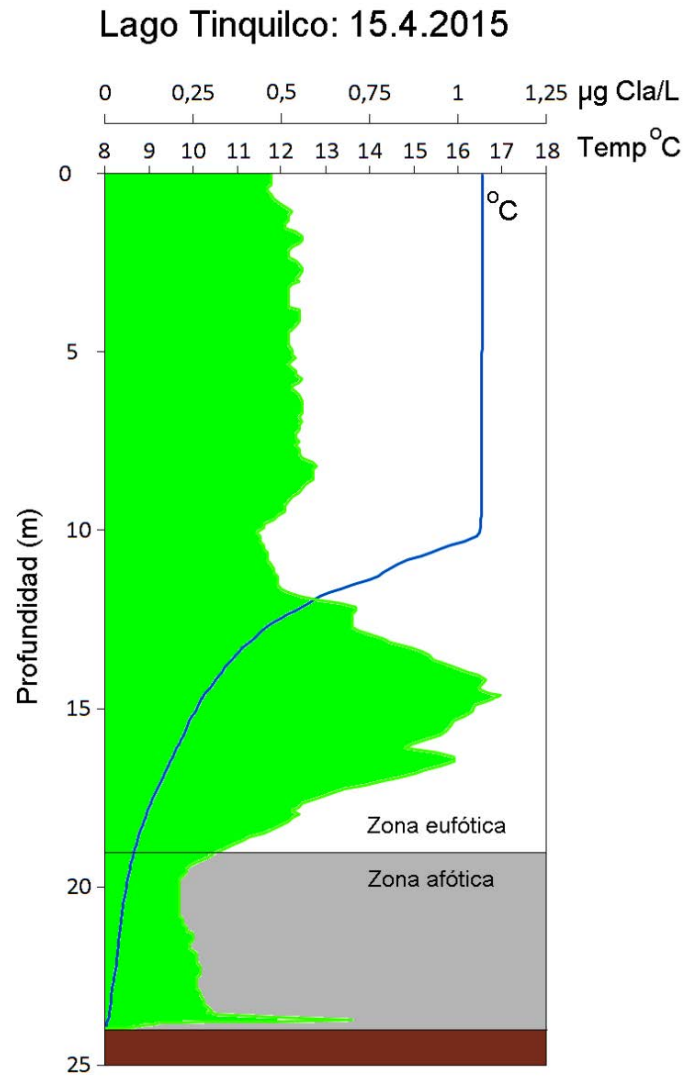
Limo

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	477	1	477	0,8	0,4
Dentro de los grupos	12627	20	631		
Total	13104	21			

Arcilla

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>GL</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	4	1	4	0,04	0,84
Dentro de los grupos	1657	20	83		
Total	1660	21			

Anexo 7 Perfil vertical de la temperatura y la clorofila a, medido con sonda multiparamétrica Sea & Sun 90 (Woelfl & Nimptsch 2015, Informe Técnico Lago Tinquilco)



Anexo 8 Valores de materia orgánica en g/m² a 5 y 15m de profundidad.

5m				15m			
Peso seco sed.	Peso muflado sed.	M.O. (g)	M.O. (g/m ²)	Peso seco sed.	Peso muflado sed.	M.O. (g)	M.O. (g/m ²)
75,64	73,57	2,07	217,90	12,42	9,87	2,55	268,42
54,99	48,36	6,63	697,90	20,7	15,39	5,31	558,95
44,51	38,71	5,8	610,53	40,74	32,74	8	842,11
22,15	19,94	2,21	232,63	33,59	26,27	7,32	770,53
34,41	31,13	3,28	345,26	24,56	18,99	5,57	586,32
38,89	34,21	4,68	492,63	46,43	38,23	8,2	863,16
39,2	33,05	6,15	647,37	28,79	22,88	5,91	622,11
87,96	84,13	3,83	403,16	54,56	50,68	3,88	408,42
120,5	118,66	1,84	193,68	20,18	15,58	4,6	484,21
42,14	32,28	9,86	1037,89				
35,2	27,04	8,16	858,95				
14,14	10	4,14	435,79				
Promedio			514,47				600,47