



Dirección de Obras Portuarias

"Análisis Desembocadura Estero
Llico, Comuna de Vichuquén, Región del
Maule"

Informe de Etapa 1 Rev C

julio 2016

Índice

1.	Introducción General.....	7
1.1	Descripción General de la Hidrología y Geomorfología de la cuenca Vichuquén y estero Llico.....	8
2.	Reuniones.....	12
3.	Recopilación de Antecedentes.....	13
3.1	Estudios Entregados por la DOP.....	14
3.2	Revisión del Estado del Arte Estudios Hidrodinámicos.....	26
3.3	Cartas Náuticas.....	29
3.4	Proyecto Explorador Marino Undimotriz.....	31
3.5	Batimetría proporcionada por la DOP.....	32
3.6	Imágenes Aéreas SAF.....	33
3.7	Cartas IGM.....	35
3.8	Minuta N°17 de 7 de mayo de 2015, Muestreo de Calidad de aguas del lago y estero Llico – Dirección General de Aguas (DGA).....	37
3.9	Datos Pluviométricos Vichuquén.....	43
3.10	Antecedentes Mesa Técnica.....	44
4.	Participación Ciudadana.....	63
5.	Estudio Topo batimétrico.....	64
5.1	Topobatimetría Zona Desembocadura.....	64
5.2	Batimetría Perfiles Estero Llico y Lago Vichuquén.....	64
6.	Estudio Sedimentológico.....	66
7.	Estudio de Calidad de Aguas.....	68
7.1	Comparación de resultados de consultoría y antecedentes.....	69

Índice de Tablas

Tabla 3-1: Coordenadas nodos, estudio de oleaje Acua Ltda.	22
Tabla 3-2: Tabla de incidencia Nodo 6193 Altura y Dirección	22
Tabla 3-3: Tabla de incidencia Nodo 6193 Tp v/s Dirección	22
Tabla 3-4: Análisis valores extremos en aguas someras	23
Tabla 3-5: Parámetros considerados según ACUA	23
Tabla 6-1: Coordenadas geográficas y UTM de las muestras análisis granulométrico.....	67

Índice de Figuras

Figura 1-1: Ubicación sector de estudio.....	7
Figura 1-2: Masas de agua en localidades de Vichuquén y Llico.....	9
Figura 1-3: Fotografías del sector de estudio	10
Figura 3-1: Plano síntesis de diagnóstico sector de Llico.....	15
Figura 3-2: Plano síntesis de Modelación de Tsunami – Profundidad de inundación en sector de Llico.....	16
Figura 3-3: Plano síntesis de Remoción en Masa de Llico.....	17
Figura 3-4: Plano síntesis Remoción en Masa por Lluvia, Llico	18
Figura 3-5: Modelación con condición de borde: Barra de arena Cerrada, condición de escurrimiento crítico - Llico	19
Figura 3-6: Serie de nivel del mar cada 1 hora, para Bahía de Llico, entre 12 de enero de 2012 al 10 de febrero del 2012.....	20
Figura 3-7: Planos de referencia de la marea, rada Llico, ACUA Ltda.	21
Figura 3-8: Ubicación nodos extracción de resultados estudio de oleaje Llico, Acua 2012.....	21
Figura 3-9: Distribución de frecuencia de la dirección y magnitud del viento (m/s) medidos en Lago Vichuquén, Acua 2011.....	24
Figura 3-10: Rosa de vientos de la distribución de frecuencia de la magnitud y dirección de vientos en Lago Vichuquén, Acua 2011.	24
Figura 3-11: Distribución de frecuencia de la dirección del viento medido en Lago Vichuquén, Acua 2011.	25
Figura 3-12: Distribución de frecuencia de la intensidad del viento medido en el Lago Vichuquén, Acua 2011.....	25
Figura 3-13: Zona de estudio Proyecto Río Tubul año 2011	27
Figura 3-14: Zona de estudio Proyecto Río Carampangue año 2007	28
Figura 3-15: CNEs Lago Vichuquén	29
Figura 3-16: Carta náutica en papel Rada de Llico.....	30
Figura 3-17: Vista del explorador de energía marina para el sector de Llico	31
Figura 3-18: Batimetría Exploratoria ejecutada por la DOP.....	32
Figura 3-19: Imagen aérea SAF año 1978.....	33
Figura 3-20: Imagen aérea SAF año 1994.....	33
Figura 3-21: Imagen aérea SAF año 1997.....	34
Figura 3-22: Cartas IGM F20 y F29 adquiridas.....	35
Figura 3-23: Cartas IGM Llico – Vichuquén vistas en AutoCAD.....	36
Figura 3-24: Muestreo implementado por la DGA en el lago Vichuquén	37

Figura 3-25: Estaciones de monitoreo en el lago Vichuquén 1) Zmax, 2) centro, 3) Bahía Vichuquén	38
Figura 3-26: Perfiles de conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las 3 estaciones de monitoreo para diferentes fechas, marzo 2013, junio 2013, marzo 2014, junio 2014, diciembre 2014 y marzo 2015	39
Figura 3-27: Perfiles de Oxígeno disuelto en % en las 3 estaciones para las fechas de marzo 2013, junio 2013, marzo 2014, junio 2014, diciembre 2014 y marzo 2015	40
Figura 3-28: Perfiles de temperatura en la estación Zmax en diferentes fechas, A) marzo 2013, B) junio de 2013, C) marzo de 2014, D) junio de 2014, E) diciembre 2015, F) marzo 2015	41
Figura 3-29: Registro de lluvias en Vichuquén 1985-2014	43
Figura 3-30: Localización de las 8 estaciones de muestreo, estaciones 1 a 5 corresponden a lago Vichuquén y batimetría ejecutada.....	45
Figura 3-31: Localización de las 13 estaciones de muestreo y mediciones de sedimentos (estaciones A – M).....	46
Figura 3-32: Carta de sondajes realizada por el Almirantazgo Inglés a mediados del siglo XIX.	47
Figura 3-33: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto € y clorofila-a (f) en la estación 1 del lago Vichuquén (agosto 2008). Profundidad de la estación 30 metros.....	48
Figura 3-34: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto (e) y clorofila-a (f) en la estación 3 del lago Vichuquén (agosto de 2008). Profundidad de la estación 18 metros.....	49
Figura 3-35: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto € , y clorofila-a (f), en la estación 3 del lago Vichuquén (agosto 2008). Profundidad de la estación 13 metros.....	50
Figura 3-36: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto, y clorofila-a (f), en la estación 4 del lago Vichuquén (agosto 2008). Profundidad de la estación 3 metros.....	51
Figura 3-37: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto (e) y clorofila-a (f) en el lago Vichuquén (agosto 2008). Profundidad de la estación 5 metros.....	52
Figura 3-38: Análisis comparativo de las variables medidas en las cinco estaciones del lago vichuquén (E1 a E5) y su principal tributario (E6) muestreados en agosto de 2008.	53
Figura 3-39: Análisis comparativo de variables medidas en lago Vichuquén (E1 a E5) y de su principal tributario (E6) muestreados en agosto de 2008.....	54
Figura 3-40: Análisis comparativo de las variables medidas en lago Vichuquén de estaciones E1 a E5 y de su principal tributario E6 muestreadas en agosto de 2008.	55
Figura 3-41: Caracterización sedimentológica y de riqueza de taxa de las 13 estaciones realizadas en los fondos del lago Vichuquén	55

Figura 3-42: Ubicación aproximada de todos los puntos de muestreo en lago Vichuquén y estero Llico.....	57
Figura 3-43: Resultados de laboratorio obtenidos para los puntos de muestreos ejecutados en estero Llico y Lago Vichuquén, en marzo de 2013.	58
Figura 3-44: Observaciones estudio DICTUC 2013.....	62
Figura 5-1: Área definida para el levantamiento topográfico	64
Figura 5-2: Área definida para el levantamiento de perfiles en el sector del Lago Vichuquén.....	65
Figura 5-3: Área definida para el levantamiento de perfiles en el sector de Estero Llico.....	65
Figura 6-1: Ubicación de las estaciones de muestreo para el análisis granulométrico	66
Figura 7-1: Ubicación sitios de muestreo.....	68
Figura 7-2: Resultados de análisis físico químico y microbiológico de agua en laboratorio.....	69
Figura 7-3: Gráficos de columnas de variables físico químicas y microbiológicas.....	69
Figura 7-4: Concentración de compuestos de fósforo	70

Anexos

- Anexo A** Documentos del Contrato
- Anexo B** Minutas de Reuniones
- Anexo C** Recopilación de Antecedentes (Respaldo Digital)
- Anexo D** Participación Ciudadana
- Anexo E** Estudio Topo batimétrico
- Anexo F** Estudio Sedimentológico
- Anexo G** Estudio de Calidad de Agua
- Anexo H** Minuta Respuesta de Observaciones

1. Introducción General

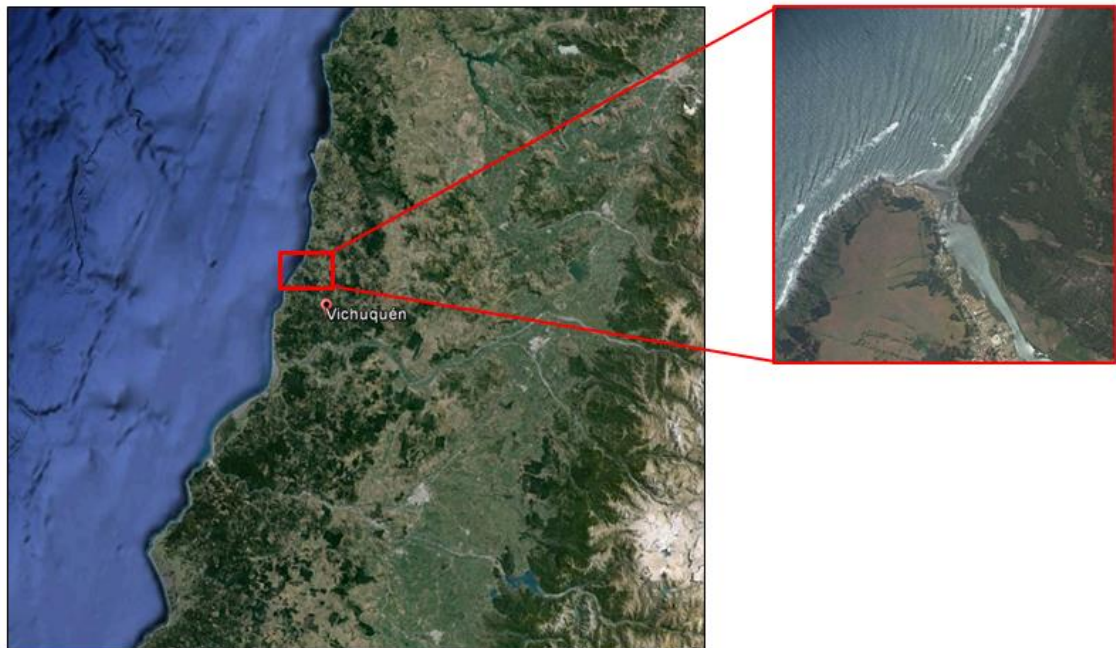
La Dirección de Obras Portuarias (DOP), cumpliendo con su misión de proveer a la ciudadanía servicios de infraestructura portuaria y costera, marítima, fluvial y lacustre necesarios para el mejoramiento de la calidad de vida, el desarrollo socioeconómico del país y su integración física nacional e internacional, ha llamado a licitación la consultoría denominada "**Análisis Desembocadura Estero Llico**", **Comuna de Vichuquén, Región del Maule** con el fin de elaborar un estudio de las condiciones naturales del sistema marítimo – lacustre en el Lago Vichuquén y Estero Llico, de manera de analizar a nivel de ingeniería conceptual y justificar la factibilidad técnica del manejo artificial de apertura y cierre de la barra, abarcando de esta manera las posibles soluciones a la problemática de inundación de las riberas del estero Llico y el Lago Vichuquén, además de potenciar la actividad turística de las zonas.

Esta consultoría se materializará a través de campañas de terreno (Medición de mareas, calidad de agua, sedimentos y levantamiento topobtimétrico) y de Modelaciones de sedimentos y análisis conceptuales de solución.

La zona de estudio del Proyecto corresponde a la desembocadura del Estero Llico (Figura 1-1). Las coordenadas aproximadas del sector de estudio son las siguientes:

- **Latitud 34°45'13.34" S**
- **Longitud 72°5'1.94" W**

Figura 1-1: Ubicación sector de estudio



La comuna de Vichuquén, dentro de la provincia de Curicó, se ubica en el extremo norte del litoral a 112 kilómetros aproximadamente de la capital provincial de Curicó y está conformada por los centros poblados de Llico, Boyeruca y Vichuquén.

La localidad de Llico se encuentra situada en los alrededores de una caleta de pescadores situada a 108 kilómetros al oeste de Curicó. La principal actividad de esta localidad es la pesca artesanal y extracción de productos marinos.

El estero Llico se sitúa en el sector norte de la localidad del mismo nombre, el cual genera un ambiente de estuario que facilita y potencia el desarrollo de hábitats de flora y fauna del sector, y por otra parte se tiene la presencia de enrocado en el sector sur. Las aguas del estero Llico no desembocan en el océano de manera continua y se encuentra cerrado por una barrera natural que eventualmente permite el intercambio de agua por condiciones naturales fundamentalmente en invierno.

Esta barra que se forma en la desembocadura, en los últimos años ha sido modificada artificialmente de acuerdo a antecedentes reportados por la DGA del Maule. Dichas modificaciones de la barra traen consigo el aumento del nivel del lago Vichuquén y la no renovación de las aguas del estero Llico, generando condiciones anoxias, malos olores que general la preocupación en la localidad de Llico.

1.1 Descripción General de la Hidrología y Geomorfología de la cuenca Vichuquén y estero Llico

El Lago Vichuquén se encuentra situado en la extremidad SW del macizo de montañas comprendido entre los ríos Rapel y Mataquito. En este valle se encuentra el canal que actualmente une el lago con el mar, el estero Llico.

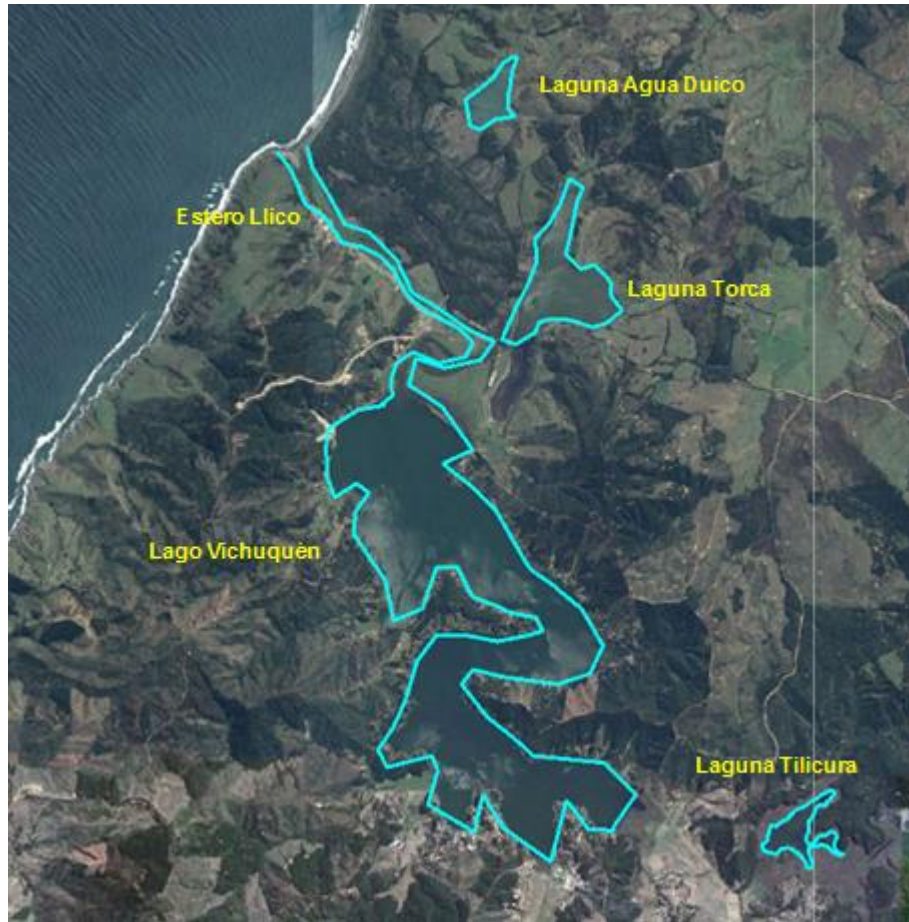
Dicho Lago es de origen albuférico (lago con conexión al océano), y se caracteriza por la presencia de un curso de agua cuya desembocadura fue cerrada por las dunas en alguna época anterior. La cuenca hidrográfica del Lago Vichuquén se estructura por la cadena de cerros que fluctúan en altura, entre los 103 y 464 m.s.n.m. la topografía es ondulada a escarpada, presentando penínsulas, bahías, quebradas y franjas ribereñas, asociadas a valles con cursos de agua intermitentes y permanentes. Desde el punto de vista geomorfológico se identifican zonas principales, la Cordillera de la Costa que se presenta con una altura promedio de 800 m.s.n.m y más al este se identifica la Cordillera de Los Andes con una altura promedio de 3.500 m.s.n.m.

La zona de la Cordillera de la Costa corresponde a los sectores más altos de la comuna, producto del plegamiento de la corteza terrestre en torno a la falla geológica que va de norte a sur entre la placa continental y la placa oceánica. Se caracteriza por sectores de distritos ecorregionales ondulados y serranos de pendientes moderadas a fuertes.

Este Lago destaca como el cuerpo de agua de mayor extensión perimetral, abarcando una superficie de aproximadamente 13.625 km^2 .

Respecto a la cuenca hidrográfica de Vichuquén, que pertenece a un complejo hidrológico compuesto por otros cuerpos de agua, como la Laguna Torca y el estero Vichuquén el que a su vez es formado por los arroyos Concavén, Uraco y Las Cardillas y además deben agregarse como afluentes secundarias las múltiples quebradas que intervienen en el área y que están asociadas al periodo de lluvias. El lago Vichuquén es alimentado por un aporte hídrico pluvial que oscila entre los 400 y 700 ml de promedio anual.

Figura 1-2: Masas de agua en localidades de Vichuquén y Llico



Respecto a la dinámica del sector costero de Llico, desde la barra de arena hacia el norte, se extiende una playa de 3.5 kilómetros aproximadamente, la cual se encuentra sometida al oleaje incidente del 3° y 4° cuadrante. De acuerdo a conversaciones con pescadores del sector, en presencia de tormentas, el oleaje sobrepasa la barra de arena. Contrariamente, hacia el sur de la desembocadura se encuentra un amplio sector de roqueríos.

Respecto al sector de la desembocadura del estero Llico, y al observar la playa hacia el norte, se aprecia de forma preliminar que esta zona experimenta diversos cambios morfológicos productos de las condiciones de oleaje del sector, marejadas y especialmente al terremoto del 27 de febrero del año 2010, donde aparentemente el terreno descendió 0.5 metros. Esta información será confirmada posteriormente en la etapa dos de la presente consultoría, ya que se efectuará un análisis de la evolución de la línea de costa de Llico.

A continuación en la Figura 1-3 se presentan fotografías obtenidas en la visita a terreno el día 11 de junio de 2015.

Figura 1-3: Fotografías del sector de estudio

a. Sector norte de Llico, vista hacia el mar



b. Sector Llico, vista hacia desembocadura estero



c. Sector Llico, vista hacia desembocadura estero



d. Sector Llico, vista hacia el mar desde desembocadura estero



e. Sector estero Llico, vista hacia Vichuquén



f. Sector Lago Vichuquén, ribera norte



La presente consultoría se está desarrollando sobre la base de las etapas que a continuación se indican:

- ETAPA I: Recopilación de antecedentes
- ETAPA II: Modelación Transporte de Sedimentos y Análisis Conceptual de Solución

El presente documento corresponde al Informe de **Etapas I: Recopilación de Antecedentes** en Revisión B, el cual se encuentra corregido de las observaciones emitidas por la DOP en el ORD IFC CFH N°07/2015 de 20/08/2015.

A continuación, se presentan las tareas preestablecidas para esta Etapa I:

- Reunión de inicio y visita a terreno.
- Participación ciudadana de inicio
- Recopilación de antecedentes
- Levantamiento Topo batimétrico
- Toma de muestras de sedimentos
- Toma de muestras de agua del Lago y Estero

2. Reuniones

Reunión de Inicio y Visita Terreno

De acuerdo a lo solicitado en los Términos de Referencia, con fecha 11 de junio de 2015 se llevó a cabo la reunión de inicio de la consultoría, la que se efectuó en el sector costero de la localidad de Llico, en las inmediaciones de la zona del proyecto. En esta reunión participó por parte de la DOP, el Inspector Fiscal de la Consultoría, Sr. Cristián Figueroa, mientras que por parte de GHD participó el Jefe de Proyectos, Sr. Claudio Hernández, el Ingeniero de Proyectos el Sr. Mario Veneciano y la Ingeniero de Apoyo Técnico la Srta. Katherine Rodríguez.

El objetivo principal fue revisar algunos aspectos técnicos y administrativos de los Términos de Referencia del Proyecto y de la metodología presentada en la oferta de GHD.

La reunión inicial de la consultoría se hizo coincidir con la visita a terreno, para lo cual se llevó a cabo un recorrido por el sector costero de Llico, de forma de observar las condiciones del área de estudio.

