



INFORME SOBRE EL ESTADO SEDIMENTARIO Y NIVEL DE CONTAMINACIÓN

**LAGO VICHUQUÉN Y OTROS CUERPOS DE AGUA CON CONDICIONES
SIMILARES DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL**

Junio 2026

Informe elaborado por:

Departamento de Calidad del Agua, Suelos y Ecosistemas Acuáticos

División de Recursos Naturales y Biodiversidad

Ministerio del Medio Ambiente

Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

Dirección General de Aguas

Ministerio de Obras Públicas

Resumen Ejecutivo

El presente informe técnico sobre el estado sedimentario y nivel de contaminación del Lago Vichuquén y otros cuerpos de agua con condiciones similares de degradación ambiental se elabora en cumplimiento de lo establecido en la Ley de Presupuestos del Sector Público correspondiente al año 2026.

Dicho mandato dispone que, durante el año 2026, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas, en coordinación con el Ministerio del Medio Ambiente, deberá informar a la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Cámara de Diputados, a la Comisión de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bienes Nacionales del Senado, así como a la Comisión Especial Mixta de Presupuestos, acerca del estado sedimentario y nivel de contaminación del Lago Vichuquén, en la Región del Maule, y de otras cuencas o cuerpos lacustres que presenten condiciones similares de degradación ambiental.

El presente informe tiene por objeto sistematizar y analizar los antecedentes técnicos e institucionales disponibles a la fecha respecto del estado ambiental del Lago Vichuquén y de otros cuerpos de agua que presentan condiciones similares de degradación ambiental, en el marco del mandato establecido en la Ley de Presupuestos del Sector Público del año 2026.

En particular, el informe reúne antecedentes relativos a calidad del agua, condición trófica, registros de floraciones algales y cianobacterias, antecedentes sedimentarios disponibles y medidas adoptadas o actualmente en evaluación por los organismos competentes. Asimismo, identifica brechas de información y recomendaciones relevantes para avanzar

hacia una evaluación más completa de los sistemas analizados y para orientar futuras decisiones de gestión ambiental.

Contenido

1. Antecedentes del requerimiento.....	1
1.1 Mandato	1
1.2 Alcance y limitaciones del informe.....	1
2. Objetivos del informe	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. Diagnóstico: Caracterización y antecedentes técnicos disponibles	4
3.1 Caracterización general	4
3.1.1 Sistema lacustre del lago Vichuquén.....	4
3.2 Calidad del agua y condición trófica.....	9
3.2.1 Sistema lacustre del lago Vichuquén.....	9
3.2.2 Otros cuerpos de agua.....	20
3.3 Floraciones algales, cianobacterias y cianotoxinas	25
3.3.1 Sistema lacustre del lago Vichuquén.....	25
3.3.2 Otros cuerpos de agua.....	29
3.4 Antecedentes sedimentarios.....	29
3.5. Principales presiones ambientales	31
4. Brechas identificadas	35

4.1 De monitoreo.....	35
4.1.1 Frecuencia temporal.....	35
4.1.2 Cobertura espacial.....	35
4.1.3 Parámetros medidos y analizados.....	36
4.1.4 Matriz sedimentos.....	36
4.2 De información	37
4.2.1 Batimetrías.....	37
4.2.2 Información meteorológica	37
4.2.3 Balance de nutrientes.....	38
4.2.4 Modelo hidrodinámico	38
4.2.5 Modelo de calidad de aguas.....	38
4.3 Brecha de Gestión y Regulatoria e Institucional.....	39
4.3.1 De recursos económicos, materiales y humanos	39
4.3.2 De instrumentos de gestión ambiental	40
4.3.3 De infraestructura sanitaria y ordenamiento territorial.....	41
4.3.4 Generación de pronóstico y escenarios	41
5. Medidas adoptadas o actualmente en evaluación.....	42
5.1 Ministerio del Medio Ambiente	42
5.1.1 Participación en mesas regionales	42
5.1.2 Protocolo manejo de barra terminal	42
5.1.3 Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA)	43
5.1.4 Normas Primarias de Calidad Ambiental (NPCA)	47
5.1.5 Consulta al Mercado (Mercado Público)	47

5.1.6 Postulación a Fondos Nacionales de Desarrollo Regional (FNDR)	48
5.1.7 Revisión de Propuestas para Remediación.....	48
5.1.8 Medidas asociadas a otros cuerpos de agua.....	49
5.2 Dirección General de Aguas.....	50
5.2.1. Levantamiento de la situación ambiental del lago Vichuquén.....	50
5.2.2. Monitoreo clásico de calidad de aguas	50
5.2.3. Monitoreo continuo de variables fisicoquímicas y biológicas.....	51
6. Recomendaciones.....	52
6.1 Recomendaciones de corto plazo (1-5 años).....	52
6.2 Recomendaciones de mediano plazo (5-10 años).....	55
6.3 Recomendaciones de largo plazo (10-20 años).....	56
7. Referencias.....	57
8. Anexos.....	59