Reunión Avance de Etapa

Con fecha 23/07/2015, en dependencias de la DOP Concepción, se realizó reunión de avance de la etapa 1, presentando los resultados preliminares de los trabajos ejecutados en la primera etapa del estudio.

Reunión Término de Etapa

Con fecha 17/08/2015, en dependencias de la DOP Concepción, se realizó reunión de término de la etapa 1, presentando los resultados finales de los estudios ejecutados en la primera etapa de la consultoría.

Los detalles de las reuniones antes indicadas se adjuntan en el Anexo Anexo B del presente informe.

3. Recopilación de Antecedentes

En este capítulo se desarrolla una descripción de los antecedentes relevantes evaluados en el marco de la presente consultoría, de acuerdo a lo solicitado en los términos de referencia. Es importante señalar que para efectuar la recopilación de antecedentes, se emitieron cartas dirigidas a los servicios que pudiesen contar con información relevante, sin embargo, no se ha recepcionado respuestas de todos ellos (Ver Anexo Anexo C antecedentes recopilados – 01 Cartas solicitud de antecedentes). Por lo anterior, en el presente capítulo se presentan los antecedentes disponibles públicamente, además de la información adquirida por GHD en alguno de los servicios de los que recibió respuesta positiva.

Finalmente, se recopilaron y analizó la siguiente información:

- Estudios entregados por la DOP.
- Antecedentes Lago Budi
- Cartas Náuticas del sector de estudio
- Proyecto Explorador de energía marina
- Batimetría proporcionada por la DOP
- Imágenes aéreas SAF
- Cartas IGM
- Minuta N°17 de 7 de mayo de 2015, Muestreo de Calidad de aguas del lago y estero Llico – Dirección General de Aguas (DGA)
- Datos Pluviométricos Vichuquén
- Antecedentes Mesa Técnica

3.1 Estudios Entregados por la DOP

Durante el proceso de Licitación de la presente consultoría se hizo entrega, de forma digital, los siguientes antecedentes correspondientes a estudios cercanos al sector de estudio:

- Estudio de Riesgo de Sismos y Maremoto para comunas costeras de las regiones de O'Higgins y Del Maule, Dossier síntesis localidad de Llico, Comuna de Vichuquén, VII Región e Informe Final– Ministerio del Interior y Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura, año 2010.
- Informe Final Proyecto: Mejoramiento Borde Costero Llico, Boyeruca y Lago Vichuquén – Acua Limitada, año 2011.
- Proyecto “Control de Inundaciones Laguna Llico y Lago Vichuquén – Unión Comunal de Juntas de Vecinos del Lago Vichuquén, Laguna Torca y Laguna de Llico” – RTC Ingenieros, año 2009.

A continuación se presenta un resumen de los antecedentes descritos.

3.1.1 Estudio de Riesgo de Sismos y Maremoto para comunas costeras de las regiones de O'Higgins y Del Maule, Dossier síntesis localidad de Llico, Comuna de Vichuquén, VII Región – Ministerio del Interior y Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura, año 2010.

Este estudio consiste en una síntesis de memoria de mapas de amenaza, mapas de vulnerabilidad, mapas de riesgo y recomendaciones específicas de la localidad de Llico, desarrollados en el “Estudio de riesgo de sismos y maremoto para comunas costeras de las regiones de O'Higgins y del Maule”.

En la Figura 3-1, Figura 3-2, Figura 3-3, Figura 3-4 y Figura 3-5 se presentan los planos síntesis de diagnóstico, modelación Tsunami (profundidad de inundación), remoción en masa, remoción en masa por lluvia y modelación hidráulica con condición de borde con la barra de arena cerrada y escurrimiento crítico para Estero Llico.

Figura 3-1: Plano síntesis de diagnóstico sector de Llico

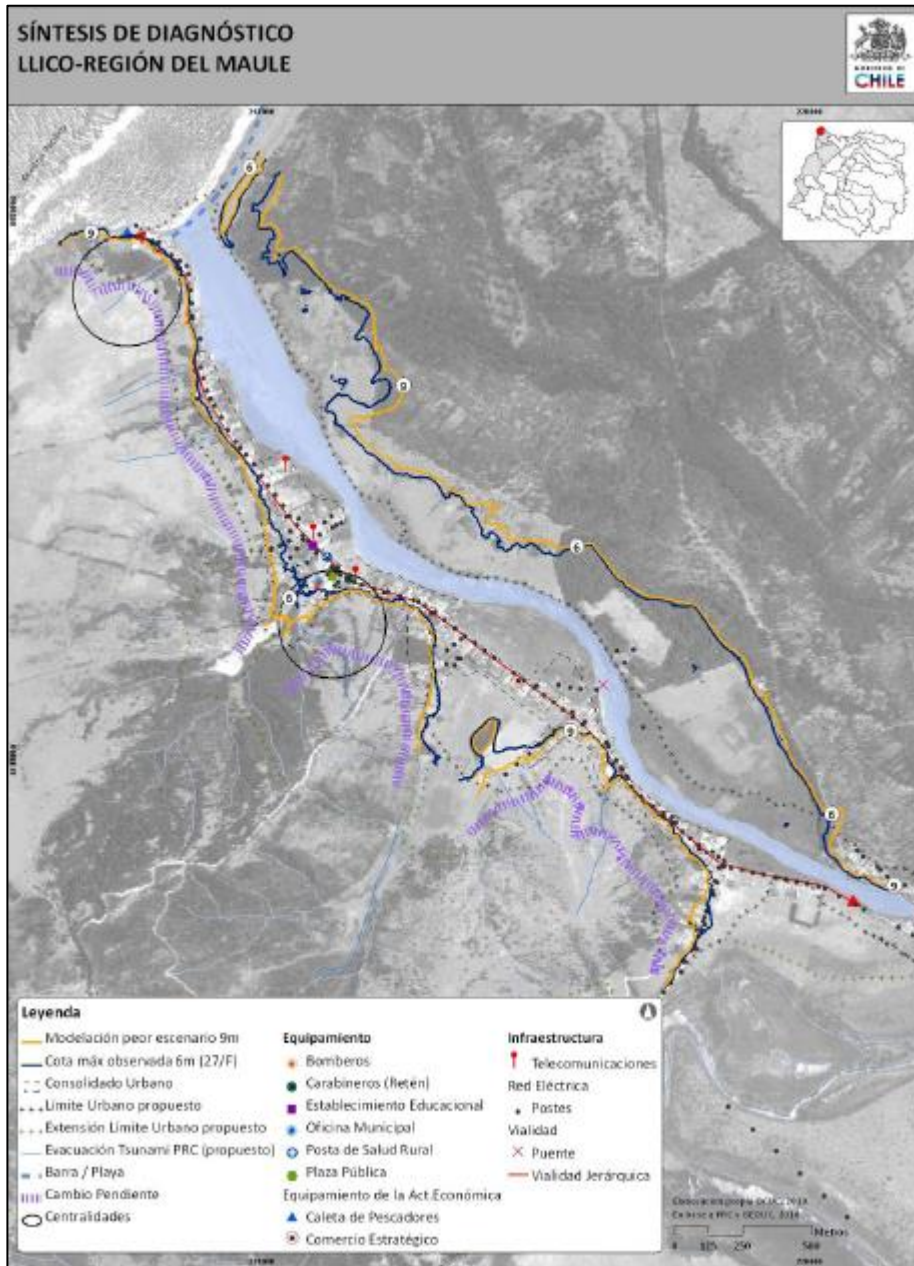


Figura 3-3: Plano síntesis de Remoción en Masa de Llico



Figura 3-4: Plano síntesis Remoción en Masa por Lluvia, Llico

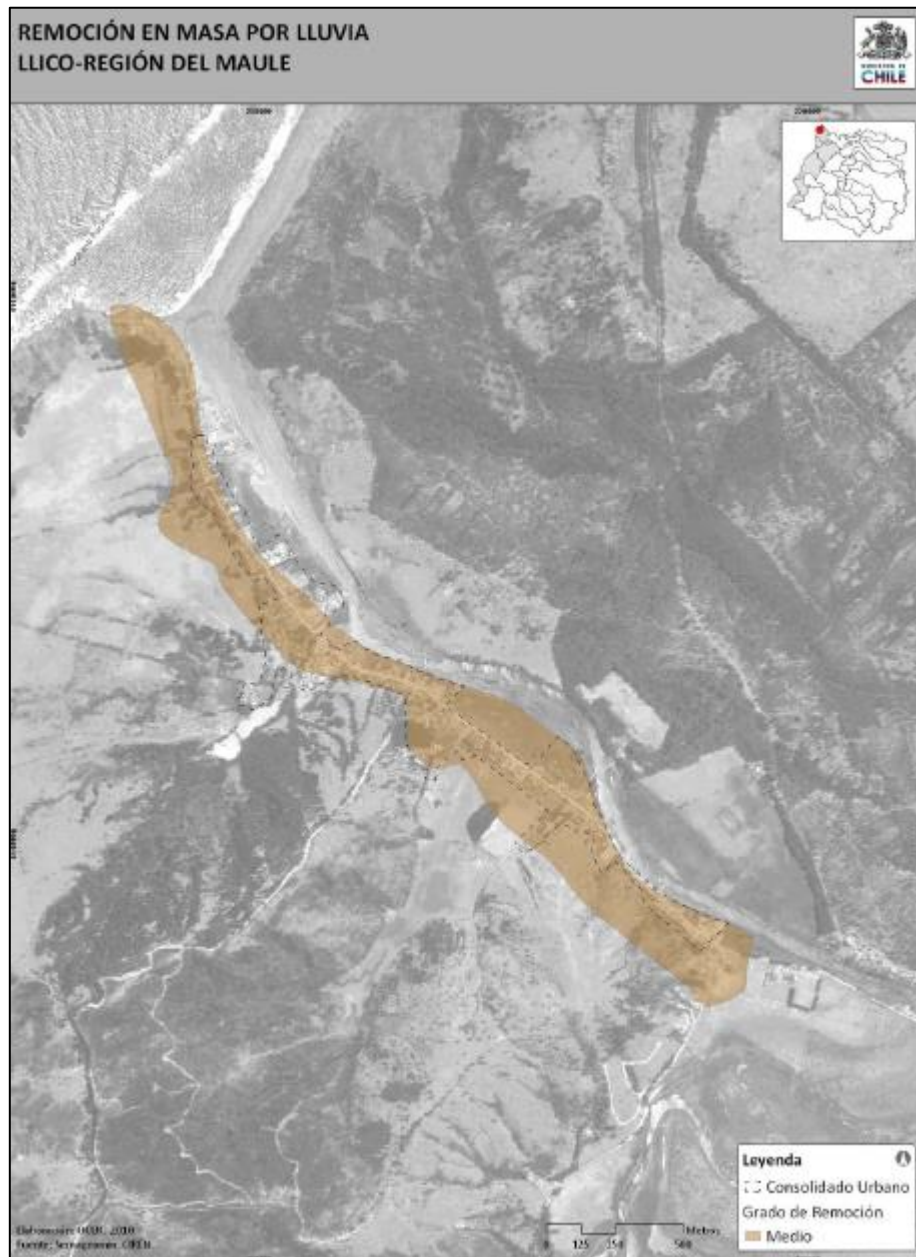


Figura 3-5: Modelación con condición de borde: Barra de arena Cerrada, condición de escurrimiento crítico - Llico



Figura 3-7: Planos de referencia de la marea, rada Llico, ACUA Ltda.

PUERTO SECUNDARIO :	RADA LLICO		
PUERTO PATRON :	VALPARAISO		
DIFERENCIAS DE MAREA CON RESPECTO AL PUERTO PATRON			
	ALTURAS (m)	HORA	
		hrs	min
PLEA	-0,06	0	15
BAJA	-0,30	0	15
		ALTURAS	
		VALPARAISO	RADA LLICO
		m	m
PROMEDIO GENERAL =		0,90	0,72
MAXIMA PLEA =		1,97	1,91
MINIMA PLEA =		0,39	0,33
PROMEDIO PLEAS =		1,37	1,31
MAXIMA BAJA =		1,54	1,24
MINIMA BAJA =		0,04	0,00
PROMEDIO BAJAS =		0,43	0,13

Estudio de Oleaje

A continuación se presentan un resumen de los principales resultados obtenidos en el estudio de oleaje realizado por la DOP el año 2012. En este estudio se propagó desde aguas profundas hasta aguas someras la base de datos de 20 años de espectros bidireccionales, Olas Chile Nodo Constitución, a la cota -20 metros. Los resultados son los que se extrajeron del nodo marcado con un círculo rojo en la Figura 3-8 y sus coordenadas son las que se presentan en la Tabla 3-1.

Figura 3-8: Ubicación nodos extracción de resultados estudio de oleaje Llico, Acua 2012



Tabla 3-1: Coordenadas nodos, estudio de oleaje Acua Ltda.

Nodo	Latitud	Longitud	Cota
6193	766481	61533801	-20

Resultados Clima Operacional

Tabla 3-2: Tabla de incidencia Nodo 6193 Altura y Dirección

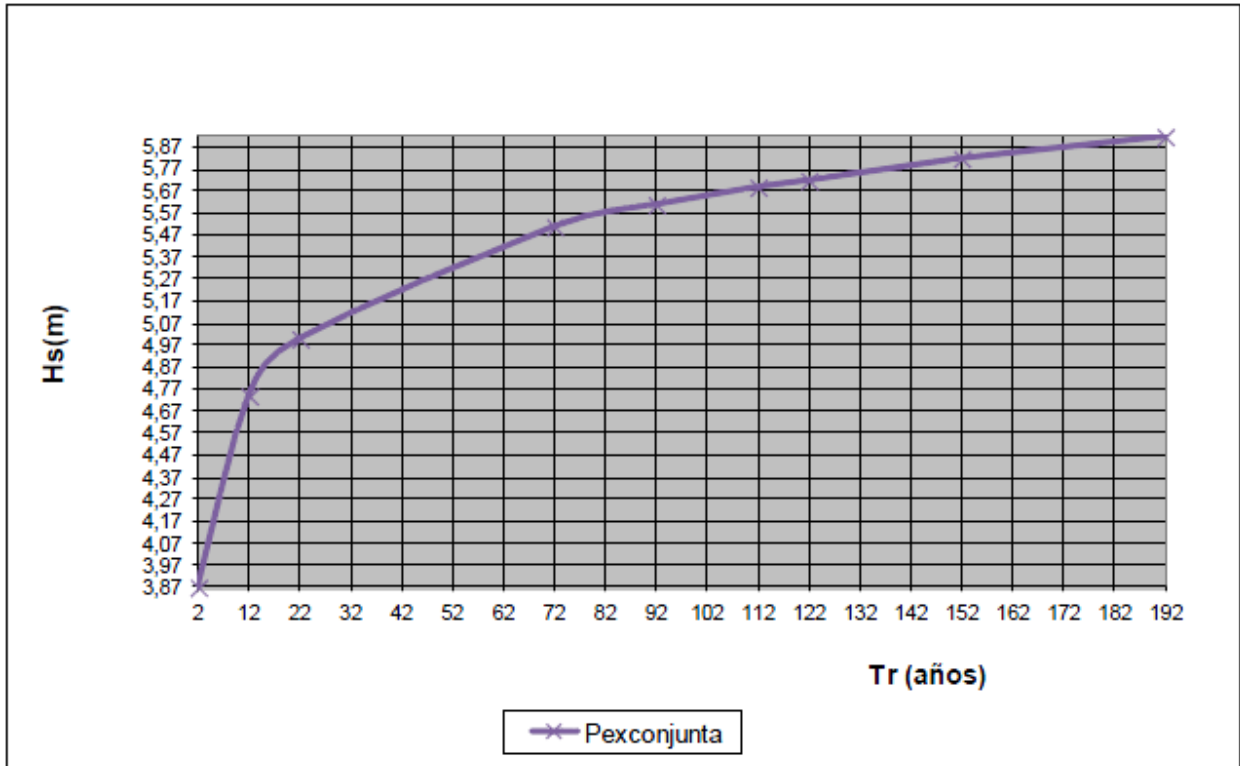
	Dirección\Hmo	0,0 - 0,5	0,5 -1,0	1,0 - 1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5	Total [%]	Exced [%]
N	0											0	100,000
NNE	22,5											0	100,000
NE	45											0	100,000
ENE	67,5											0	100,000
E	90											0	100,000
ESE	112,5											0	100,000
SE	135											0	100,000
SSE	157,5											0	100,000
S	180											0	100,000
SSW	202,5											0	100,000
SW	225											0	100,000
WSW	247,5		0,56	4,26	3,68	0,78	0,03					9,31	90,690
W	270	0,04	5,3	28,78	34,46	13,58	2,97	0,77	0,19	0,04	0,03	86,16	4,530
WNW	292,5		0,18	0,86	1,05	0,94	0,63	0,38	0,11	0,05	0,02	4,22	0,310
NW	315			0,02	0,09	0,1	0,07	0,03				0,31	0,000
NNW	337,5											0	
	Total [%]	0,04	6,04	33,92	39,28	15,4	3,7	1,18	0,3	0,09	0,05	100	
	Excedencia [%]	99,96	93,92	60,00	20,72	5,32	1,62	0,44	0,14	0,05	0,00		

Tabla 3-3: Tabla de incidencia Nodo 6193 Tp v/s Dirección

	Dirección\Tp(s)	0,0 - 2,0	2,0-4,0	4,0-6,0	6,0-8,0	8,0-10,0	10,0-12,0	12,0-14,0	14,0-16,0	16,0-18,0	18,0-20,0	>20	Total [%]	Exced [%]
N	0												0	100
NNE	22,5												0	100
NE	45												0	100
ENE	67,5												0	100
E	90												0	100
ESE	112,5												0	100
SE	135												0	100
SSE	157,5												0	100
S	180												0	100
SSW	202,5												0	100
SW	225												0	100
WSW	247,5			0,02	0,77	1,68	3,35	2,81	0,52	0,15	0,02	0,01	9,33	90,67
W	270				0,22	2,79	20,63	38,05	17,19	6,05	1,10	0,12	86,15	4,52
WNW	292,5			0,03	0,48	0,97	1,22	1,02	0,36	0,12	0,02		4,22	0,30
NW	315				0,17	0,12		0,01					0,30	0,00
NNW	337,5												0	0,00
	Total [%]	0	0	0,05	1,64	5,56	25,2	41,89	18,07	6,32	1,14	0,13	100	
	Excedencia [%]	100,00	100,00	99,95	98,31	92,75	67,55	25,66	7,59	1,27	0,13	0,00		

Resultados Clima Extremo

Tabla 3-4: Análisis valores extremos en aguas someras



Parámetros considerados para el diseño

Tabla 3-5: Parámetros considerados según ACUA

Parámetro	Valor mNRS
Pleamar media	+1.31
Pleamar máxima	+1.91
20% Pleamar media (wind setup+storm surge)	0.26 m
NMD=Nivel marea de diseño	+1.57

Resumen resultados Estudio de Niveles del Lago Vichuquén

Las mediciones de niveles del lago se obtuvieron de registros de limnómetro, de la capitania de puerto de lago Vichuquén, medidos desde enero a diciembre del 2009 y desde mayo a diciembre del 2011, y de un registro medido con mareógrafo posicionado en las coordenadas 34°50'37.59 S y 72°3'29.99" W, desde enero a abril de 2012.

Los niveles del lago obtenidos fueron:

Nivel mínimo= 0.54 mNML

Nivel Máximo= 2.05 mNML

Estudio de Vientos

Se realizaron mediciones de vientos por un periodo de un año con una estación meteorológica instalada a 7 metros de altura en el Lago Vichuquén, entre los días 8 de enero del 2011 al 16 de enero del 2012. Las coordenadas donde se instaló el instrumento corresponden a Latitud: 34° 50' 39.34''S y Longitud: 72° 3' 31.22''W.

Los resultados del estudio de vientos se presentan a continuación:

Figura 3-9: Distribución de frecuencia de la dirección y magnitud del viento (m/s) medidos en Lago Vichuquén, Acua 2011.

(m/s)/Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Ocurrencia	Excedencia
Calmas																	25231	67.26	32.74
1-2	1761	1306	543	160	162	204	373	1076	1039	343	153	120	59	45	114	674	8132	21.68	11.07
2-4	2385	553	25	3	4	15	50	470	232	9					4	198	3948	10.52	0.54
4-6	170	34															204	0.54	0.00
Total general	4316	1893	568	163	166	219	423	1546	1271	352	153	120	59	45	118	872	37515	100.00	
% Ocurrencia	11.50	5.05	1.51	0.43	0.44	0.58	1.13	4.12	3.39	0.94	0.41	0.32	0.16	0.12	0.31	2.32	32.74		
% Excedencia	88.50	83.45	81.94	81.50	81.06	80.47	79.35	75.23	71.84	70.90	70.49	70.17	70.01	69.89	69.58	67.26			

Figura 3-10: Rosa de vientos de la distribución de frecuencia de la magnitud y dirección de vientos en Lago Vichuquén, Acua 2011.

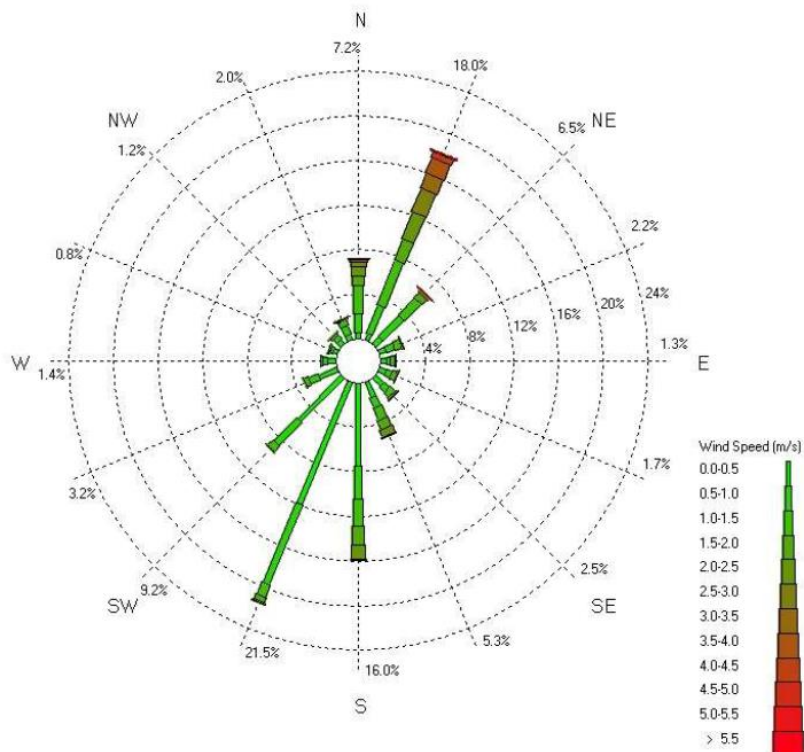


Figura 3-11: Distribución de frecuencia de la dirección del viento medido en Lago Vichuquén, Acua 2011.

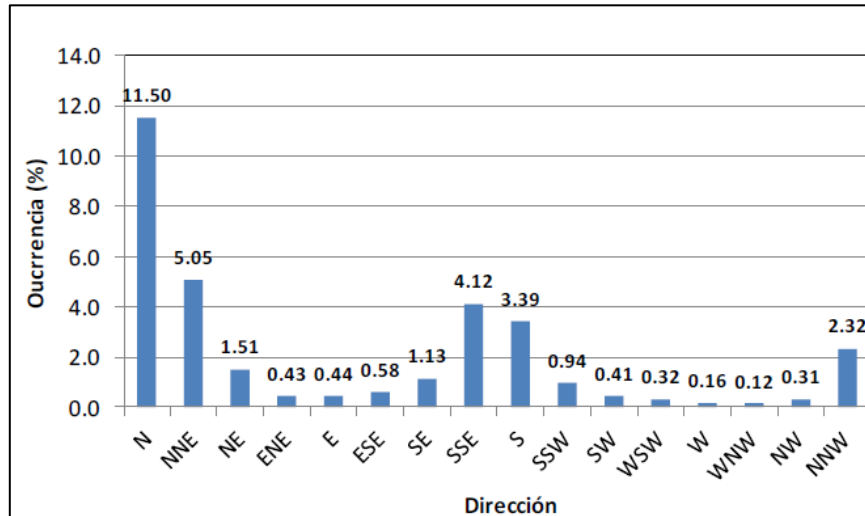
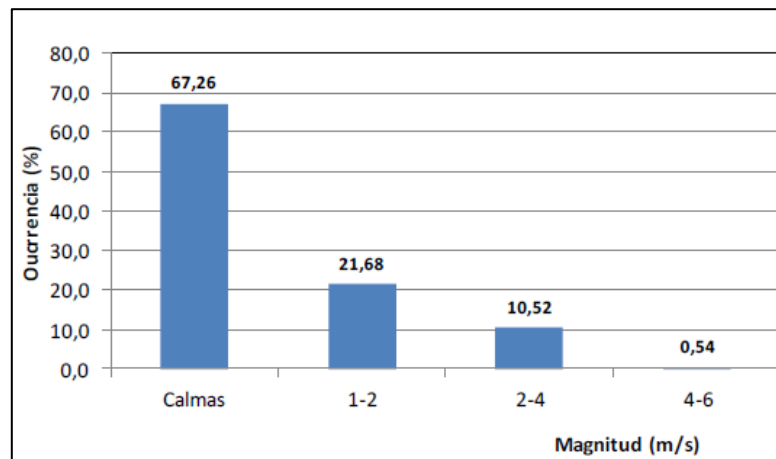


Figura 3-12: Distribución de frecuencia de la intensidad del viento medido en el Lago Vichuquén, Acua 2011.



De lo observado en la Figura 3-9, Figura 3-10, Figura 3-11 y Figura 3-12, En términos de frecuencia, la incidencia de los vientos observados presentó un predominio global de las direcciones asociadas al 2º y 3er cuadrante. En términos direccionales específicos la dirección N es la que presentó un mayor porcentaje de ocurrencia con un 11.5%, seguida de la dirección NNE con un 5.05%. Por lo tanto la condición reinante corresponde a los vientos provenientes del N específicamente en el rango de velocidades entre 2 y 4 m/s con un 6.4% del total de casos.

Como valor de diseño se recomienda considerar velocidades de 5,9 [m/s] para 50 años de período de retorno, 5,7 [m/s] para 25 años de período de retorno y 5,5 [m/s] para 10 años de periodo de retorno.

3.1.3 Proyecto “Control de Inundaciones Laguna Llico y Lago Vichuquén – Unión Comunal de Juntas de Vecinos del Lago Vichuquén, Laguna Torca y Laguna de Llico” – RTC Ingenieros, año 2009.

Este proyecto, se ejecutó en el año 2009 a petición de la Unión Comunal de Juntas de Vecinos del Lago Vichuquén, Laguna Torca y Laguna de Llico, el que tuvo por objetivo principal la ejecución de la ingeniería básica y de detalles de una barrera semimóvil, ubicada en el cauce del estero Llico. Para lo anterior se ejecutaron los siguientes estudios de terreno:

- Topografía
- Calicatas

Y se desarrollaron los siguientes estudios:

- Estudio Hidrológico
- Modelación
- Diseño estructural de detalles

Cabe destacar que este estudio fue desarrollado previo al terremoto y tsunamis ocurridos el 27 de febrero del año 2010, por lo que los estudios de terreno serán utilizados solo como referencia para el presente proyecto.

3.2 Revisión del Estado del Arte Estudios Hidrodinámicos

Se revisaron y analizaron los antecedentes referentes al Lago Budi entregados por la DOP Nivel Central durante la licitación de la presente consultoría.

La problemática que se presenta en el sector de la desembocadura del Río Budi es similar a la problemática que abordará esta consultoría, por lo que de acuerdo a las soluciones planteadas para la desembocadura del Río Budi, es que se evaluará y analizará la mejor solución para la desembocadura del estero Llico.

La DOP hizo entrega de los siguientes antecedentes:

1. ETES, MEX, PRE Planos, entre otros del Proyecto “Construcción embarcadero menores varios sectores Lago Budi”, Alfonso Campusano Osoros.
2. Evaluación de alternativas para la solución de las inundaciones en Lago Budi – Informes de Etapa 1 y 2, INH, año 2010.

El objetivo principal del estudio fue realizar un análisis conceptual de posibles soluciones a la problemática de inundaciones del Lago Budi en la zona costera, sean estas de carácter temporal y/o permanente por medio de un estudio conceptual de las condiciones de oleaje y su relación con el comportamiento morfodinámico de la costa.

3. Investigación condiciones naturales Lago Budi, Alfonso Campusano año 2000.

En términos generales, este estudio resume las condiciones naturales del sector de estudio como vientos, olas, nivel del lago, corrientes, mecánica de suelos y los anteproyectos de las obras proyectadas.

4. Pre factibilidad obras de mejora desembocadura Lago Budi

El objetivo de este proyecto fue definir y analizar alternativas de solución de los problemas de inundación de las riberas del lago Budi, interviniendo el sector de la barra del lago Budi.

Además se indagó acerca del estado del arte de este tipo de estudios hidrodinámicos, y se obtuvieron diversas referencias que serán utilizadas posteriormente en el desarrollo de la Etapa 2 del presente proyecto. Algunos de los proyectos que han tenido un desarrollo directo de estudios hidrodinámicos que han sido desarrollados son:

- Estudio Hidrodinámico y transporte de sedimentos para el Proyecto “Diseño de ingeniería y construcción Infraestructura Portuaria Caleta Tubul” desarrollado para DOP VIII Región el año 2011, el cual contempló una caracterización de las condiciones hidrodinámicas del Río Tubul en su desembocadura posterior al terremoto ocurrido el día 27 de febrero de 2010, la zona de estudio correspondió a la que se muestra en la Figura 3-13.

Figura 3-13: Zona de estudio Proyecto Río Tubul año 2011



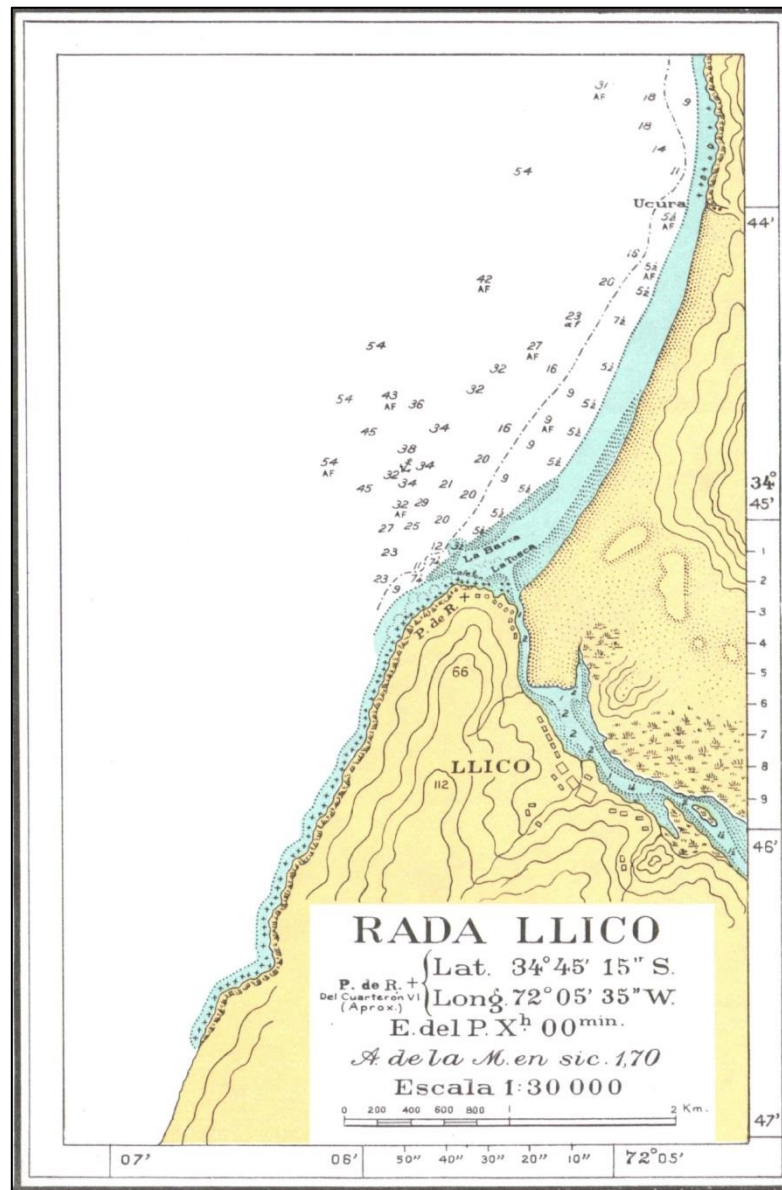
Los análisis asociados se desarrollaron mediante modelaciones matemáticas utilizando el software MIKE Zero y su módulo hidrodinámico MIKE 21 FMHD. Dadas las características de estuario se incorporó en la modelación condiciones oceánicas obtenidas del estudio de oleaje desarrollado para el proyecto. En este proyecto la problemática consistió en identificar los posibles problemas de embancamiento y/o socavación del río Tubul desde una perspectiva del uso como vía de navegación para pequeñas embarcaciones pesqueras. Se elaboró un análisis conceptual para recomendar alternativas respecto de la problemática del transporte de sedimentos, y además se utilizó para evaluar el comportamiento actual y con futuras obras fluviales que modifiquen el régimen de transporte de sedimento de la zona de estudio.

- Estudios básicos Construcción espigones de encauzamiento Río Carampangue – desarrollado para la DOP VIII Región el año 2007, el cual contempló el análisis de la factibilidad de construir obras de encauzamiento en el río Carampangue con el fin de evitar inundaciones en las zonas aledañas, además de analizar la factibilidad de construir espigones de encauzamiento en la parte baja del río para evitar el embancamiento en su desembocadura y la formación de una barra en su salida. La zona de estudio corresponde a la que se presenta en la Figura 3-14.

Figura 3-14: Zona de estudio Proyecto Río Carampangue año 2007



Figura 3-16: Carta náutica en papel Rada de Llico

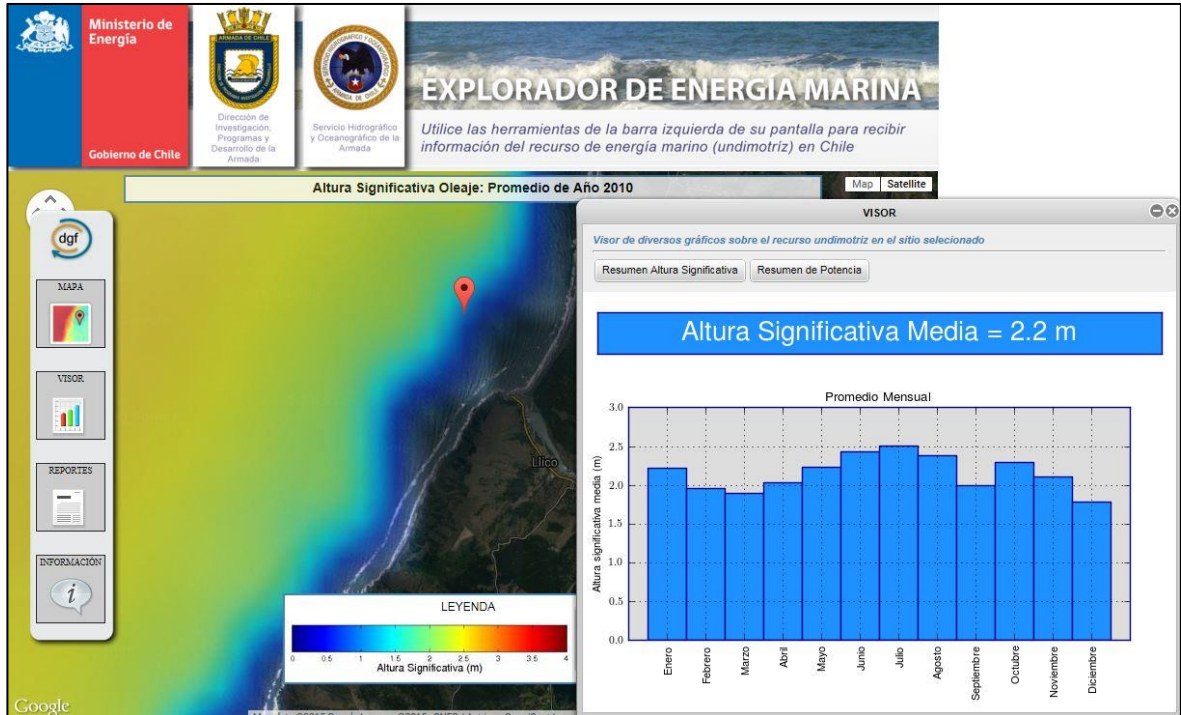


3.4 Proyecto Explorador Marino Undimotriz

Se recopilaron los antecedentes del Proyecto Exportador Marino Undimotriz, que es una herramienta destinada a proveer información del recurso energético Undimotriz (energía de las olas), en sectores marítimos-oceánicos de las cercanías del borde costero de Chile.

Para el sector costero de Llico, se obtuvo un reporte de altura de ola según se observa en la siguiente figura, las condiciones de oleaje en esta zona tienen una altura significativa en promedio del orden de 2.2 metros.

Figura 3-17: Vista del explorador de energía marina para el sector de Llico

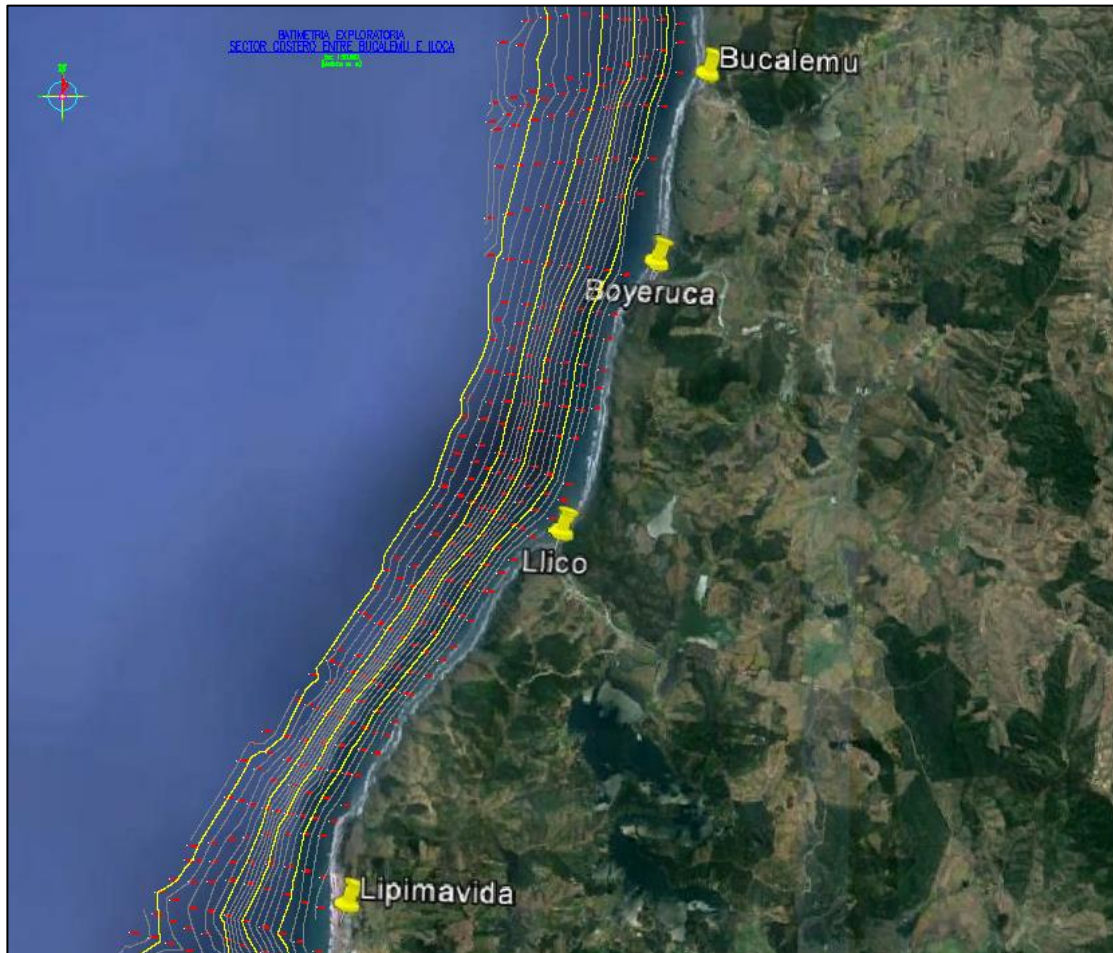


Cabe señalar que esta información pasa a ser una referencia para la etapa de modelaciones costeras del presente proyecto.

3.5 Batimetría proporcionada por la DOP

La Dirección de Obras Portuarias ejecutó un levantamiento batimétrico exploratorio desde la localidad de Lipimavida hasta Bualemu, hasta el veril -100 metros.

Figura 3-18: Batimetría Exploratoria ejecutada por la DOP



Este levantamiento batimétrico será complementado con la batimetría que se realice en el sector de estudio, requerida en los Términos de Referencia de la presente consultoría.

3.6 Imágenes Aéreas SAF

Con el objetivo de examinar la evolución histórica de la zona de estudio, se adquirieron imágenes del Servicio Aéreo Fotogramétrico (SAF), de los años 1978, 1995 y 1997 del sector de Llico – Vichuquén, a continuación se presentan ejemplos de las imágenes adquiridas.