1. Antecedentes del requerimiento

1.1 Mandato

El informe técnico sobre el estado sedimentario y nivel de contaminación del lago Vichuquén y otros cuerpos de agua con condiciones similares de degradación ambiental forma parte de los mandatos de la Ley de Presupuestos del Sector Público Año 2026. Este documento exige dentro de sus glosas presupuestarias que el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y el Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección General de Aguas (DGA), informen a la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Cámara de Diputados, y de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bienes Nacionales del Senado, así como a la Comisión Especial Mixta de Presupuestos, acerca del estado sedimentario y nivel de contaminación del Lago Vichuquén, en la Región del Maule, y de otras cuencas o cuerpos lacustres que presenten condiciones similares de degradación ambiental.

Asimismo, la glosa presupuestaria indica que, para la elaboración de dicho informe, los ministerios mencionados podrán realizar los estudios sedimentarios, limnológicos o de impacto que estimen pertinentes, utilizando para ello los recursos disponibles en sus respectivos presupuestos.

Adicionalmente, se establece que el informe deberá ser presentado a más tardar el 30 de junio de 2026, e incluir diagnóstico, antecedentes técnicos, medidas adoptadas o en evaluación y, en su caso, recomendaciones para la recuperación ambiental de los cuerpos de agua evaluados.

1.2 Alcance y limitaciones del informe

El presente informe tiene por objeto sistematizar y analizar los antecedentes técnicos e institucionales disponibles a la fecha respecto del estado ambiental del Lago Vichuquén y de otros cuerpos de agua que presentan condiciones similares de degradación ambiental,

en el marco del mandato establecido en la Ley de Presupuestos del Sector Público del año 2026.

En particular, el informe reúne antecedentes relativos a calidad del agua, condición trófica, registros de floraciones algales y cianobacterias, antecedentes sedimentarios disponibles y medidas adoptadas o actualmente en evaluación por los organismos competentes. Asimismo, identifica brechas de información y recomendaciones relevantes para avanzar hacia una evaluación más completa de los sistemas analizados y para orientar futuras decisiones de gestión ambiental.

Sin perjuicio de lo anterior, cabe señalar que, a la fecha de elaboración del presente documento, si bien existe un diagnóstico preliminar de la situación del lago Vichuquén (EULA-Chile, 2016), no se cuenta con un análisis detallado y cuantificado de las presiones actuales existentes sobre las cuencas analizadas ni del estado sedimentario de estos sistemas lacustres.

Por otro lado, si bien se cuenta con antecedentes limnológicos necesarios para el desarrollo normativo de estándares de calidad ambiental para el sistema lacustre del lago Vichuquén (NSCA), el diseño y la evaluación de futuras medidas de remediación para este sistema, en especial aquellas que impliquen intervenciones directas sobre los cuerpos de agua o sus sedimentos, requieren de un diagnóstico integral que considere de manera articulada seis componentes: la calidad del agua, la calidad de los sedimentos, el potencial de liberación de nutrientes desde los sedimentos hacia la columna de agua, el estado de los componentes bióticos, la hidrodinámica del sistema y la influencia de la intrusión salina sobre la estratificación, a lo cual se suma la caracterización de las presiones externas sobre la cuenca, incluyendo la cuantificación de sus aportes relativos a la carga actual del sistema.

Por esta razón, las recomendaciones contenidas en el presente informe se orientan principalmente a fortalecer la generación de información de diagnóstico, consolidar el monitoreo ambiental, avanzar en instrumentos de gestión y priorizar estudios que permitan sustentar técnicamente, en etapas posteriores, la definición de medidas de recuperación ambiental.

2. Objetivos del informe

2.1 Objetivo general

Sistematizar y analizar los antecedentes técnicos e institucionales disponibles respecto del estado ambiental del lago Vichuquén y de otros cuerpos de agua que presentan condiciones similares de degradación ambiental, con énfasis en calidad del agua, condición trófica, floraciones algales y cianobacterias, antecedentes sedimentarios disponibles, brechas de información y medidas adoptadas o en evaluación, a fin de informar el estado de avance del diagnóstico y orientar futuras decisiones de gestión y recuperación ambiental.

2.2 Objetivos específicos

a) Recopilar y sistematizar los antecedentes técnicos disponibles sobre calidad del agua, condición trófica, floraciones algales, presencia de cianobacterias y otros indicadores relevantes de degradación ambiental del lago Vichuquén y de otros cuerpos de agua con condiciones similares.

b) Identificar y analizar los antecedentes sedimentarios disponibles para los sistemas lacustres evaluados, precisando sus alcances, limitaciones y brechas de información asociadas.

c) Describir, en función de la información disponible, las principales presiones ambientales que inciden o podrían incidir sobre el estado de los cuerpos de agua analizados, incluyendo aportes de nutrientes, cambios de uso de suelo, cargas internas, alteraciones hidrológicas y otras presiones relevantes.

d) Dar cuenta de las medidas adoptadas o actualmente en evaluación por los organismos competentes, incluyendo acciones de monitoreo, coordinación interinstitucional, instrumentos de gestión ambiental y estudios proyectados.

e) Identificar las brechas técnicas que limitan la elaboración de un diagnóstico integral del sistema lacustre del lago Vichuquén y la evaluación de medidas específicas de recuperación ambiental.

f) Proponer recomendaciones orientadas a fortalecer la generación de información de diagnóstico, consolidar el monitoreo ambiental, avanzar en instrumentos de gestión y priorizar estudios que permitan sustentar técnicamente, en etapas posteriores, la evaluación, selección e implementación de medidas de recuperación ambiental.