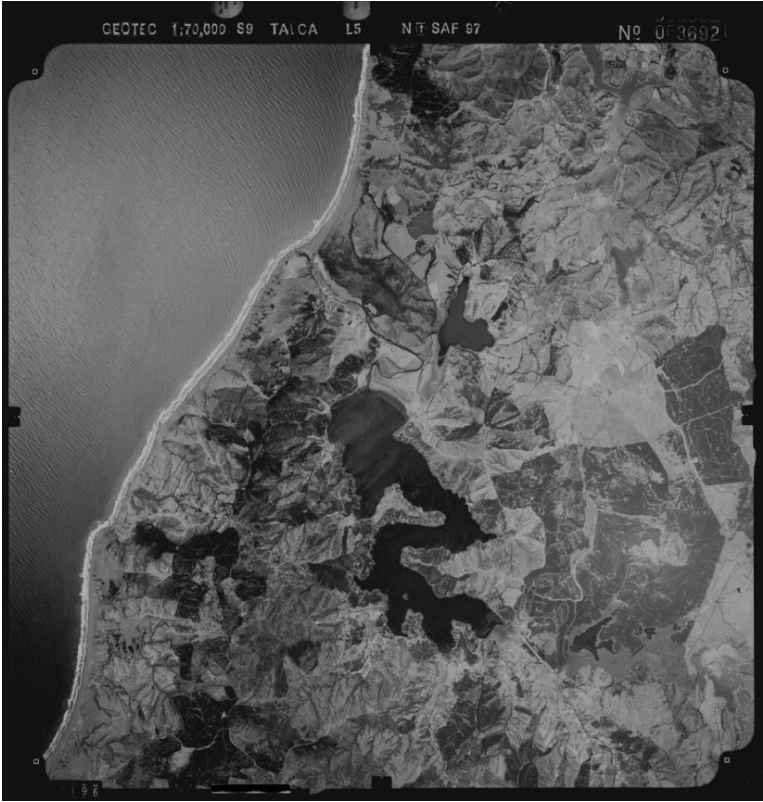
Figura 3-19: Imagen aérea SAF año 1978



Figura 3-20: Imagen aérea SAF año 1994



Figura 3-21: Imagen aérea SAF año 1997



3.7 Cartas IGM

Se adquirieron cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM) en formato Shape, correspondientes a Llico y Bucalemu:

- F020_SHP_SIRGAS19 - Llico
- F029_SHP_SIRGAS19 – Bucalemu

Figura 3-22: Cartas IGM F20 y F29 adquiridas

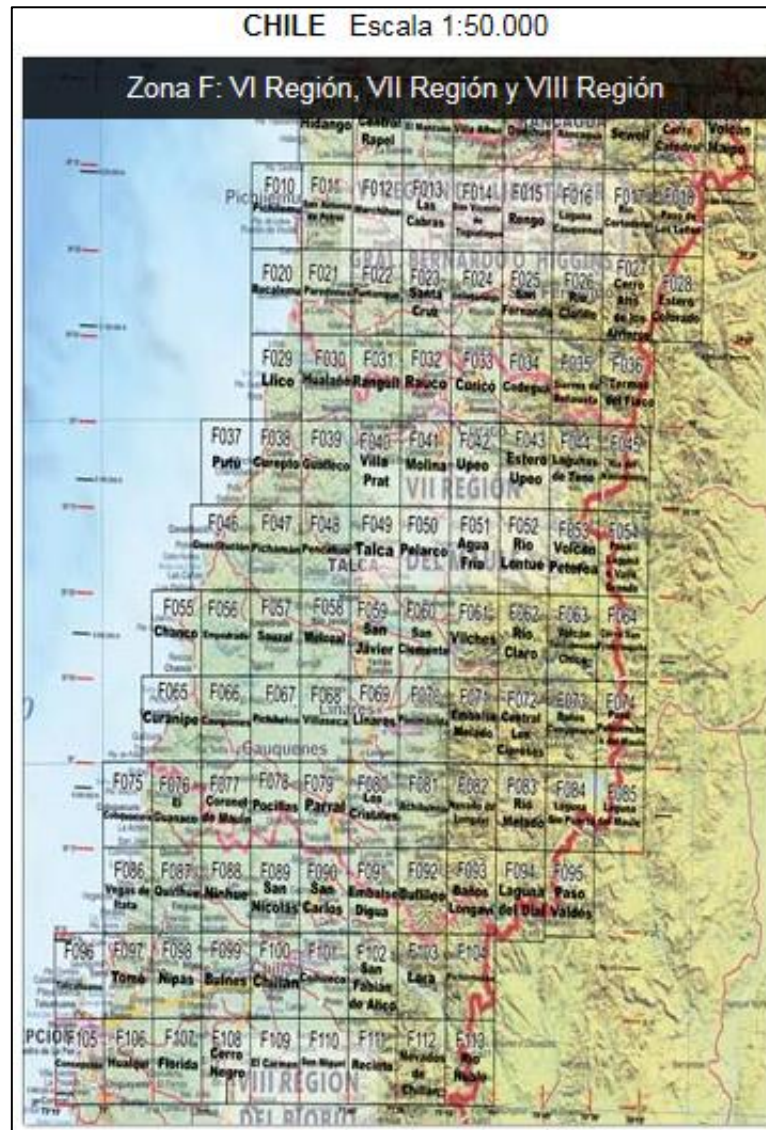
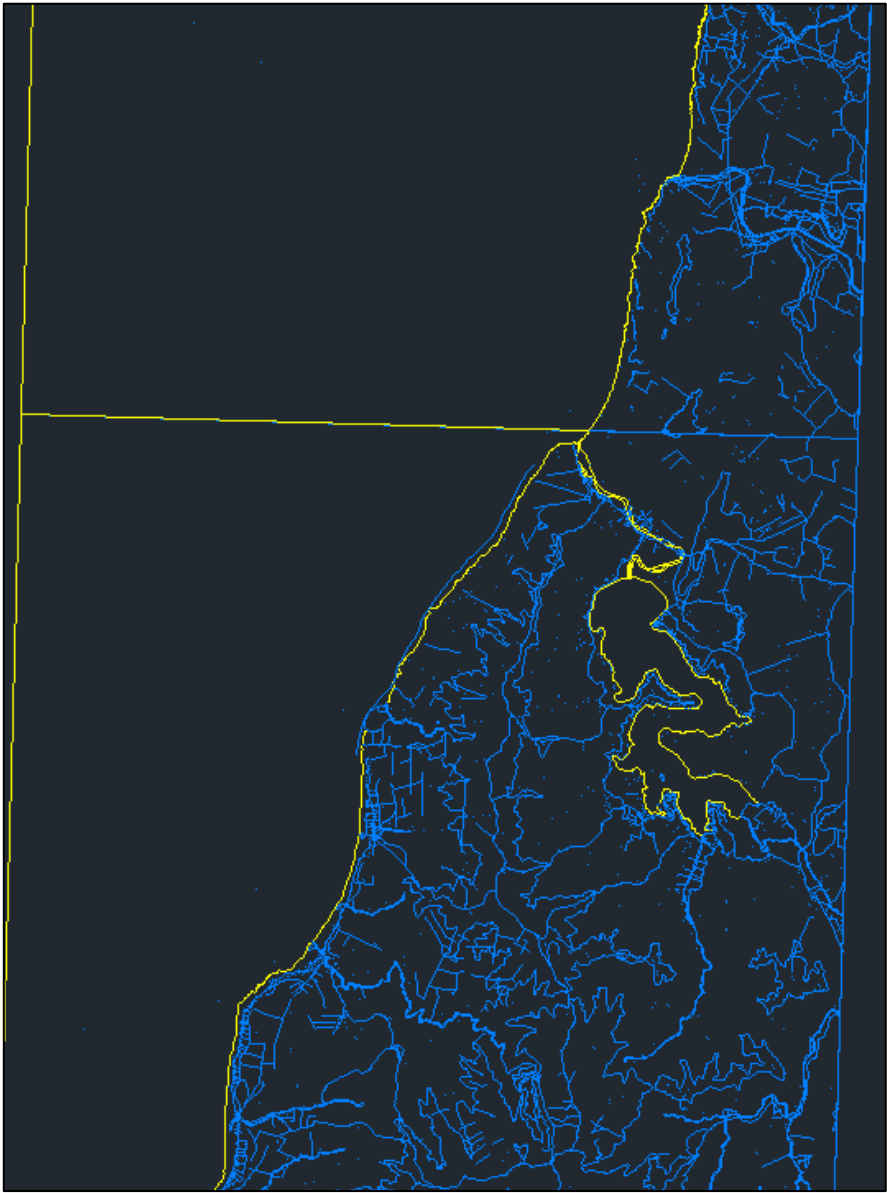


Figura 3-23: Cartas IGM Llico – Vichuquén vistas en AutoCAD



3.8 Minuta N°17 de 7 de mayo de 2015, Muestreo de Calidad de aguas del lago y estero Llico – Dirección General de Aguas (DGA)

Esta minuta, tiene como objetivo informar sobre la situación de calidad de aguas del lago Vichuquén de acuerdo a la Dirección General de Aguas.

En resumen, en esta minuta se exponen las mediciones de los años 2013 y 2014 de parámetros físicos del agua como conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura, también resultados de parámetros químicos como nitrógeno total, fósforo total, clorofila a y fitoplancton.

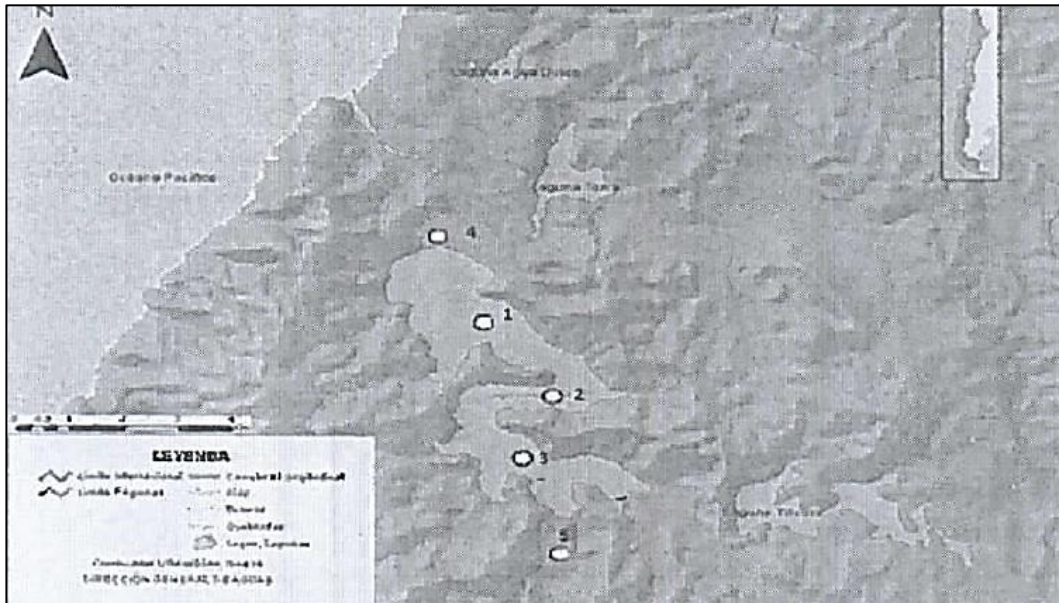
Se expone además un análisis de la condición trópica del lago Vichuquén, en el cual se determina si el lago se encuentra o no en estado de eutrofización de acuerdo a los rangos de oligotrofia, mesotrofia, eutrofia e hipereutrofia.

El programa de monitoreo implementado por DGA se resume en la tabla siguiente.

Figura 3-24: Muestreo implementado por la DGA en el lago Vichuquén

Lago	Estación de muestreo	Áreas	Coordenadas UTM Datum WGS84, Huso 19(°)	Código BNA
Vichuquén	1.Z max	Pelagial (PEL)	6144653 N- 219423 E	07000011-3
	2.Sector Centro	Pelagial (PEL)	6142635 N – 220061 E	07000009-1
	3.Sector Bahía Vichuquén	Pelagial (PEL)	6141308 N – 220804 E	07000007-5
	4.Estero Llico	Afluente	6141600 N – 219423 E	07000008-3
	5.Estero Vichuquén	Efluente	6140069 N – 223034 E	07000008-3
Periodos y profundidad de muestreo estaciones pelagial	Z max verano		0m /10 m	
	Centro verano		0m /10 m /17m	
	Bahía Vichuquén verano		0m /8 m	
	Z max Otoño		0m /10 m	
	Centro Otoño		0m /10 m /17m	
	Bahía Vichuquén Otoño		0m /8 m	
	Z max primavera		0m /10 m	
	Centro primavera		0m /10 m /17m	
Periodos y profundidad de muestreo estaciones fluviales: Llico y Vichuquén	Verano		superficial	
	Otoño		superficial	
	Primavera		superficial	
Parámetros				
1. Fisicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO, SIO ₂			
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , P-PO ₄ , Fósforo total, Nitrógeno total (<i>requiere contratación del análisis o implementación del mismo en el Laboratorio DGA</i>)			
3. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) (abundancia y composición) sólo en estaciones del lago, no en fluviales. <i>Requiere contratación del análisis y adquisición de implementos de muestreo.</i>			
4. Perfil de CTD (oxígeno, temperatura y clorofila)	<i>Se obtendrán perfiles en la columna de agua hasta el fondo a través de Sonda CTD Sea and Sun adquirida recientemente esto se realizará en cada estación de monitoreo pelagial del lago, sólo en sector centro.</i>			

Figura 3-25: Estaciones de monitoreo en el lago Vichuquén 1) Zmax, 2) centro, 3) Bahía Vichuquén



A continuación se exponen los resultados de las mediciones ejecutadas en el Lago Vichuquén:

Figura 3-26: Perfiles de conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las 3 estaciones de monitoreo para diferentes fechas, marzo 2013, junio 2013, marzo 2014, junio 2014, diciembre 2014 y marzo 2015

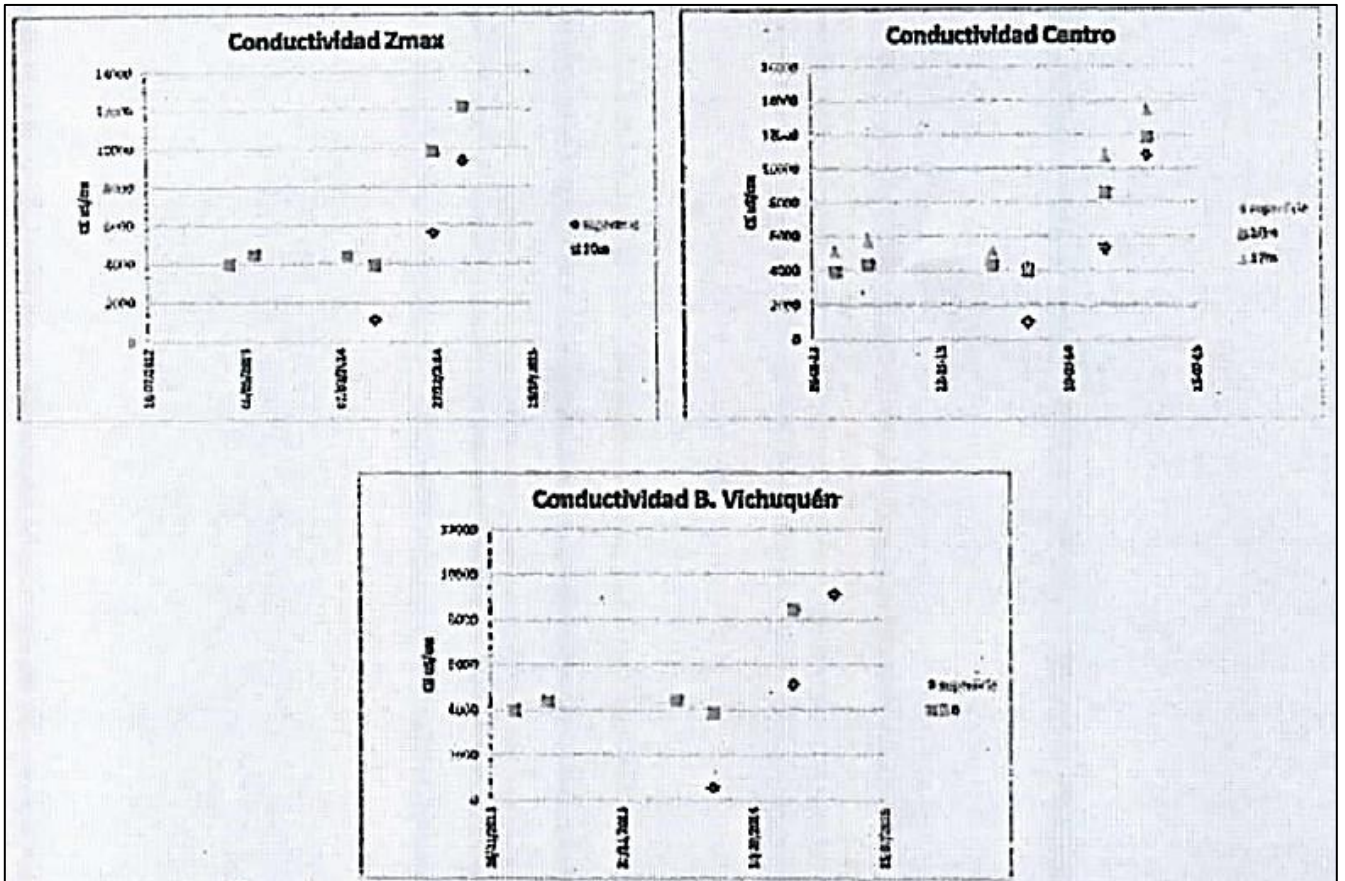


Figura 3-27: Perfiles de Oxígeno disuelto en % en las 3 estaciones para las fechas de marzo 2013, junio 2013, marzo 2014, junio 2014, diciembre 2014 y marzo 2015

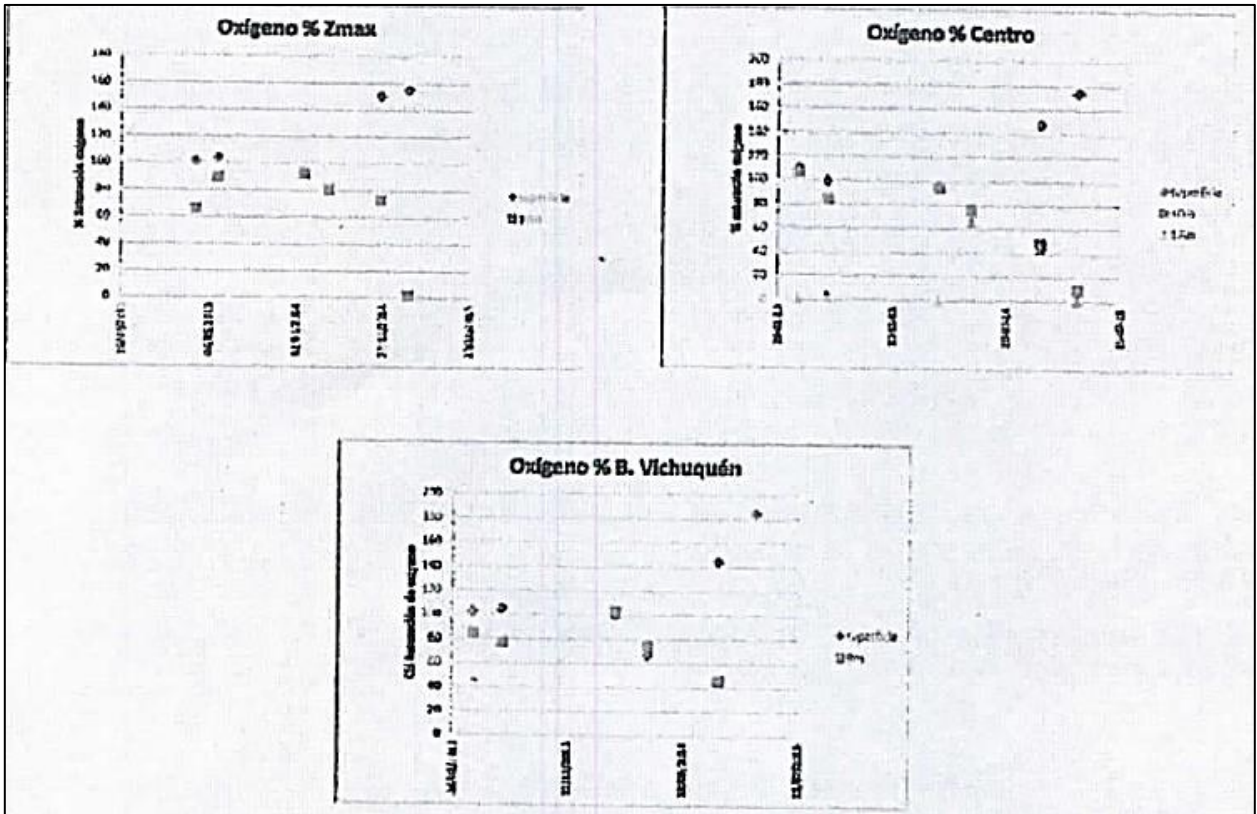
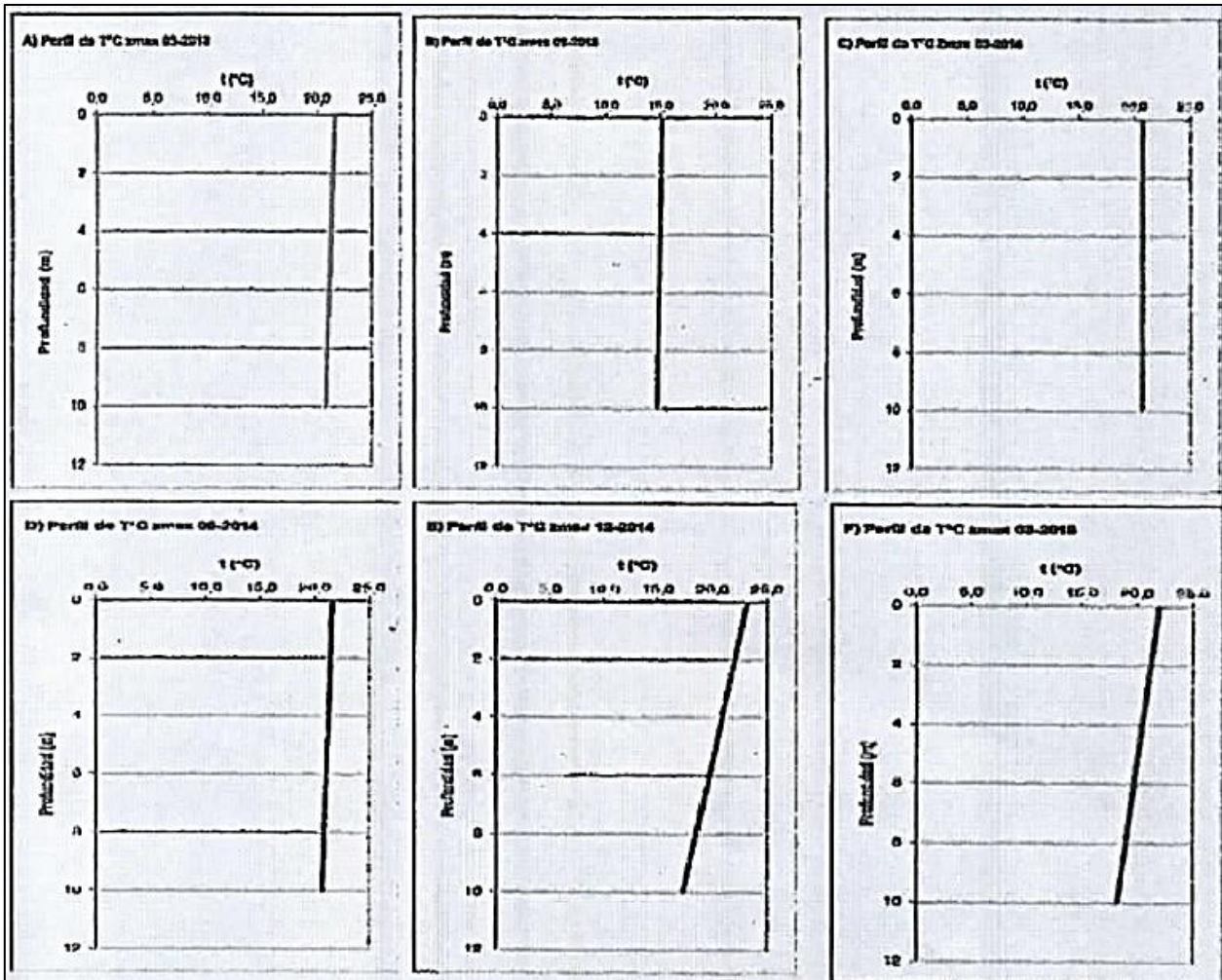


Figura 3-28: Perfiles de temperatura en la estación Zmax en diferentes fechas, A) marzo 2013, B) junio de 2013, C) marzo de 2014, D) junio de 2014, E) diciembre 2015, F) marzo 2015



3.8.1 Conclusiones Generales

- Desde el punto de vista físico, la principal vulnerabilidad de las lagunas costeras está dada por el cambio en la salinidad de las aguas o en su disponibilidad.
- En el caso del cambio de concentración de parámetros indicadores de eutroficación, el principal efecto estaría dado por el aumento de la salinidad en la columna de agua.
- El aumento de la salinidad lleva consigo la estratificación del lago en 2 capas. Esta estratificación limita la entrada de oxígeno a zonas profundas del lago, lo cual genera anoxia en el fondo que posibilita el traslado de nutrientes desde los sedimentos a la columna de agua.
- El aumento de nutrientes genera proliferación de organismos fotosintéticos en superficie, lo cual queda representado con el aumento de la clorofila y sobre saturación de oxígeno en superficie, a raíz de los procesos de la fotosíntesis.

- Existe un aumento de las cianobacterias en el lago, esto puede causar algún daño a la salud de las personas.
- La condición trófica de este lago en los últimos periodos de monitoreos corresponde a hipereutrofico.

El informe completo se encuentra en el anexo Anexo C.

3.9 Datos Pluviométricos Vichuquén

Se recopilaron datos pluviométricos del sector de Vichuquén, medidos mediante pluviómetros de ciudadanos residentes en dos sectores distintos del lago Vichuquén. Estas mediciones corresponden a la acumulación de lluvias por mes en milímetros, desde el año 1985 al 2014 (ver Figura 3-29)

Las mediciones son en milímetros y posteriormente se solicitarán las mediciones correspondientes a los meses del año 2015. Estos datos se encuentran en el Anexo Anexo C del presente informe.

Figura 3-29: Registro de lluvias en Vichuquén 1985-2014

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.	TOTAL	SECO		LLUVIOSO	
															lluvia < 0.8 p	lluvia > 1.2 p	lluvia < 0.8 p	lluvia > 1.2 p
1985	0	0	8	37	134	84	196	5	44	73	25	0	50.5	606	S			
1986	6	2	18	92	396	342	75	184	21	9	66	0	100.9	1211			LL	
1987	0	1	30	16	98	114	542	201	66	57	1	0	93.8	1126			LL	
1988	0	0	29	13	22	210	177	180	30	7	11	0	56.6	679				
1989	1	0	0	0	28	225	203	190	16	21	0	8	57.7	692				
1990	0	0	11	18	18	88	78	16	133	26	17	4	34.1	409	S			
1991	10	0	0	51	282	214	316	30	79	41	3	48	89.5	1074			LL	
1992	0	3	50	71	476	342	75	123	74	0	2	0	101.3	1216			LL	
1993	2	0	0	114	212	202	124	51	5	15	11	24	63.3	760				
1994	0	0	0	58	73	165	197	10	59	19	0	10	49.3	591	S			
1995	0	1	0	137	6	155	361	109	16	31	0	0	68.0	816				
1996	0	0	1	21	35	91	111	196	3	8	6	23	41.3	495	S			
1997	0	2	0	80	133	321	94	69	133	159	38	0	85.8	1029			LL	
1998	0	0	0	45	73	83	13	13	32	0	0	2	21.8	261	S			
1999	0	0	11	7	64	181	67	152	221	0	6	0	59.1	709				
2000	0	32	0	0	38	721	15	0	165	0	0	0	80.9	971			LL	
2001	17	0	0	64	236	19	472	172	41	6	0	0	85.6	1027			LL	
2002	0	32	114	34	261	234	150	521	174	0	0	0	126.7	1520			LL	
2003	13	0	0	0	114	150	89	43	32	27	91	0	46.6	559	S			
2004	0	0	23	63	32	130	264	142	74	52	17	25	68.5	822				
2005	0	0	24	3	221	311	121	293	39	27	53	4	91.3	1096			LL	
2006	0	0	0	24	79	390	224	168	48	83	0	0	84.7	1016			LL	
2007	0	22	0	5	27	107	212	81	13	0	0	0	38.9	467	S			
2008	0	0	4	64	273	112	183	283	0	0	0	0	76.6	919				
2009	0	0	0	0	37	225	126	142	84	24	0	0	53.2	638	S			
2010	0	0	0	0	50	207	192	42	25	50	13	0	48.3	579	S			
2011	11	0	15	44	32	150	160	210	15	0	18	0	54.6	655				
2012	0	0	0	0	141	199	33	97	0	51	0	58	48.3	579	S			
2013	0	0	0	0	128	103	113	71	26	0	0	0	36.8	441	S			
2014	0	0	0	0	227	320	40	100	60	0	0	0	62.3	747			LL	
MIN.	0	0	0	0	6	19	13	0	3	0	0	0						
PROM.	2	3	11	35	132	207	167	130	58	26	13	7						
MAX.	17	32	114	137	476	721	542	521	221	159	91	48						

Adicionalmente, y con el fin de obtener información pluviométrica oficial se solicitó información a la DGA de la región del Maule, la cual actualmente se encuentra siendo tramitada (ver respaldo de solicitud en Anexo Anexo C – Recopilación de antecedentes (respaldo digital) – 09 Datos Pluviométricos Vichuquén).

3.10 Antecedentes Mesa Técnica

La mesa técnica de Llico – Vichuquén ha proporcionado a GHD los siguientes antecedentes:

- Evaluación Limnológica General del Lago Vichuquén – Condición de invierno año 2008, Universidad de Concepción Centro de ciencias ambientales EULA Chile.
- Análisis Lago Vichuquén, División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Universidad Católica de Chile año 2013.

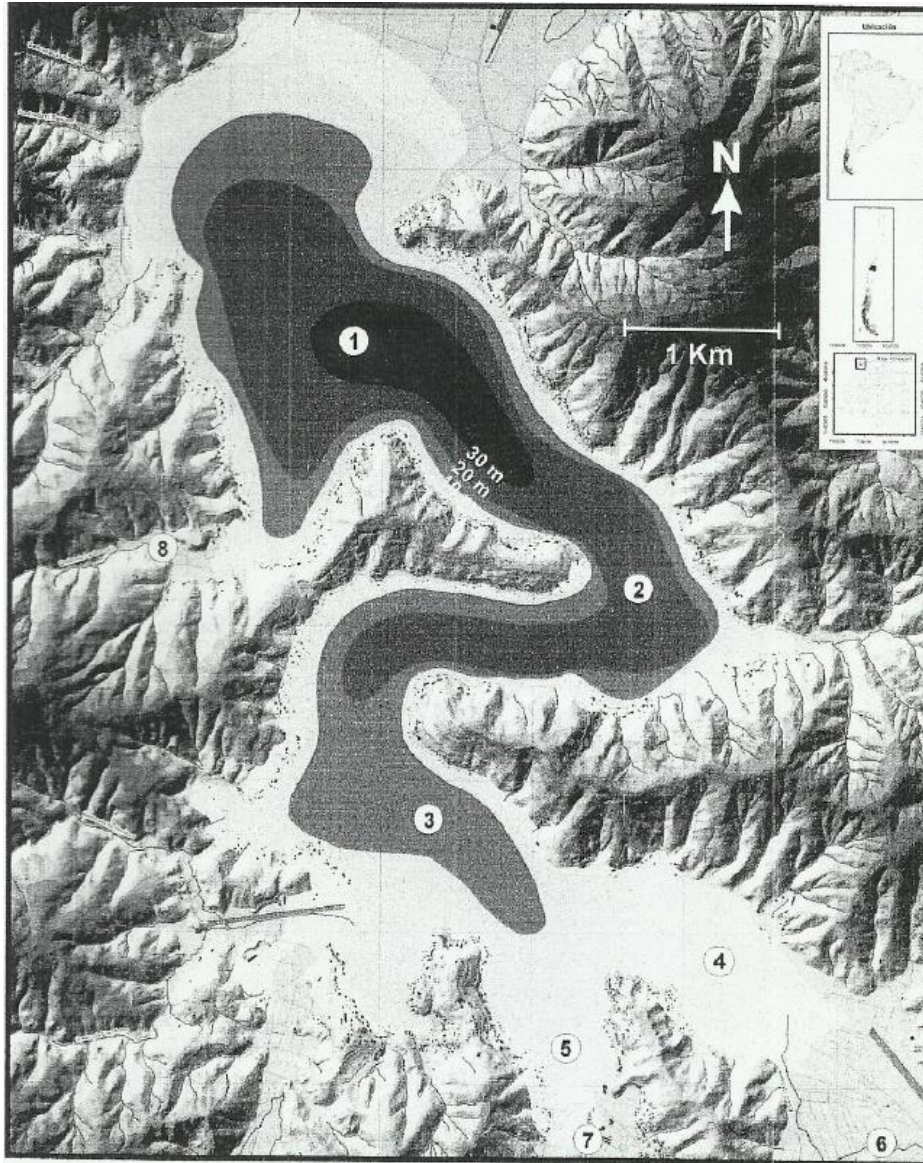
A continuación se presenta un resumen de cada uno de los estudios recopilados, para posteriormente realizar una comparación entre los muestreos ejecutados para la presente consultoría.

3.10.1 Evaluación Limnológica General del Lago Vichuquén – Condición de invierno año 2008, Universidad de Concepción Centro de ciencias ambientales EULA Chile.

Los muestreos y mediciones in situ se ejecutaron en el periodo invernal (agosto de 2008) con el objeto de caracterizar los aportes de los principales tributarios del lago. Se ejecutó también mediciones batimétricas en el lago Vichuquén.

Para la evaluación ambiental de la columna de agua del ecosistema lacustre, se muestreó en las cinco estaciones señaladas en la Figura 3-30. En cada estación se realizaron mediciones de profundidad, temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, turbidez y clorofila-a.

Figura 3-30: Localización de las 8 estaciones de muestreo, estaciones 1 a 5 corresponden a lago Vichuquén y batimetría ejecutada.



Para la evaluación del estado de los sedimentos lacustres, se muestreó en las 13 estaciones indicadas en la Figura 3-31, considerando las siguientes variables: granulometría, contenido de materia orgánica, mediciones in situ de potencial Redox y riqueza de macroinvertebrados bentónicos.

Figura 3-31: Localización de las 13 estaciones de muestreo y mediciones de sedimentos (estaciones A – M).

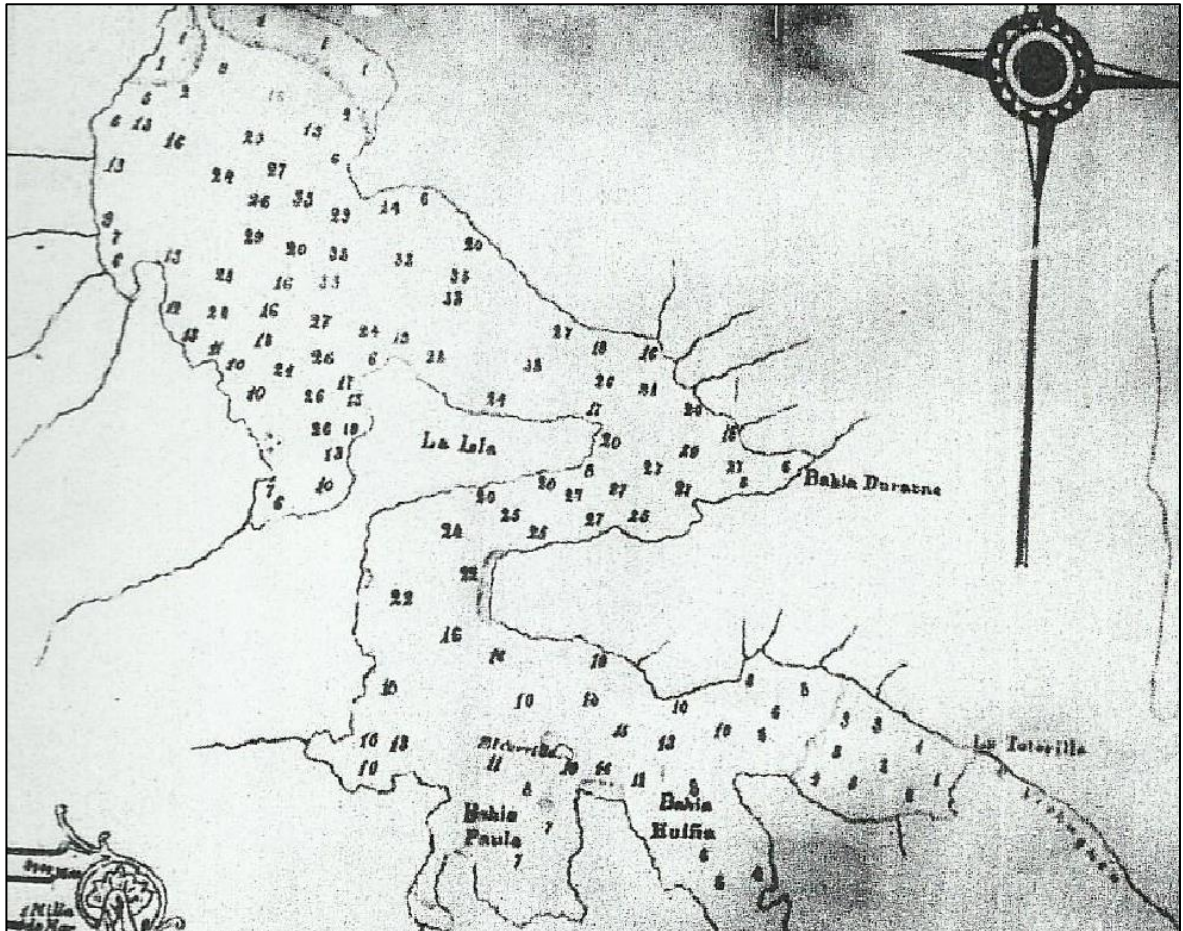


3.10.2 Resultados Obtenidos Lago Vichuquén

Batimetría

En la Figura 3-30 se muestra la batimetría ejecutada, y en la Figura 3-32 se presenta una carta de sondajes antigua ejecutado por el Almirantazgo Inglés a mediados del siglo XIX.

Figura 3-32: Carta de sondajes realizada por el Almirantazgo Inglés a mediados del siglo XIX.



La máxima profundidad registrada fue de 33 metros, en las proximidades de la Punta el Barco. Esta difiere en 2 metros de la reportada en la carta batimétrica del SHOA (ver punto 3.3).

Resultados calidad de la columna de agua

Figura 3-33: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto € y clorofila-a (f) en la estación 1 del lago Vichuquén (agosto 2008). Profundidad de la estación 30 metros.

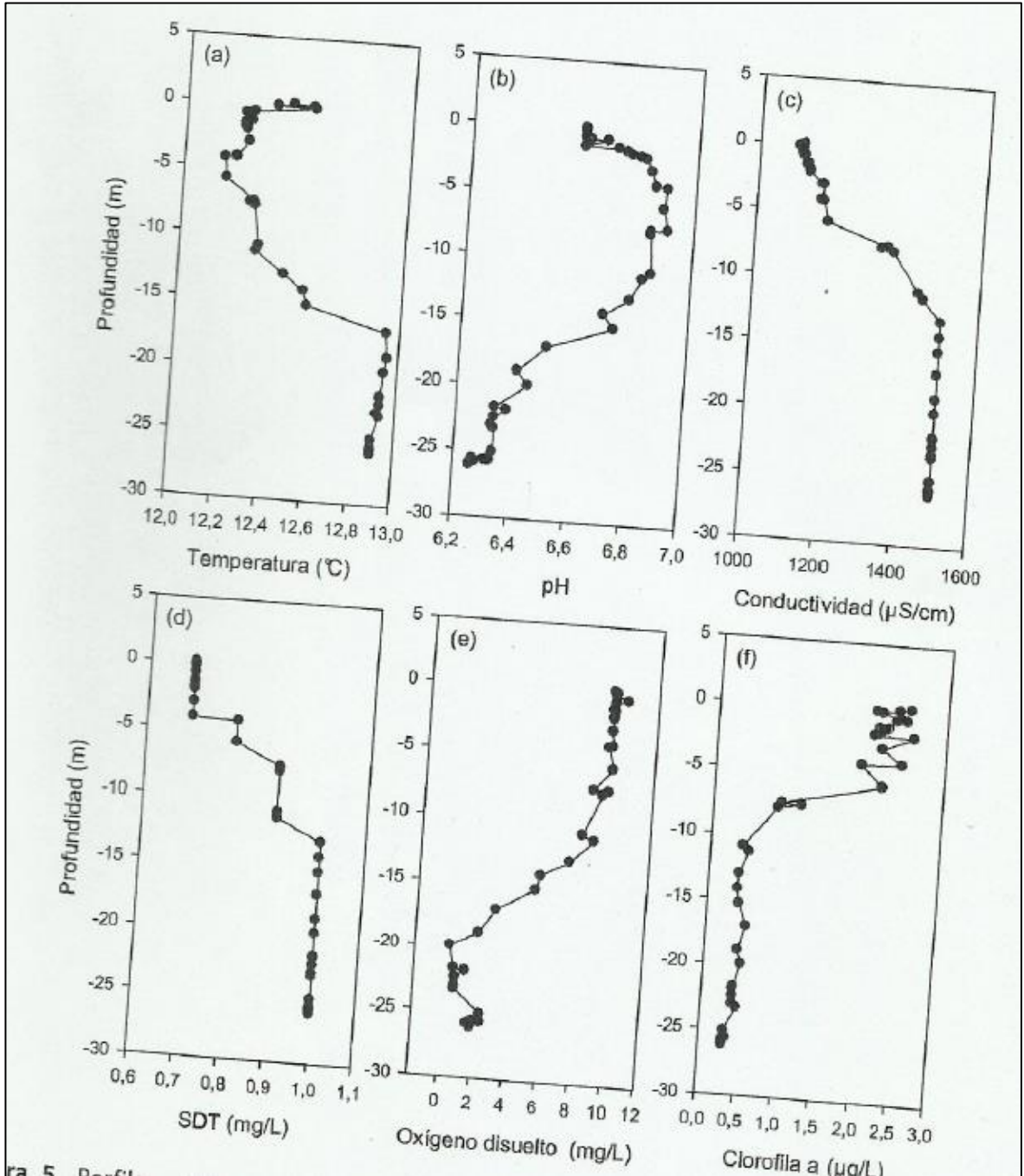


Figura 3-34: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto (e) y clorofila-a (f) en la estación 3 del lago Vichuquén (agosto de 2008). Profundidad de la estación 18 metros.