3. Diagnóstico: Caracterización y antecedentes técnicos disponibles

3.1 Caracterización general

3.1.1 Sistema lacustre del lago Vichuquén

El sistema lacustre del lago Vichuquén corresponde a un sistema costero de origen albuférico, cuya configuración actual es resultado de una larga evolución geomorfológica asociada a la interacción entre procesos marinos, tectónicos y sedimentarios (Frugone-Álvarez et al., 2017; Fuentealba et al., 2021; Pedreros Troncoso et al., 2019). Desde su origen, el sistema ha mantenido una vinculación con el mar: antecedentes paleoambientales indican que la cuenca de Vichuquén funcionó inicialmente como un ambiente marino somero y restringido, asimilable a una bahía semicerrada, posteriormente presentó una fase de mayor conexión marina durante el Holoceno y, más tarde, evolucionó hacia un sistema lacustre producto del cierre progresivo de su conexión con el océano Pacífico. Este cierre habría estado asociado principalmente al levantamiento tectónico costero y al avance o acreción de dunas y arenas litorales, procesos que limitaron gradualmente la conectividad océano–lago y dieron origen a la configuración albuférica actual (Frugone-Álvarez et al., 2017; Van Daele et al., 2015). En escala histórica, registros documentales sistematizados por Pedreros Troncoso et al. (Pedreros Troncoso et al., 2019) muestran que esta dinámica sedimentaria continuó incidiendo sobre el sistema, particularmente mediante el desplazamiento eólico de arenas en el sector norte, el embancamiento progresivo del canal de desagüe y la llegada de arenas al propio cuerpo

lagunar, procesos que habrían contribuido a modificar la profundidad, la ribera norte y la conectividad del sistema con el mar.

La cuenca de drenaje del lago Vichuquén presenta una superficie aproximada de 483 km² (Figura 1). Esta se desarrolla en un contexto costero de clima mediterráneo, caracterizado por una marcada estacionalidad hidrológica, con mayores aportes hídricos durante el período invernal y condiciones más restrictivas durante la estación seca. En este contexto, los aportes superficiales hacia el lago provienen de una red de drenaje de comportamiento estacional e intermitente, cuyo escurrimiento se concentra principalmente durante el invierno y en respuesta a eventos de precipitación. Entre estos cursos destaca el estero Vichuquén, que corresponde al principal aporte superficial al lago Vichuquén (12,98 km²); sin embargo, su caudal presenta una fuerte variación estacional y puede disminuir significativamente o incluso no presentar escurrimiento durante períodos secos. El sistema se conecta con el océano Pacífico a través del estero Llico, mediante un canal que nace desde el desagüe al extremo norponiente del lago Vichuquén y que, luego de un recorrido de 7 km, desagua en la costa del Pacífico, a un costado del pueblo homónimo. Esta descarga y el intercambio intermitente con el mar se encuentran condicionados por la dinámica de la barra terminal. A través del estero Llico y especialmente en invierno, marejadas y eventos extremos como tsunamis, se produce el ingreso de agua salada que les da a laguna Torca y lago Vichuquén el carácter de albuferas, con aguas salobres (Ramírez et al., 2002).

En relación con la barra que conecta el estero Llico con el mar, la Excm. Corte Suprema, en causa Rol N° 16.858-2024, ordenó, con fecha 7 de junio del 2024, dejar sin efecto el cierre artificial de la desembocadura del estero Llico y abstenerse de realizar nuevamente dicha maniobra sin contar previamente con las autorizaciones sectoriales correspondientes. Esta configuración determina que la dinámica de la cuenca no dependa únicamente de los aportes continentales, sino también de la condición de la barra terminal, de los niveles del lago, de la circulación en el estero Llico y de los intercambios episódicos con agua marina.