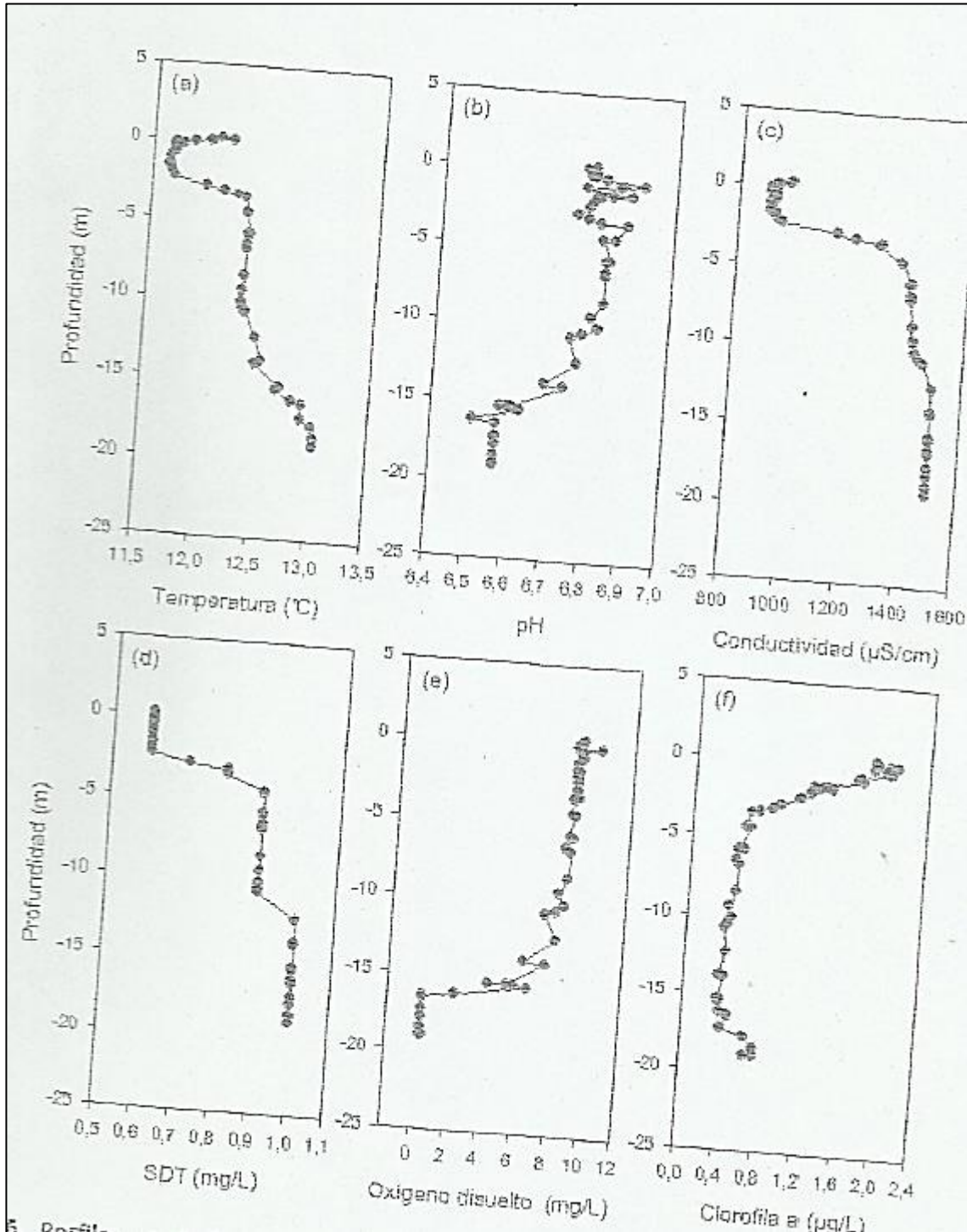


Figura 3-35: Perfiles verticales de temperature (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto €, y clorofila-a (f), en la estación 3 del lago Vichuquén (agosto 2008). Profundidad de la estación 13 metros.

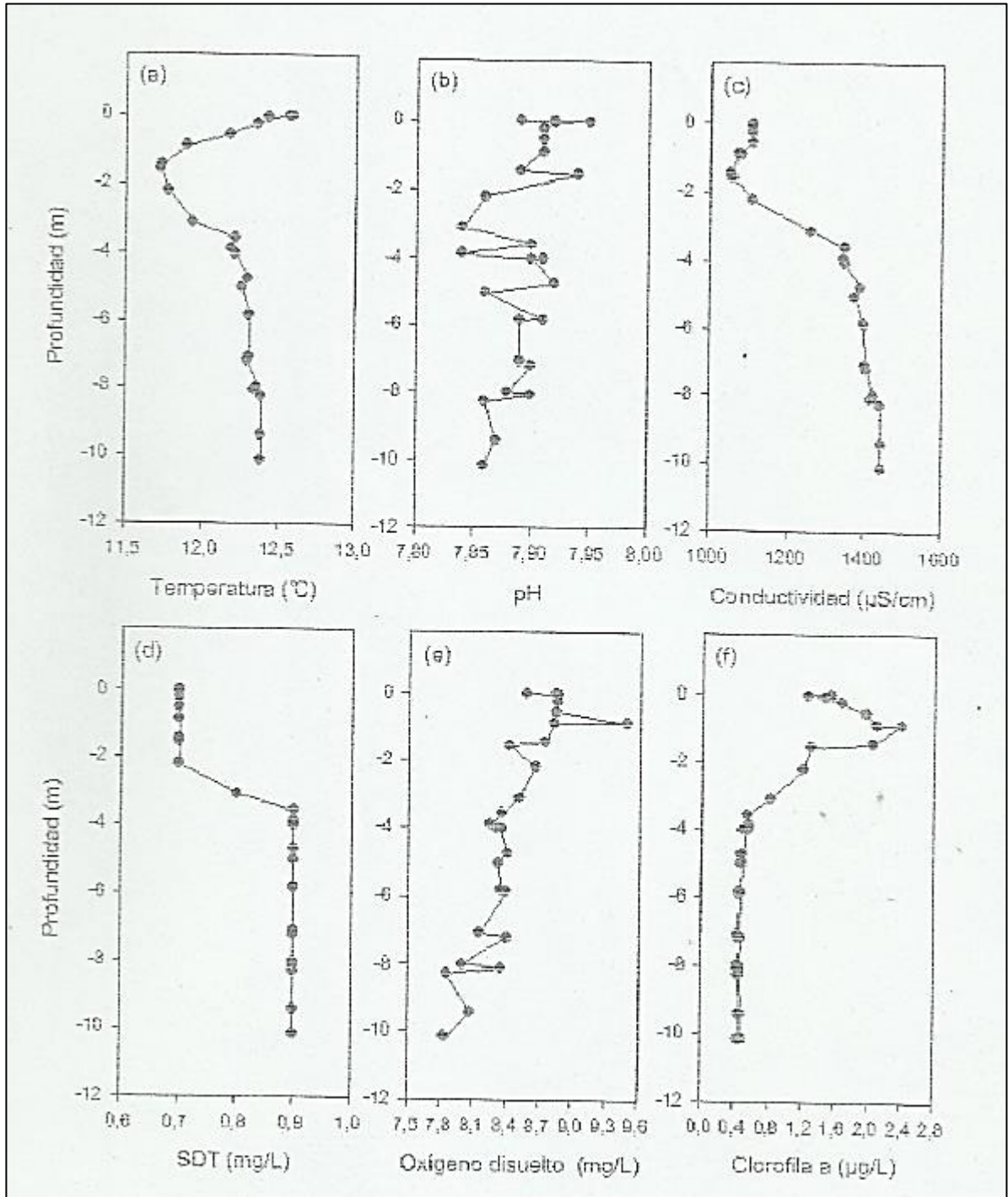


Figura 3-36: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto, y clorofila-a (f), en la estación 4 del lago Vichuquén (agosto 2008). Profundidad de la estación 3 metros.

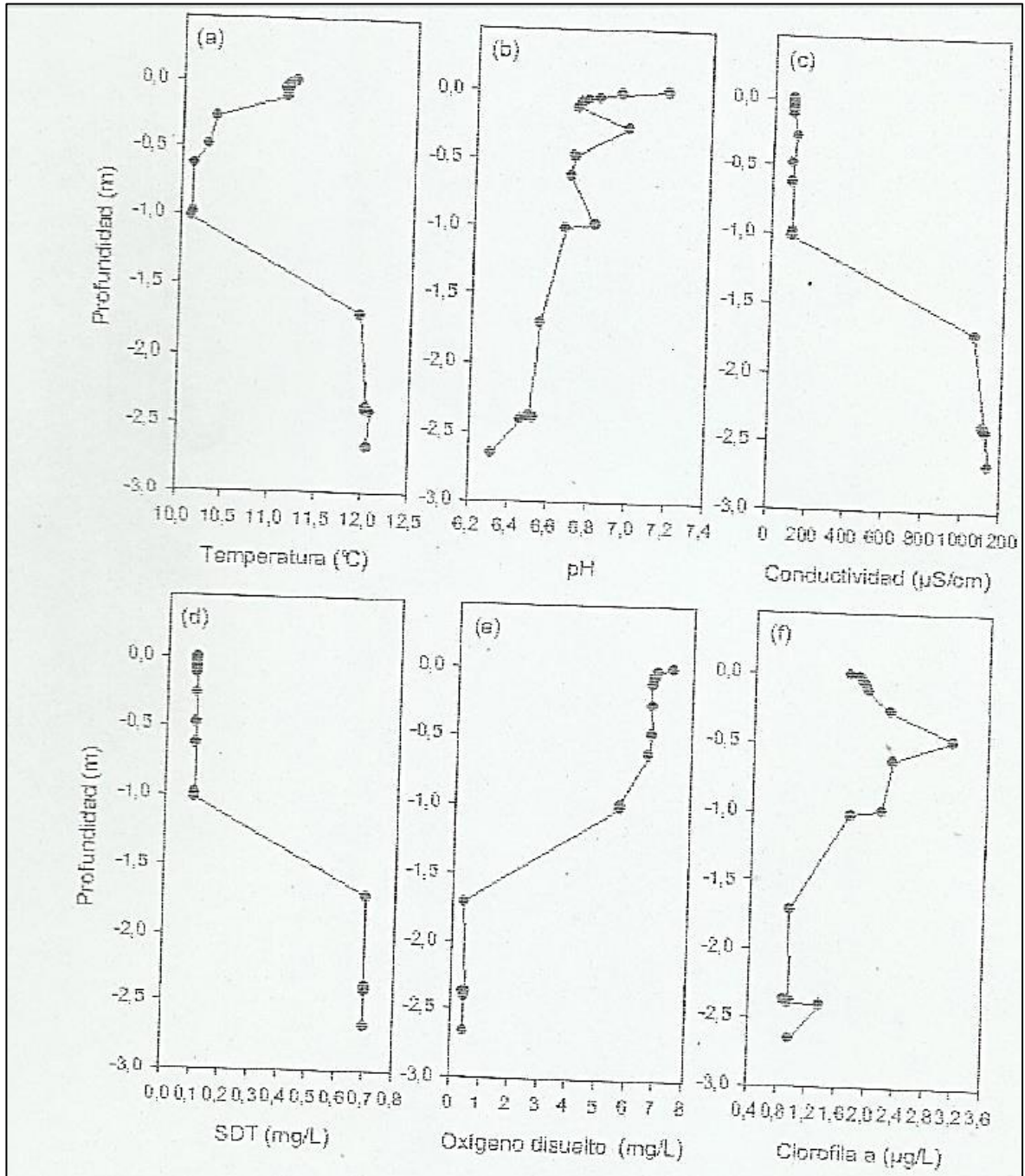


Figura 3-37: Perfiles verticales de temperatura (a), pH (b), conductividad eléctrica (c), sólidos disueltos totales (d), oxígeno disuelto (e) y clorofila-a (f) en el lago Vichuquén (agosto 2008). Profundidad de la estación 5 metros.

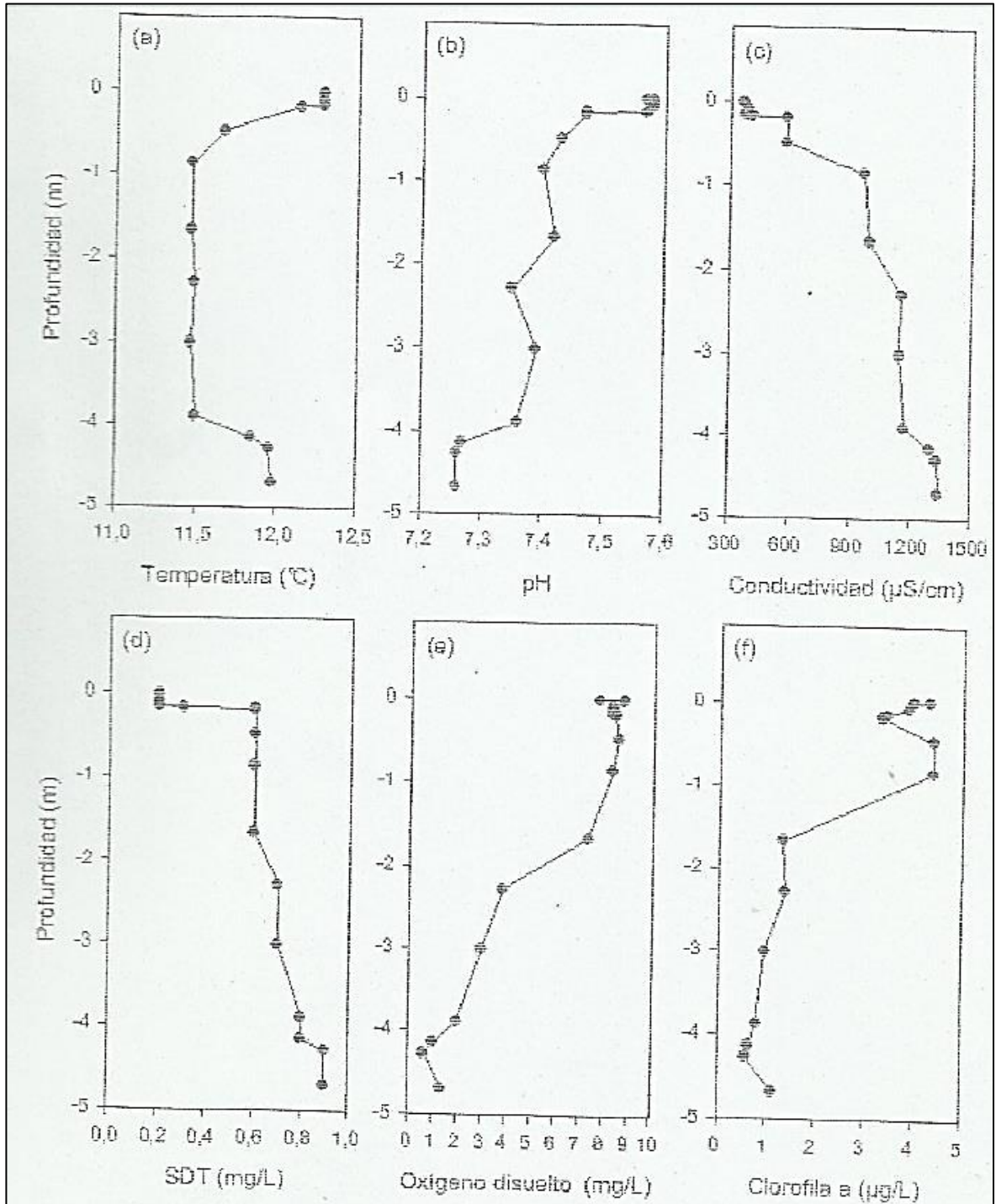


Figura 3-38: Análisis comparativo de las variables medidas en las cinco estaciones del lago vichuquén (E1 a E5) y su principal tributario (E6) muestreados en agosto de 2008.

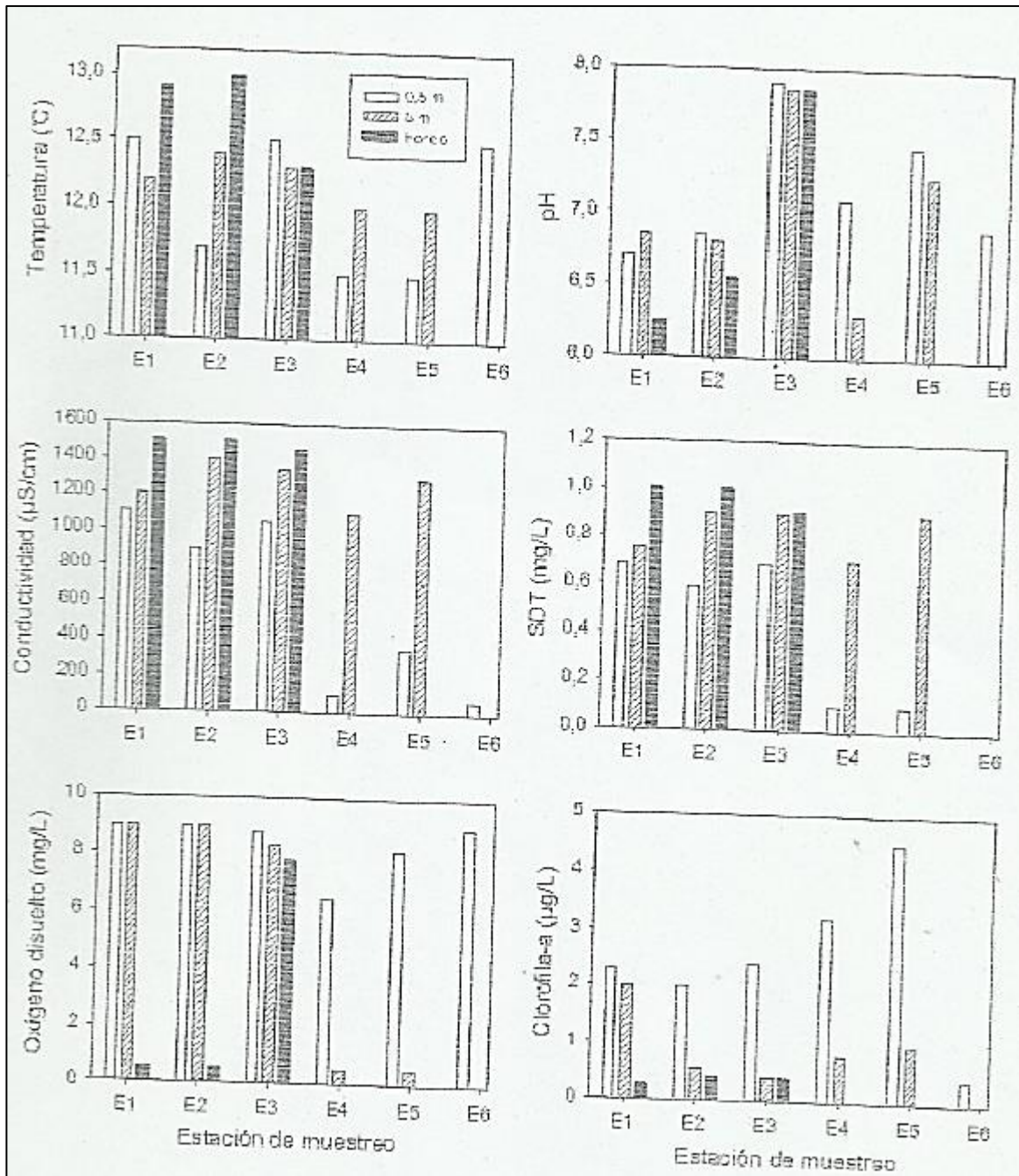


Figura 3-39: Análisis comparativo de variables medidas en lago Vichuquén (E1 a E5) y de su principal tributario (E6) muestreados en agosto de 2008.

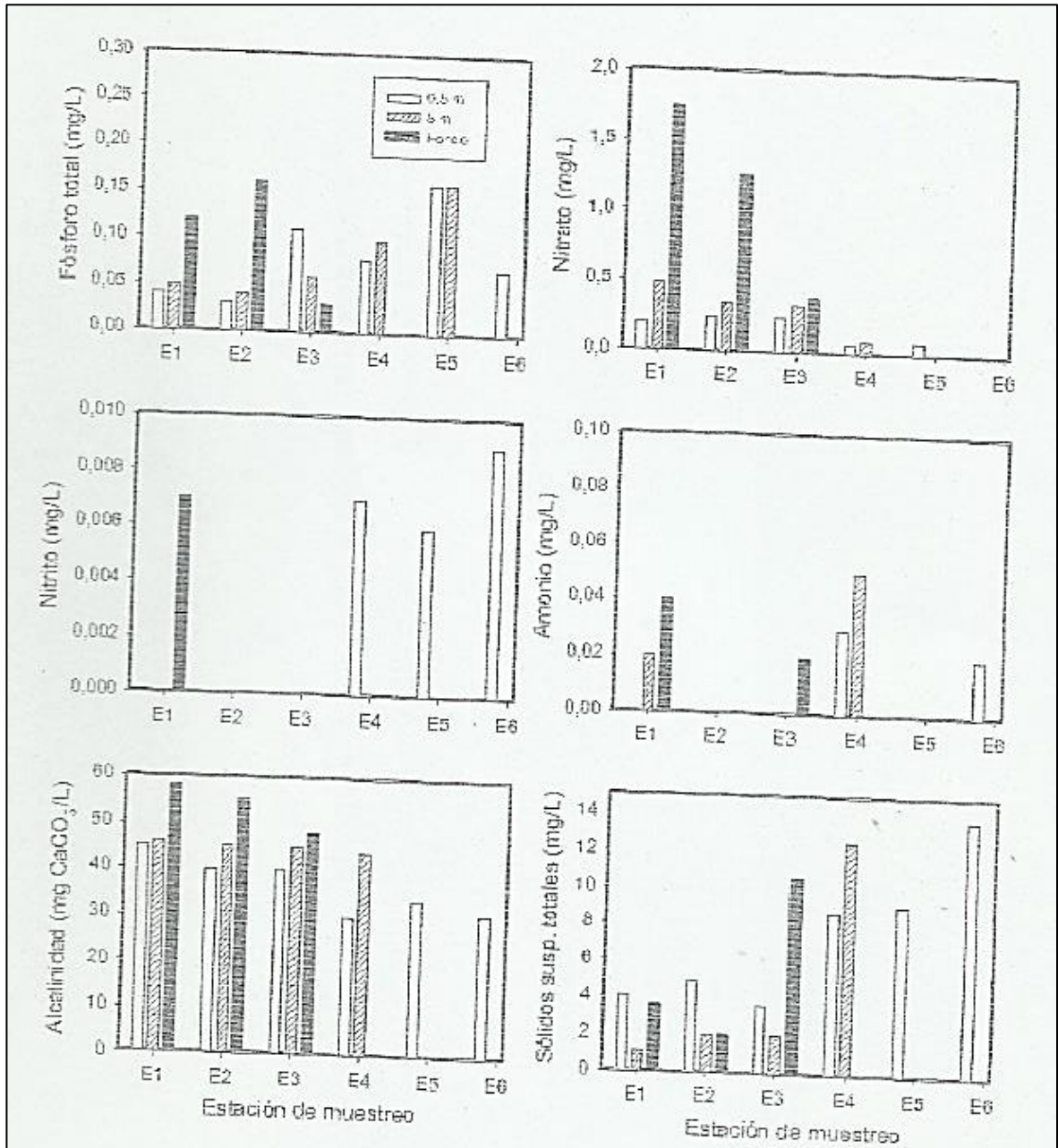
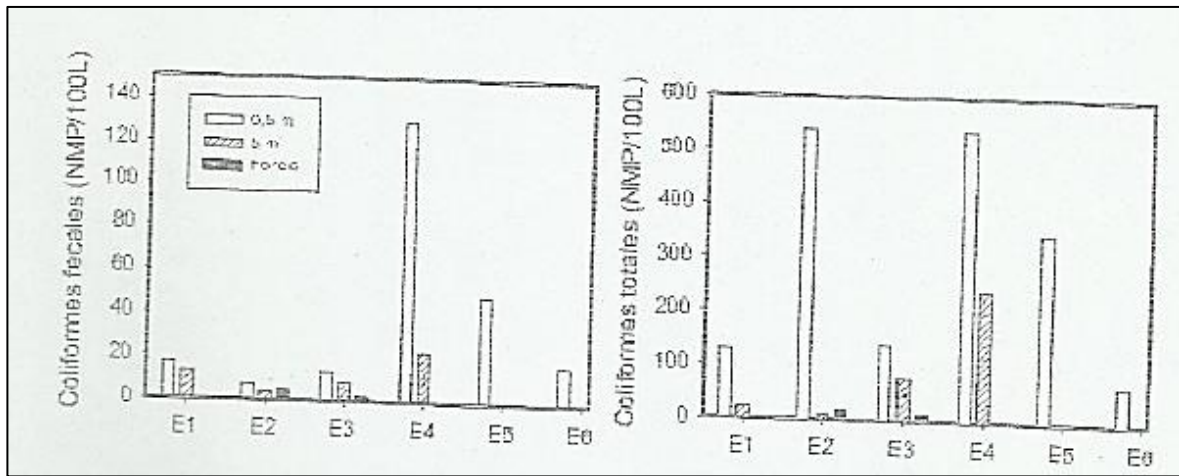


Figura 3-40: Análisis comparativo de las variables medidas en lago Vichuquén de estaciones E1 a E5 y de su principal tributario E6 muestreadas en agosto de 2008.