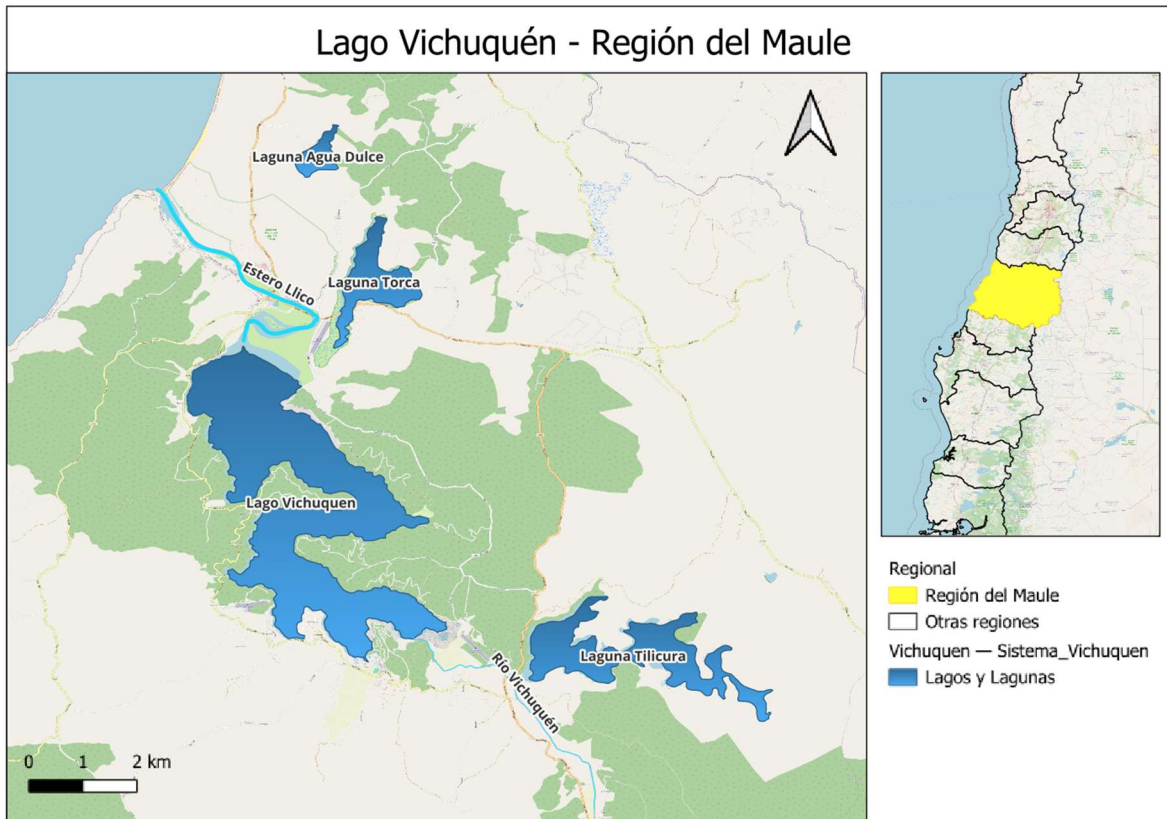


Figura 1. Cuenca sistema lacustre del lago Vichuquén (elaboración propia, DGA).

Desde el punto de vista morfológico, el lago Vichuquén, que constituye el principal cuerpo de agua del sistema lacustre, presenta una morfología alargada e irregular, con bahías, sectores litorales y zonas de distinta profundidad; la Laguna Torca corresponde a un cuerpo de agua asociado al complejo lacustre, actualmente influido por procesos de colmatación con sedimentos y vegetación acuática, además de constituir un hábitat relevante para avifauna; mientras que las lagunas Tilicura y Agua Dulce corresponden a cuerpos de agua menores. Por su parte, el estero Llico actúa como cauce de conexión hidráulica intermitente entre el sistema lacustre y el océano Pacífico, condicionado por la dinámica de la barra terminal y por los intercambios episódicos con agua marina. En conjunto, esta morfología genera condiciones espaciales diferenciadas de circulación, renovación, acumulación de sedimentos y materia orgánica, así como de intercambio con el mar, aspectos relevantes para comprender la dinámica hidroquímica, el transporte de nutrientes y la vulnerabilidad del sistema frente a procesos de eutrofización (EULA-Chile, 2016).

El lago Vichuquén es altamente susceptible a la eutroficación y colonización por macrófitas acuáticas, debido a que presenta una gran proporción de zonas bajas o someras. Esta vulnerabilidad se ve incrementada por la estrecha interacción entre el cuerpo de agua y su cuenca de drenaje, estimada a través de las relaciones área cuenca/área lago (Ac/AI) y área cuenca/volumen lago (Ac/VI). Como resultado, hoy sus componentes bióticos y abióticos están en un evidente estado de eutroficación y una elevada tasa de sedimentación, lo cual afecta la integridad del ecosistema acuático (Rojas-Vuscovich, 1998). En cuanto a la calidad del agua del lago, esta se caracteriza por tener un hipolimnion anóxico¹ y salino bajo de la haloclina², determinado por su conexión con el mar y su criptodepresión (cerca a los 27 m). Esta anoxia de fondo se ve afectada en presencia y extensión por la dinámica estacional, y consecuentemente, influye en la redistribución de nutrientes (fósforo y nitrógeno) desde los sedimentos hacia la columna de agua. Lo anterior se relaciona directamente con el estado trófico, que según DGA (2018), presenta condiciones meso- eutróficas según TSI de Carlson (1977) y meso-hipereutrófico según la clasificación de la OCDE (1982).