Resultados estado de los sedimentos

Figura 3-41: Caracterización sedimentológica y de riqueza de taxa de las 13 estaciones realizadas en los fondos del lago Vichuquén

Estación	Profundidad [m]	Grava (%)	Arena (%)	Fango (%)	Materia orgánica (%)	Potencial Redox (mV)	Riqueza de taxa
A	3	3	8	89	4	-363	0
B	7	0	0	100	5	-375	0
C	6	0	0	100	5	-210	1
D	5	0	0	100	4	-199	2
E	13	0	0	100	8	-177	2
F	4	0	0	100	4	-180	1
G	16	0	0	100	14	-395	0
H	18	0	0	100	15	-380	0
I	29	0	0	100	19	-440	0
J	4	0	0	100	3	-187	3
K	30	0	0	100	18	-450	0
L	21	0	0	100	16	-390	0
M	6	0	8	92	7	-210	0

Conclusiones

El lago Vichuquén ocupa una posición intermedia en el gradiente entre un lago somero y uno profundo. Con respecto al nivel de trofia del lago, este puede catalogarse como mesotrófica o eutrófica según el indicador considerado. Los niveles de fósforo total (TP) llegan a 0.03 mg/l que lo catalogan como mesotrófico.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se afirma que los niveles de TP todavía no son extremos, aunque la tendencia sería de ir aumentando dados los aportes hechos por la cuenca de drenaje severamente erosionada. Los lagos someros, así como en algunas zonas del lago Vichuquén, pueden pasar de un estado de aguas transparentes y dominadas por vegetación a un estado de aguas turbias sin vegetación cuando se intensifica el proceso de eutrofización.

Los procesos de eutrofización y sedimentación están presentes con mucha intensidad en el complejo lacustre vichuquén. La sedimentación del lago y lagunas adyacentes es causada por la marcada erosión de sus cuencas de drenaje despojadas de su cubierta boscosa original, en un proceso histórico ocurrido a partir del siglo XIX. El proceso de eutrofización deriva fundamentalmente de la lixiviación de las cuencas de drenaje, los aportes de aguas servidas domésticas y de ingresos esporádicos de agua de mar en invierno.

Las principales acciones humanas efectuadas en la cuenca hidrográfica del lago Vichuquén son a) Remoción del bosque nativo en las áreas de drenaje y su reemplazo por actividades agrícolas y/o en mayor parte por plantaciones forestales, b) establecimiento de asentamientos humanos. Actividades turísticas, recreativas, y construcción de caminos civiles y forestales afectando la configuración de pendientes cerca del lago, c) introducción de especies de peces y d) introducción de especies acuáticas. A lo anterior se le debe agregar que a excepción de la Laguna Torca, ningún área de la cuenca se encuentra sometida a un régimen de protección especial y prácticamente todas sus superficies son de carácter turístico y productivo, lo que explica el alto nivel de intervención al cual ha sido sometido el sistema lacustre.

El lago Vichuquén se encuentra en un estado avanzando de eutrofización, aunque todavía no está en un estado terminal o hipertrófico. Se encuentra además en condiciones de una elevada sedimentación, producto fundamentalmente de diversas subcuencas que drenan hacia el lago, pero fundamentalmente del estero Vichuquén.

3.10.3 Análisis Lago Vichuquén, División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Universidad Católica de Chile año 2013.

El día 15 de marzo de 2013 se muestrearon distintas zonas del estero Llico y Lago Vichuquén, de acuerdo a la Figura 3-42.

Figura 3-42: Ubicación aproximada de todos los puntos de muestreo en lago Vichuquén y estero Llico



Resultados

Figura 3-43: Resultados de laboratorio obtenidos para los puntos de muestreos ejecutados en estero Llico y Lago Vichuquén, en marzo de 2013.

Muestra: 4266

Identificación del Punto de muestreo: Llave de Jardín
 Dirección de Muestreo: Ignacio Carrera Pinto S/N sector La Playa, Llico
 Coordenadas UTM Huso 18 N: 6149264, E: 767030
 Coordenadas Geográficas S 34°45.832'; W 72°04.950'
 Número de medidor: 0765600
 Lectura de medidor: 7219,1 m3
 Hora de Muestreo: 13:40 hr.

1. Análisis físicos indicados en norma N.Ch.409/1 Of. 2005.

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Turbiedad (UNT)	2,8	20	16-03-13	ME-03-2007 SISS
Olor	Inodora	Inodora	16-03-13	ME-25-2007 SISS
Sabor	No Cumple	Insípida	16-03-13	ME-26-2007 SISS
Color Verdadero (Pt-Co)	8	20	16-03-13	ME-24-2007 SISS

2. Análisis químicos indicados en norma N.Ch.409/1 Of. 2005.

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Amoniaco (mgNH ₃ /L)	0,73	1,5	20-03-13	ME-27-2007-SISS
Arsénico (mg/L)	<0,006	0,01	19-03-13	*SM 3120 B
Cadmio (mg/L)	<0,0015	0,01	19-03-13	*SM 3120 B
Cloruro (mg/L)	1769,0	400 ●	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Cianuro (mg/L)	<0,05	0,05	22-03-13	*SM 4500 CN-F
Cobre (mg/L)	0,01	2,0	19-03-13	*SM 3120 B
Cromo Total (mg/L)	0,02	0,05	19-03-13	*SM 3120 B
Compuestos Fenólicos (mg/L)	<0,001	0,002	22-03-13	ME-32-2007-SISS
Flúor (mg/L)	0,3	1,5	18-03-13	ME-06-2007-SISS
Hierro Total (mg/L)	0,43	0,3	19-03-13	*SM 3120 B
Magnesio (mg/L)	114,2	125	20-03-13	*SM 3120 B
Manganeso (mg/L)	0,17	0,1	19-03-13	*SM 3120 B
Mercurio (mg/L)	<0,001	0,001	23-03-13	ME-15-2007SISS
Nitratos (mgNO ₃ /L)	<0,5	50	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Nitritos (mgNO ₂ /L)	<0,5	3,0	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Plomo (mg/L)	<0,003	0,05	19-03-13	*SM 3120 B
Selenio (mg/L)	<0,004	0,01	19-03-13	*SM 3120 B
Zinc (mg/L)	<0,01	3	19-03-13	*SM 3120 B
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	3550	1500	16-03-13	ME-31-2007-SISS
Sulfatos (mg/L)	255,8	500 ●	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
pH (25°C)	7,93	6,5-8,5	16-03-13	ME-29-2007 SISS
Razón NO ₂ +NO ₃	<0,01	1	16-03-13	♣
Cloro Libre Residual (mg/L)	0,32	▲ 0,2 -2,0	15-03-13	ISO 7393-2 Of. 85

3. Análisis Bacteriológico indicados en norma N.Ch.409/1 Of. 2005.

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Coliformes Totales (UFC/100ml)	<1	☒	16-03-13	NCh 1620/1 Of. 84
Escherichia coli (P/A)	Ausencia	☒	16-03-13	♦

Muestra: 4267

Identificación del Punto de muestreo: Efluente de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (Descarga al Estero Llico).

Dirección de Muestreo: Ignacio Carrera Pinto S/N; Coordenadas UTM Huso 18 N: 6149182, E: 767486. Coordenadas Geográficas S 34°45.869'; W 72°04.650'. Hora de Muestreo: 15:05 hr.

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	68,8	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	2,15	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	67,2	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	9,67	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	6710	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	73,2	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	0,29	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopia (algas/ml)	2,1 x 10 ³	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	≥1,6 x 10 ⁴	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Silice (mg/L)	44,2	25-03-13	*SM 3120 B

Muestra: 4268

Identificación del Punto de muestreo: Estero Llico a 40 metros al poniente de la descarga de Efluente de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas. Dirección de Muestreo: Ignacio Carrera Pinto S/N; Coordenadas UTM Huso 18 N: 6149152, E: 767506. Coordenadas Geográficas S 34°45.885'; W 72°04.636'. Hora del muestreo: 15:20 hr.

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	37,4	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7,60	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	2,7	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	0,23	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	12740	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	3,9	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	0,05	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopia (algas/ml)	10	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	8	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Silice (mg/L)	14,4	25-03-13	*SM 3120 B

Muestra: 4269

Identificación del Punto de muestreo: Estero Llico sector de Población La Concha. Coordenadas UTM Huso 18 N: 6147702, E: 769452. Coordenadas Geográficas S 34°46.638'; W 72°03.334'. Hora de Muestreo: 17:10 HR.

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	38,3	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	10,35	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	<0,5	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	0,14	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	10080	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	3,2	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	0,03	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopia (algas/ml)	2,6 x 10 ³	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	8	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Silice (mg/L)	16,8	25-03-13	*SM 3120 B

Muestra: 4270

Identificación del Punto de muestreo: Extremo Sur del Lago Vichuquén sector de desembocadura de Estero Vichuquén. Coordenadas UTM Huso 18 N: 6140619, E: 771487. Coordenadas Geográficas S 34°50.433'; W 72°01.864'. Medición de la Claridad del Agua: 1,585 m. Hora de Muestreo: 18:40 hr

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	<1	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8,25	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	3,2	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	<0,01	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	4220	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	3,9	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	0,04	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopía (algas/ml)	174	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	13	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Silice (mg/L)	1,63	25-03-13	*SM 3120 B

Muestra: 4271

Identificación del Punto de muestreo: Sector Aquelarre- Marina Vichuquén. Coordenadas UTM Huso 18 N: 6140072, E: 770244. Coordenadas Geográficas S 34°50.748'; W 72°02.655'. Medición de la Claridad del Agua: 0,980 m. Hora de Muestreo: 18:50 hr.

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	<1	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6,60	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	<0,5	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	<0,01	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	4230	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	0,6	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	0,03	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopía (algas/ml)	45	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	30	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Silice (mg/L)	2,00	25-03-13	*SM 3120 B

Muestra: 4272

Identificación del Punto de muestreo: Tunquelén-Playa Paula. Coordenadas UTM Huso 18 N: 6140490, E: 769126. Coordenadas Geográficas S 34°50.540'; W 72°03.409'. Medición de la Claridad del Agua: 1,345 m. Hora de Muestreo: 19:07 hrs.

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	<1	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8,60	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	<0,5	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	0,14	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	4210	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	0,6	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	0,03	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopía (algas/ml)	18	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	50	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Silice (mg/L)	2,01	25-03-13	*SM 3120 B

Muestra : 4273

Identificación del Punto de muestreo: Frente a la península en medio del Lago Vichuquén. Coordenadas UTM Huso 18 N: 6143207, E: 770619. Coordenadas Geográficas S 34°49.048'; W 72°02.483'. Medición de la Claridad del Agua: 1,430 m. Hora de Muestreo: 19:25 hrs.

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	<1	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8,10	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	<0,5	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	0,06	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	4170	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	0,5	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	0,02	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopía (algas/ml)	214	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	13	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Sílice (mg/L)	1,91	25-03-13	*SM 3120 B

N° de Muestra: 4274

Identificación del Punto de muestreo: Punta El Litre. Coordenadas UTM Huso 18 N: 6144738, E: 767898. Coordenadas Geográficas 34°48.264' W 72°04.295'. Medición de la Claridad del Agua: 1,295 m. Hora de Muestreo: 19:35 hrs.

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	<1	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7,35	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	<0,5	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	0,04	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	4170	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	0,5	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	<0,01	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopía (algas/ml)	97	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	50	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Sílice (mg/L)	2,66	25-03-13	*SM 3120 B

Muestra: 4275

Identificación del Punto de muestreo: Canal de Descarga del Lago Vichuquén hacia Estero Lllico. Coordenadas UTM Huso 18 N: 6144317, E: 768437. Coordenadas Geográficas S 34°46.862'; W 72°03.993'. Hora de Muestreo: 21:00 hrs.

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
DBO5 (mg/L)	29,7	16-03-13	NCh 2313/5 Of. 05
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,50	16-03-13	*SM 4500 CO
Nitrato (mg/L)	<0,5	16-03-13	ISO 10304-1 Of. 2007
Fosfato (mg/L)	0,26	21-03-13	*SM 3120 B
Conductividad Específica (µmho/cm)	8510	16-03-13	*SM 2510 B
Nitrógeno Total (mg/L)	1,9	26-03-13	*SM 4500 N
Manganeso (mg/L)	0,14	21-03-13	*SM 3120 B
Microscopía (algas/ml)	17	16-03-13	Observación Microscópica
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	< 2	16-03-13	NCh 2313/23 Of. 95
Sílice (mg/L)	0,91	25-03-13	*SM 3120 B

Conclusiones

A continuación se exponen las observaciones correspondientes a la simbología utilizada en el muestreo:

Figura 3-44: Observaciones estudio DICTUC 2013

1. Análisis y muestreo dentro del alcance de la acreditación del Laboratorio (Certificados INN LE 149 y LE 150).
2. ● La autoridad competente, de acuerdo con las instrucciones impartidas por el Ministerio de Salud, podrá autorizar valores superiores a los límites máximos señalados en esta tabla, conforme a la reglamentación sanitaria vigente.
3. ☒ El agua potable debe estar exenta de Coliformes Totales y Escherichia coli. ante la presencia de Coliformes Totales se deben tomar las medidas necesarias y remuestrear hasta que no se detecten Coliformes dos veces consecutivas.
4. P/A= Presencia o Ausencia.
5. ♣ Cálculo según NCh 409-1, Of.2005, Tabla 2.
6. ♣ Ausencia de Coliformes Totales implica Ausencia de Escherichia coli
7. ♣ Rango Aceptable.
8. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition 2005 APHA, AWWA, WEF.
9. Los resultados expuestos son válidos sólo para la muestra analizada
10. Horas de inicio de ensayos de muestras frescas y temperatura de análisis:

De acuerdo a lo anterior, se concluye que las variables medidas como cloruro y sulfatos para la muestra 4266 exceden los rangos indicados en la norma, y que se considera que hay baja presencia de coliformes fecales, ya que estos no exceden los valores predeterminados en las normas.

4. Participación Ciudadana

El desarrollo de las actividades de participación ciudadana ha considerado la identificación de los actores sociales relevantes para el proyecto. Para ello se ejecutó una campaña de terreno durante la etapa I del proyecto, en la que se entrevistaron a informantes calificados de la I.M. de Vichuquén para recopilar información del área de influencia del proyecto y poder contextualizarlo socialmente.

Una de las actividades relevantes ejecutadas en esta etapa, fue la presentación del proyecto a las autoridades locales de la comuna de Vichuquén. Esta actividad tuvo por finalidad difundir y dar a conocer la iniciativa propuesta por la DOP, entre los representantes del gobierno local y los jefes y directores de área de la I.M. de Vichuquén.

Según los planteamientos realizados en la actividad, es importante considerar que la temática ambiental posee la mayor relevancia para la autoridad local, aun cuando tiene claridad que los alcances y objetivos del proyecto no se enfocan en lo estrictamente ambiental.

La presentación del proyecto a la comunidad de Llico y del lago Vichuquén, se realizó el lunes 20 de julio a las 17:00 horas en el Gimnasio Municipal de Llico. Esta actividad tuvo por finalidad dar a conocer la iniciativa propuesta por la DOP, entre los representantes de las organizaciones sociales de las localidades de Llico y el lago Vichuquén, así como a la ciudadanía en general.

Si bien fue posible plantear de manera clara y específica los alcances de la consultoría, los planteamientos y observaciones de la comunidad se relacionan con una pronta solución a la problemática ambiental del estero Llico y el lago Vichuquén, además del levantamiento de información e inclusión en el estudio de la Laguna Torca. Si bien lo planteado por la comunidad no forma parte de los alcances de esta consultoría se debe considerar para una próxima actividad incorporar información relevante de los resultados del trabajo realizado por la mesa técnica del lago Vichuquén, con el fin de aportar un contexto de las acciones específicas que se están desarrollando para abordar la temática ambiental.

El informe detallado del proceso de participación ciudadana de la primera etapa del estudio se adjunta en el Anexo Anexo D

5. Estudio Topo batimétrico

El estudio fue desarrollado por la empresa Bordemar Ingeniería SPA, en el período comprendido entre los días 09 y 22 de Junio del 2015.

Los aspectos metodológicos para llevar a cabo este estudio, se realizaron conforme a las disposiciones del DFL 192, de la Publicación SHOA N°3105, Instrucciones Hidrográficas N°5 "Especificaciones Técnicas para la ejecución de Sondajes" y la Publicación SHOA N°3109, Instrucciones Hidrográficas N°9 "Especificaciones Técnicas para el Empleo y Aplicación de Tecnología GPS". Cabe mencionar, que el presente trabajo no contempla la aprobación otorgada por el SHOA, de estudios con "Valor Hidrográfico".

Este trabajo forma parte del proyecto "Análisis Desembocadura Estero Llico, Comuna de Vichuquén" liderado por la Dirección de Obras Portuarias (D.O.P), el cual fue autorizado mediante la Resolución DROP VIII (EX) N° 1028 (ver anexo Anexo E).

5.1 Topobatimetría Zona Desembocadura

El área del levantamiento topográfico y batimétrico se presenta a continuación. Esta área fue consensuada con el Inspector Fiscal, posterior a la visita a terreno inicial.

Figura 5-1: Área definida para el levantamiento topográfico



5.2 Batimetría Perfiles Estero Llico y Lago Vichuquén

El levantamiento de perfiles Batimétricos en el sector de estudio se realizó conforme a las disposiciones del DFL 192, de la Publicación SHOA N°3105, Instrucciones Hidrográficas N°5 "Especificaciones Técnicas para la ejecución de Sondajes" y la Publicación SHOA N°3109, Instrucciones Hidrográficas N°9 "Especificaciones Técnicas para el Empleo y Aplicación de Tecnología GPS". Estas mediciones fueron llevadas a cabo por la Empresa BordeMar Ingeniería, entre los días 11 y 18 de Junio del 2015.

El Levantamiento batimétrico fue realizado en las siguientes áreas: Lago Vichuquén, Estero Llico y Desembocadura Llico, Comuna de Vichuquén, Región del Maule. Las consideraciones para llevar

a cabo el estudio, se relacionaron con los Términos de Referencia (TDR) asociado al proyecto Ingeniería.

Las áreas del levantamiento de Perfiles y levantamiento Topobatemétrico se muestran en las Figuras

Figura 5-2: Área definida para el levantamiento de perfiles en el sector del Lago Vichuquén

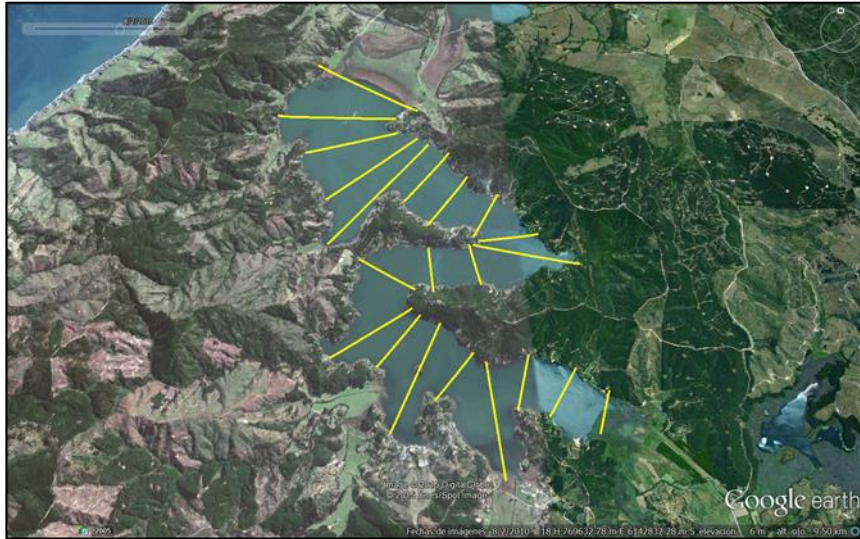


Figura 5-3: Área definida para el levantamiento de perfiles en el sector de Estero Llico



El estudio completo se encuentra en el Anexo Anexo E.