En cuanto a régimen de protección, la Laguna Torca cuenta con un doble régimen de conservación, por cuanto fue declarada Santuario de la Naturaleza mediante el D.S. N° 680 de 1975, del Ministerio de Educación; pero a su vez, integra la Reserva Nacional Laguna Torca, área protegida de carácter estatal declarada durante la vigencia de la Ley N°18.362 que Crea el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado.

La laguna Torca posee un gran valor escénico, y en ella se encuentra una gran cantidad y variedad de especies de flora y fauna. Representa uno de los ambientes húmedos más importantes de la zona central del país, ya que tiene una gran densidad y diversidad de avifauna. Se pueden mencionar especies catalogadas en “Peligro de Extinción”, como el cuervo del pantano y el cisne coscoroba; “Preocupación Menor”, como el cisne de cuello negro, el águila pescadora y el quique; y “Raras”, como la garza cuca, la gaviota garuma.

¹ Condiciones donde no se cuenta con oxígeno disuelto en el agua (Stum & Morgan, 1996)

² Cambio brusco en el perfil de salinidad de un cuerpo de agua (Wetzel, 2001)

En el caso de Laguna Torca, además, cuenta con su respectivo plan de manejo, que regula en forma concreta la conservación y usos admisibles en la reserva. Con todo, cabe tener presente que la situación jurídica de ambos regímenes fue modificada por la entrada en vigencia de la Ley N° 21.600, que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (“SBAP”) y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (“SNAP”), derogando el SNASPE y estableciendo un nuevo régimen y sistema unificado para todas las categorías de áreas protegidas. En el marco transitorio de dicha ley, las Reservas Nacionales vigentes se entienden incorporadas en la nueva categoría homónima del SNAP, conforme a su artículo cuarto transitorio, mientras que los Santuarios de la Naturaleza deberán ser reclasificados dentro del SNAP en un plazo de cinco años desde la entrada en funcionamiento del SBAP, según dispone el artículo quinto transitorio letra b), manteniendo entre tanto su régimen actual bajo la Ley N° 17.288.

La Dirección General de Aguas (DGA), en su rol de mantener las redes de calidad de agua y en particular de la red monitoreo de la calidad de agua de lagos (Artículo 129, bis 3 del Código de Aguas), comenzó el monitoreo del lago Vichuquén el año 2013 (descrito en minuta técnica DCPRH N° 31 del año 2014) para lo cual se han realizado campañas estacionales en verano e invierno, con el objetivo de recopilar información de las características fisicoquímicas y biológicas que permitan llevar a cabo una correcta gestión del agua del lago, desde el punto de vista de la conservación de los recursos hídricos tanto en cantidad como calidad. Para llevar a cabo este monitoreo de calidad y estado trófico se realiza toma de muestras de agua en 3 sectores del lago y en tres estratos de la columna de agua para obtener información que abarque la heterogeneidad espacial vertical y horizontal del cuerpo del agua. Además, se realiza monitoreo en los principales tributarios el estero Llico como efluente del lago y en el estero Vichuquén como principal afluente (Tabla 1 y Figura 1). Las estaciones Estero Llico en Puente Lico, Estero Llico en Acceso Puente Conaf y Playa Paula en Lago Vichuquén fueron incorporadas al muestreo habitual de este lago a fines del 2025.

Entre el año 2023 y 2026 se han elaborado 5 documentos técnicos que analizan el estado del lago Vichuquén, a los cuales se puede acceder en el Anexo 9.1.

Tabla 1. Detalle de los puntos de monitoreo actual en el lago Vichuquén.

N	Punto de monitoreo	Estratos (m)	Coordenadas UTM (WGS 84, Huso 18)	Código BNA
1	Z Max	0, 10 y 30	6145019 N – 768338 E	07000011-3
2	Sector Centro	0, 10, 17	6142966 N – 768854 E	07000009-1
3	Playa Paula en Lago Vichuquén	0 m	6141600 N - 769817 E	07000024-5
4	Bahía Vichuquén	0 m y 8 m	6141597 N – 769516 E	07000007-5
5	Estero Llico en Desembocadura (Barra)	0 m	6150274 N – 767070 E	07000021-0
6	Estero Llico en Puente Acceso Conaf	0 m	6148637 N – 768357 E	07000022-9
7	Estero Llico en Puente Llico	0 m	6148010 N – 768957 E	07000023-7
8	Estero Llico en Puente La Laguna	0 m	6147452 N – 769812 E	07000006-7
9	Estero Vichuquén en Lago Vichuquén	0 m	6140227 N – 771668 E	07000008-3

3.2 Calidad del agua y condición trófica

3.2.1 Sistema lacustre del lago Vichuquén

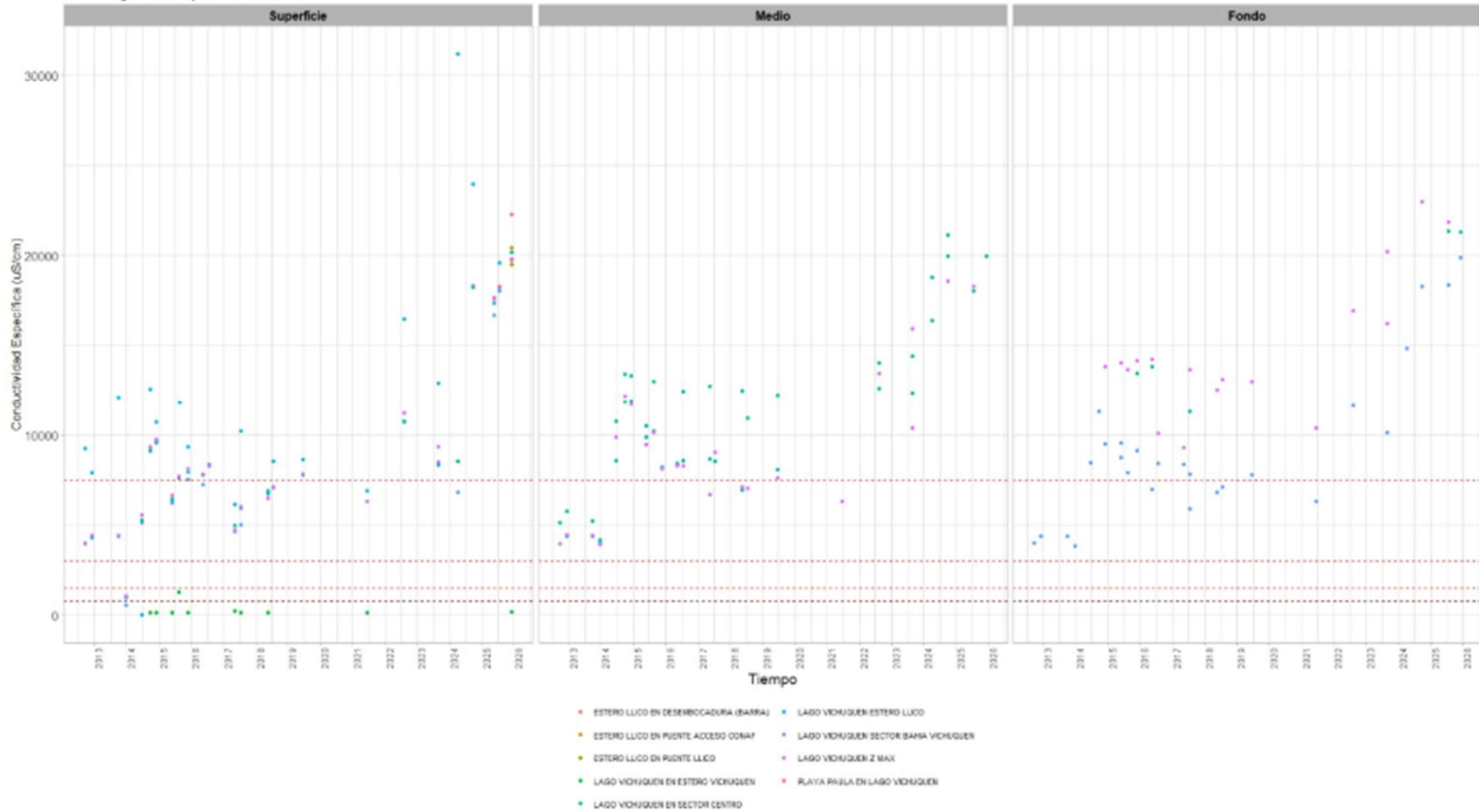
La conductividad eléctrica en el lago (Sector Centro, Bahía Vichuquén, Z Max) presenta un aumento en el tiempo desde el año 2022 al 2026, este aumento se observa en todos los estratos con una particularidad en el superficial el año 2025 que presentó un máximo mayor a lo monitoreado en 2026 (Figura 2 A). Se observa además que la conductividad en el estrato superficial es menor en comparación al estrato medio y fondo, pues en el primero los datos se encuentran distribuidos entre los 5000 y 20000 uS/cm, mientras en el estrato medio y fondo este comienza a frecuentar el rango entre los 10000 y 18000 uS/cm (Figura 2 A y B). En el Sector Playa Paula se observa que las conductividades son similares a las descritas para los puntos en el lago, mientras que los puntos analizados en el Estero Llico hacia el mar,

Puente Llico, Puente Conaf y Desembocadura, se muestra con conductividades gradualmente mayores, naturalmente influenciado por el ingreso de agua marina (Figura 1). Si bien el estero Vichuquén tiene menos mediciones por encontrarse seco o con escaso escurrimiento durante los muestreos, los datos históricos de este punto y aquel obtenido en junio 2026 reflejan una calidad de agua distante a aquella evidenciada en la laguna, teniendo las características de un cuerpo de agua dulce mas no salobre (promedio de 260 uS/cm).