6. Estudio Sedimentológico

El período comprendido para la realización de los trabajos fue entre los días 11 y 19 de junio del presente año.

Los trabajos fueron autorizados mediante la Resolución D.SHOA ORDINARIO N°13270/24/291 de fecha 15 de abril de 2015 (ver anexo 1). Durante este periodo se

Los trabajos fueron realizados siguiendo la normativa indicada en las Instrucciones Oceanográficas N°1 SHOA PUB. 3201 "Especificaciones Técnicas para Mediciones y Análisis Oceanográficos", 3ra Edición 2005

Para la caracterización granulométrica de los sedimentos submareales en el sector de estudio, se tomaron 10 muestras de sedimento en las estaciones que se muestran en la Figura 6-1. Además, se incluye las coordenadas UTM y geográficas de cada estación de muestreo (Tabla 6-1).

Figura 6-1: Ubicación de las estaciones de muestreo para el análisis granulométrico

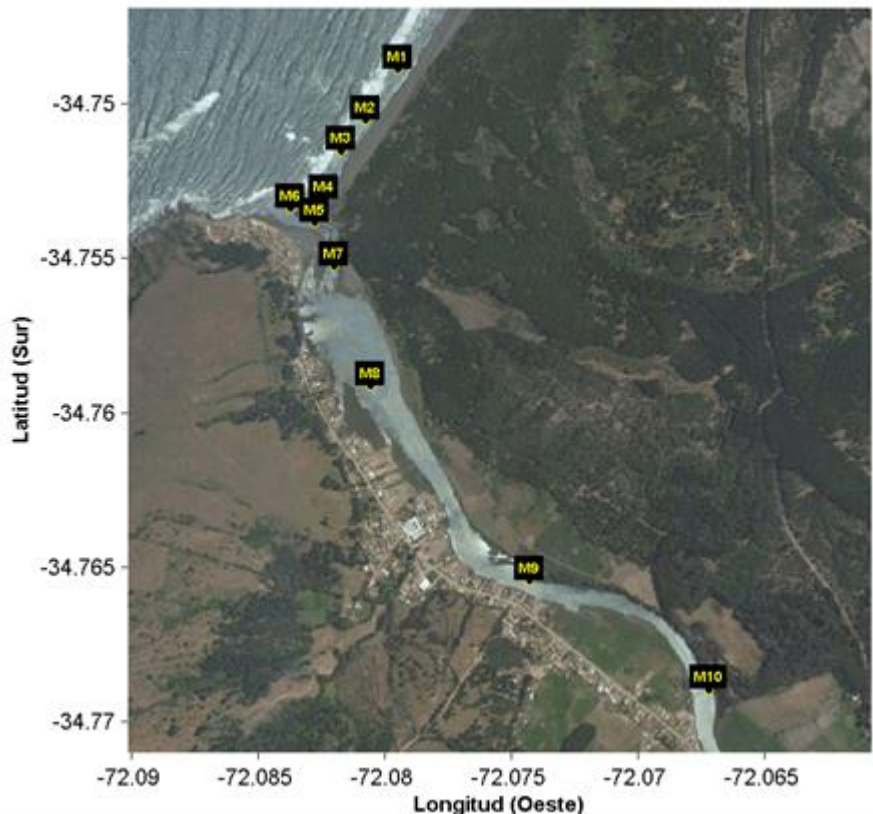


Tabla 6-1: Coordenadas geográficas y UTM de las muestras análisis granulométrico

Estaciones de Muestreo	Coordenada UTM		Coordenada Geográfica	
	ESTE	NORTE	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)
M1	767356	6150918	34°44'55.99"S	72° 4'46.08"O
M2	767233	6150741	34°45'01.85"S	72° 4'50.71"O
M3	767142	6150632	34°45'05.47"S	72° 4'54.16"O
M4	767072	6150459	34°45'11.14"S	72° 4'56.71"O
M5	767039	6150378	34°45'13.80"S	72° 4'57.91"O
M6	766950	6150430	34°45'12.20"S	72° 5'01.47"O
M7	767104	6150219	34°45'18.89"S	72° 4'55.18"O
M8	767223	6149785	34°45'32.85"S	72° 4'50.01"O
M9	767778	6149067	34°45'55.61"S	72° 4'27.38"O
M10	768415	6148657	34°46'08.30"S	72° 4'01.89"O

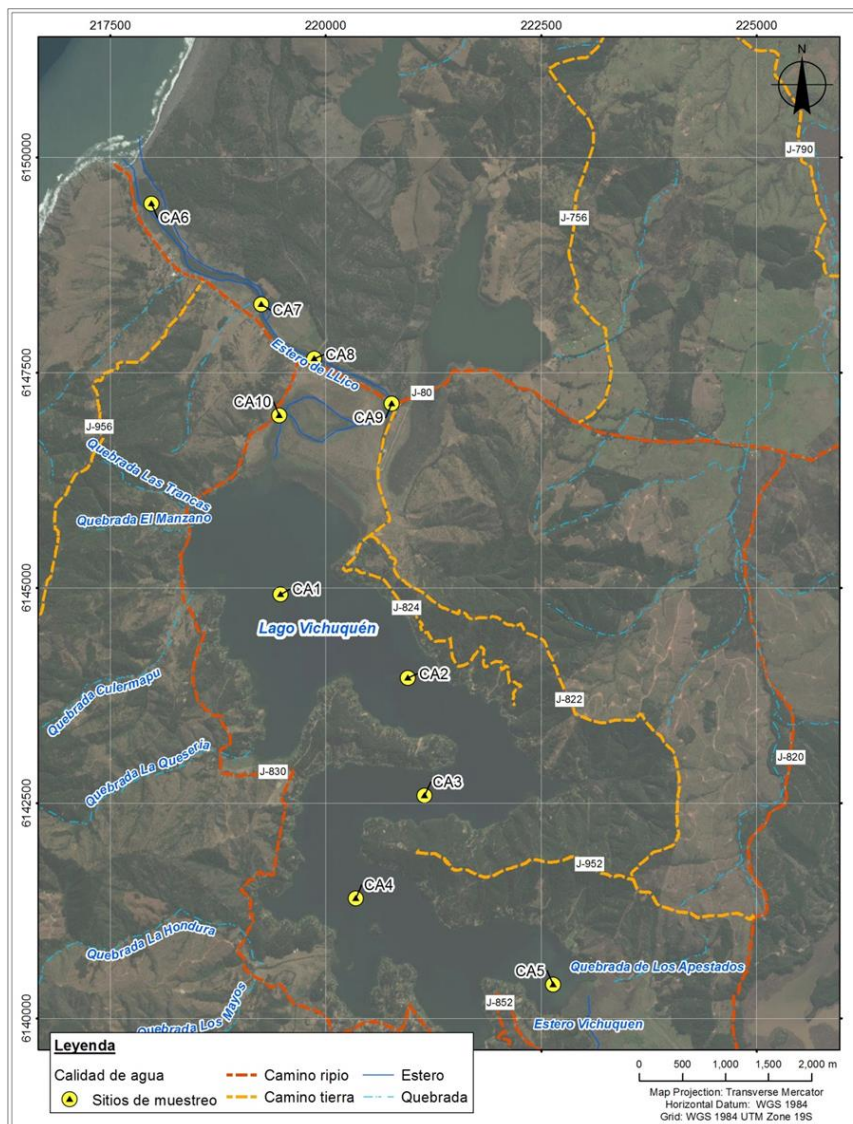
El estudio completo se presenta en el anexo Anexo F.

7. Estudio de Calidad de Aguas

De acuerdo a los Términos de Referencia de la Consultoría, se realizó un análisis de la situación actual del Lago Vichuquén y Estero Llico en el sector de estudio, respecto de sus características tróficas (relación de nutrientes) y sanitarias; mediante muestreo de agua, mediciones en terreno de variables químicas y análisis de laboratorio.

Se realizó una campaña de terreno para caracterizar la calidad química del agua en 10 estaciones de muestreo, las cuales están distribuidas en 5 puntos en el lago Vichuquén (Figura 7-1) para caracterizar su estado trófico y sanitario, complementado con 5 puntos de muestreo en el estero Llico, considerando lo indicado por la Norma Chilena Oficial NCh 1.333 "Requisitos para agua destinada a recreación y estética", junto con las normas de calidad primaria establecidas por los Decretos Supremos N° 143 y 144 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Figura 7-1: Ubicación sitios de muestreo



El estudio completo se presenta en el anexo Anexo G

7.1 Comparación de resultados de consultoría y antecedentes

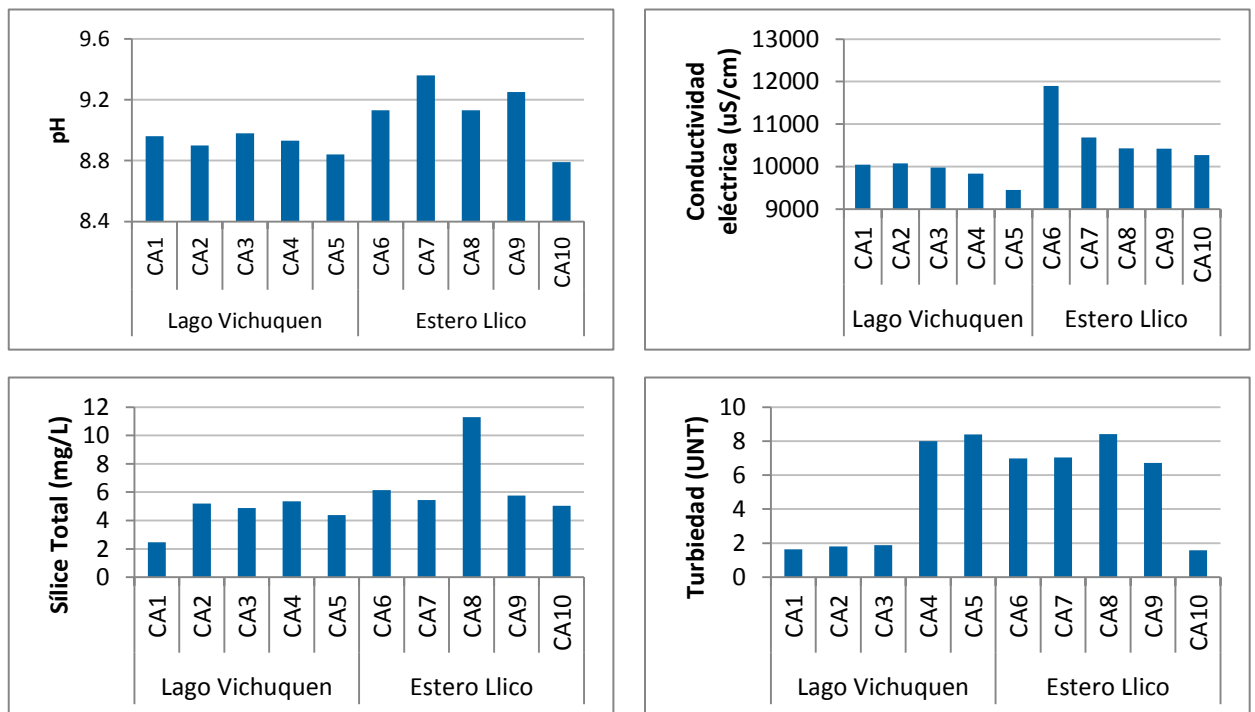
Los resultados principales del presente estudio fueron los siguientes:

Se ejecutó el terreno de muestreo y medición de variables físico químicas durante los días 25 y 26 de junio del 2015 por un equipo de dos profesionales. La ubicación de los sitios de muestreo se presentan en la Figura 7-1.

Figura 7-2: Resultados de análisis físico químico y microbiológico de agua en laboratorio

Lugar	Lago Vichuquen										Estero Llico			Referencias		
	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10	DS 143	DS 144	NCh 1.333			
Analito	Unidad															
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1,29	1,02	1,41	0,95	1,09	0,87	1,13	1,52	1,21	1,24					
Nitrato	mg/L	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50					
Nitrito	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010					
Nitrógeno K Total	mg/L	2,9	1,83	2,17	1,83	1,88	1,67	1,97	2,96	2,19	2,36					
Nitrógeno Total	mg/L	2,9	1,83	2,17	1,83	1,88	1,67	1,97	2,96	2,19	2,36					
Oxígeno disuelto	mg/L	7,8	8	8,3	7,9	9	12,9	13,1	10,6	12,6	8,3			>5		
Ortofosfato	mg/L	0,02	<0,010	0,024	<0,010	0,011	0,2	0,193	0,199	0,183	<0,010					
pH	unidad	8,96	8,9	8,98	8,93	8,84	9,13	9,36	9,13	9,25	8,79	6,0-8,5	6,0-8,5	6,0-9,0		
Fosforo total	mg/L	0,094	0,086	0,136	0,051	0,067	0,364	0,327	0,391	0,382	0,115					
Silice total	mg/L	2,46	5,2	4,89	5,36	4,39	6,15	5,44	11,3	5,75	5,04					
Clorofila a	mg/L	0,003	0,004	0,005	0,012	0,006	0,013	0,017	0,018	0,017	0,004					
Carbono orgánico T.	mg/L	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20					
DBO ₅	mg/L	9	8	9	10	11	15	15	15	16	10					
DQO	mg/L	26	25	27	28	27	28	27	27	29	27					
Turbiedad	UNT	1,64	1,8	1,89	7,99	8,4	6,99	7,03	8,42	6,72	1,59			50		
Conductividad eléctrica	µS/cm	10050	10080	9980	9840	9450	11900	10690	10430	10420	10270			>750		
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2	<1,8	<1,8	<1,8	7,8	2	240	23	23	4,5	1000	1000	1000		

Figura 7-3: Gráficos de columnas de variables físico químicas y microbiológicas



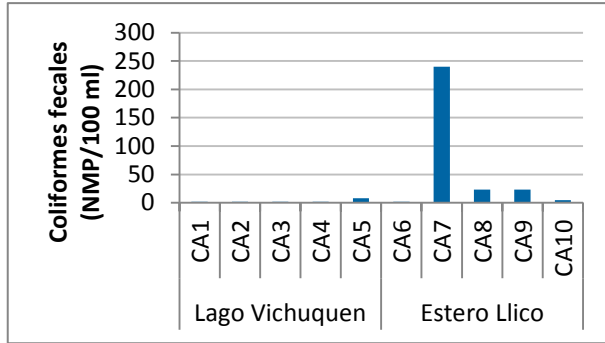
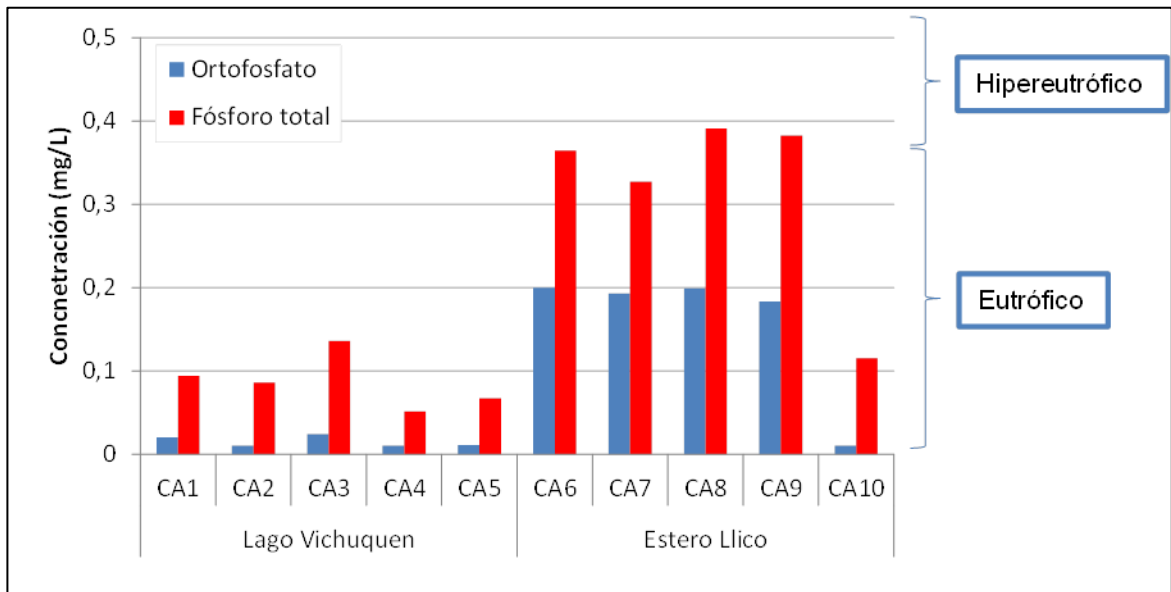


Figura 7-4: Concentración de compuestos de fósforo



Los resultados de laboratorio se presentan en la Figura 7-2, desglosados por analito, punto de muestreo y cuerpo de agua al que pertenece. Se especifican valores indicados por las normativas referentes al Decreto Supremo n° 143, Decreto Supremo n° 144 y la Norma Chilena de Requisitos de Calidad de Agua para diferentes Usos (NCh 1.333). El análisis de los resultados y la comparación con la normativa descrita muestra que el oxígeno disuelto es mayor al mínimo requerido para la vida acuática en todos los sitios, en tanto el pH sobrepasa los requerimientos para agua con contacto directo ($pH > 8,5$). La turbiedad no representa una limitante puesto que los valores son menores a las 50 unidades de requisito de la NCh 1.333. La condición microbiológica de los coliformes fecales muestran valores no detectables por el laboratorio o muy bajos comparados con lo indicado por las normativas relacionadas (Coliformes fecales < 1000). La salinidad, expresada en unidades de conductividad eléctrica, muestra concentraciones de solutos menores en el lago comparado al estero, en ambos cuerpos se presenta una tendencia al aumento de la salinidad en sentido este-oeste (Figura 7-2 y Figura 7-3), como referencia las concentraciones de salinidad del lago y del estero son 5 veces menores a las del mar y superan en 4 veces las concentración máxima permitida para el agua potable (NCh 409/1, 1984). Las concentraciones de sílice total se encuentran dentro del rango normal que se considera para aguas naturales (Marín, 2003).

De acuerdo a los resultados obtenidos del monitoreo de muestras puntuales de agua en el Lago Vichuquén y en el Estero Llico y las mediciones realizadas en terreno con un sonda multiparámetro para el análisis del perfil de concentración de parámetros físico químicos realizadas en el lago, se concluye que el lago presenta niveles de características eutróficas para el fósforo y nitrógeno, y características mesotróficas para la clorofila α . En el caso del estero se determinó una mayor concentración del nutriente fósforo, con niveles cercanos a una condición de hipertrofia. Las mediciones de nitrógeno en el estero resultaron similares a las del lago, sin embargo la clorofila α presentaron concentraciones que triplican las medidas en el lago. Las determinaciones de perfiles de parámetros físico químicos en el lago revelaron la existencia de una haloclina y una termoclina a los 10 metros de profundidad, con incrementos bruscos de temperatura y salinidad a partir de la profundidad antes mencionada. Las mediciones microbiológicas detectaron bajas concentraciones de coliformes fecales en el lago Vichuquén y en el estero Llico y no superan los valores indicados por la normativa usada como referencia

Finalmente es posible concluir que el lago Vichuquén presenta un estado eutrófico hace a lo menos 10 años, y frente a esto es necesario proponer planes de gestión y protección ambiental para que esta situación no siga avanzando en el futuro.

Anexos

Anexo A Documentos del Contrato

Anexo B Minutas de Reuniones

Anexo C Recopilación de Antecedentes (Respaldo Digital)

Anexo D Participación Ciudadana

Anexo E Estudio Topo batimétrico

Anexo F Estudio Sedimentológico

Anexo G Estudio de Calidad de Agua

Anexo H Minuta Respuesta de Observaciones

GHD

Avda. Apoquindo N°4775, of. 601

Las Condes, Santiago

T: (56 2) 433 5400 F: (56 2) 433 5425 E: ghdchile@ghd.com

© GHD 2015

Este documento es de propiedad de GHD. Este documento solamente puede ser usado para los propósitos para el cual fue contratado y de acuerdo a los Términos de Referencia establecidos en el respectivo contrato. El uso no autorizado de este documento, de cualquier manera, queda expresamente prohibido.

G:\85\11712\Tech\01 Emitidos\01-Etapa 1\04-Informe Etapa 1-Rev.C\29771 - Informe Etapa 1 Rev C.docx

Estado del Documento

Rev No.	Autor	Revisor		Aprobado para emisión		
		Nombre	Firma	Nombre	Firma	Fecha
A	K Rodríguez	M Venenciano		C Hernández		22/07/2015
B	K Rodríguez	M Venenciano		C Hernández		27/08/2015
C	K Rodríguez	M Venenciano		C Hernández		17/09/2015

www.ghd.com