El pH, a diferencia de la conductividad específica, no presenta un patrón temporal claro, distribuyéndose en un amplio rango de pH el cual abarca desde pH moderadamente ácidos (4,0 – 6,5 Unidades de pH) a fuertemente alcalinos (>9 unidades de pH) (Hounslow, 1995), esto se observa tanto en las estaciones del lago como en el tributario y desagüe del Estero Llico, implicando que es una condición generalizada del sistema (Figura 2 B). En el sector Playa Paula el pH observado se encuentra más cercano al rango fuertemente alcalino.

El oxígeno disuelto indica diferencias evidentes entre el estrato superficial, medio y fondo. En el estrato superficial se evidencian valores saludables de oxígeno disuelto en las estaciones del lago (Sector Centro, Bahía Vichuquén, Playa Paula y Z Max), como también las estaciones en el Estero Vichuquén y en los puntos del Estero Llico encontrándose estos sobre los 5 mg/L frecuentemente, límite recomendado por la NCh 1333/78 para vida acuática. En el estrato medio y fondo los valores tienden a ubicarse frecuentemente bajo los 5 mg/L en las estaciones del Sector Centro, Bahía Vichuquén y Z Max (Figura 2 C). Esta estratificación ha sido levantada en minutas técnicas previas, siendo la más reciente DGA (2026) además de otras fuentes de consulta (EULA, 2016; Pedreros et al. 2016), evidenciando que el agua de la superficie no se mezcla con aquella de profundidades mayores, hay una barrera fisicoquímica que lo impide, lo que determinaría en parte la calidad química y biológica del lago (Wetzel, 2001).

CE - Lago Vichuquén Histórico



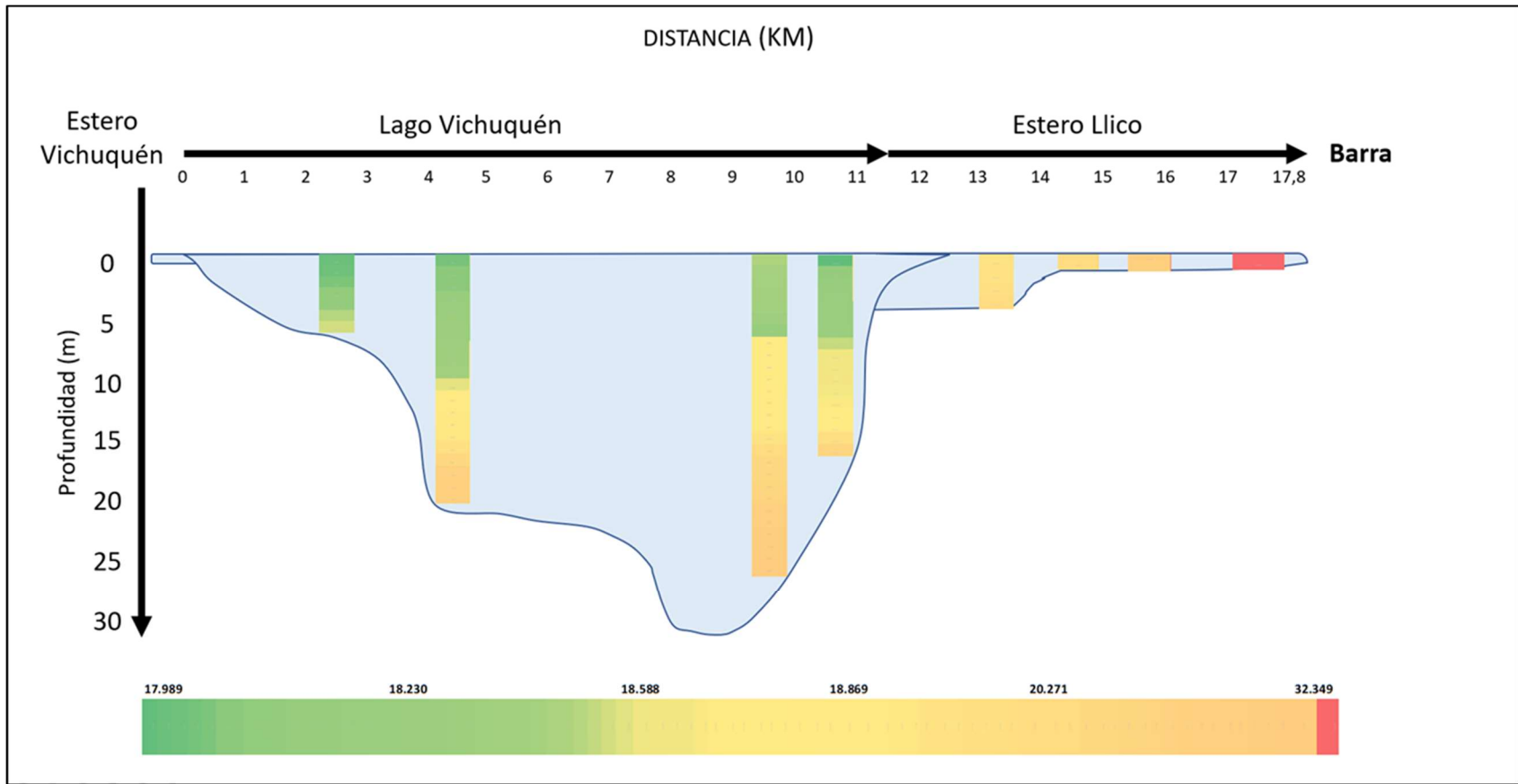
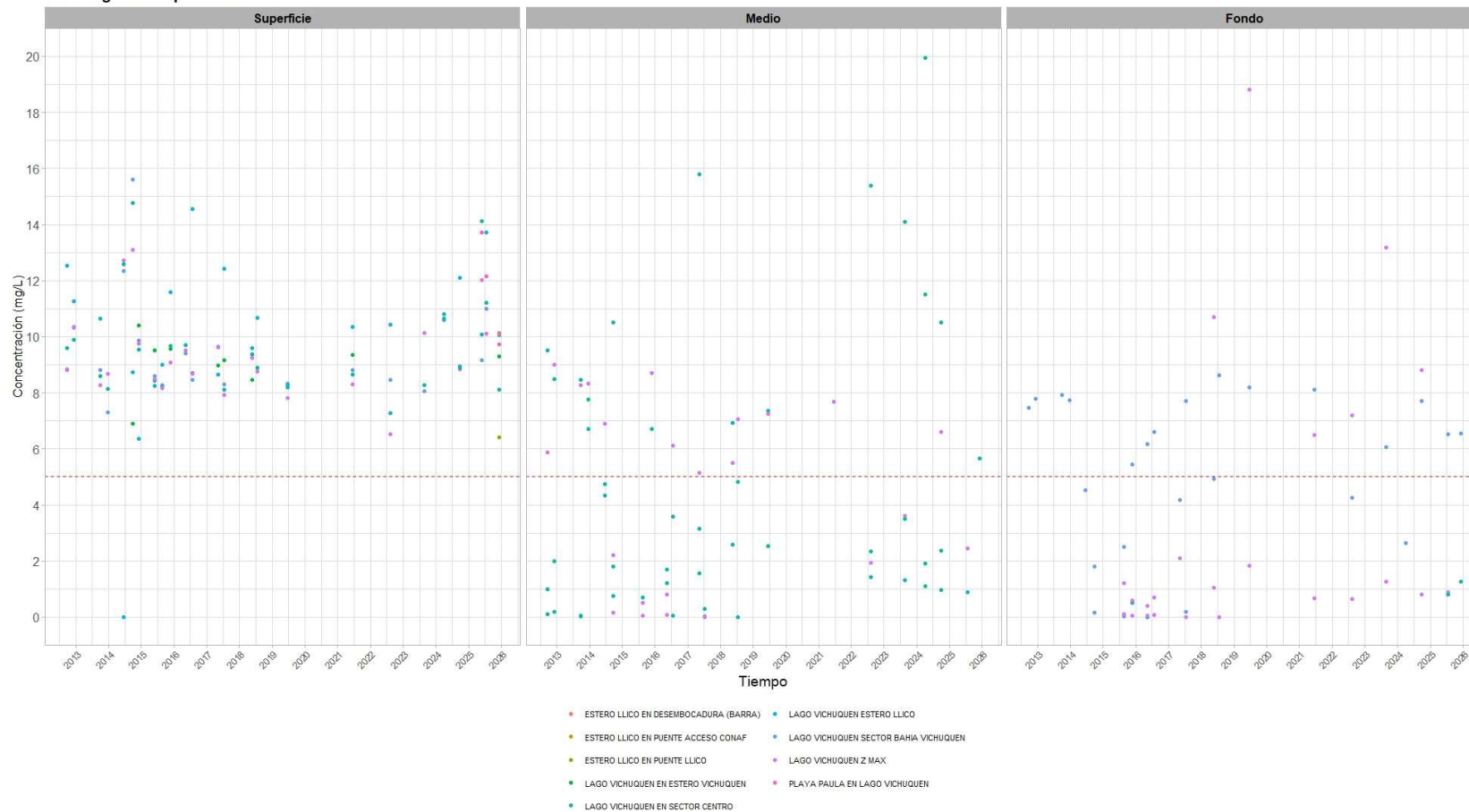


Figura 2. A2) Diagrama en 2 dimensiones de los perfiles de conductividad eléctrica realizados en Lago Vichuquén y Estero Llico. Se muestra la escala y las profundidades aproximadas de cada perfil y las distancias de los puntos de muestreo en relación al punto donde el Estero Vichuquén desemboca en el mar. Leyenda refiere a conductividad eléctrica y sus unidades son $\mu\text{S/cm}$.

OD - Lago Vichuquén Histórico



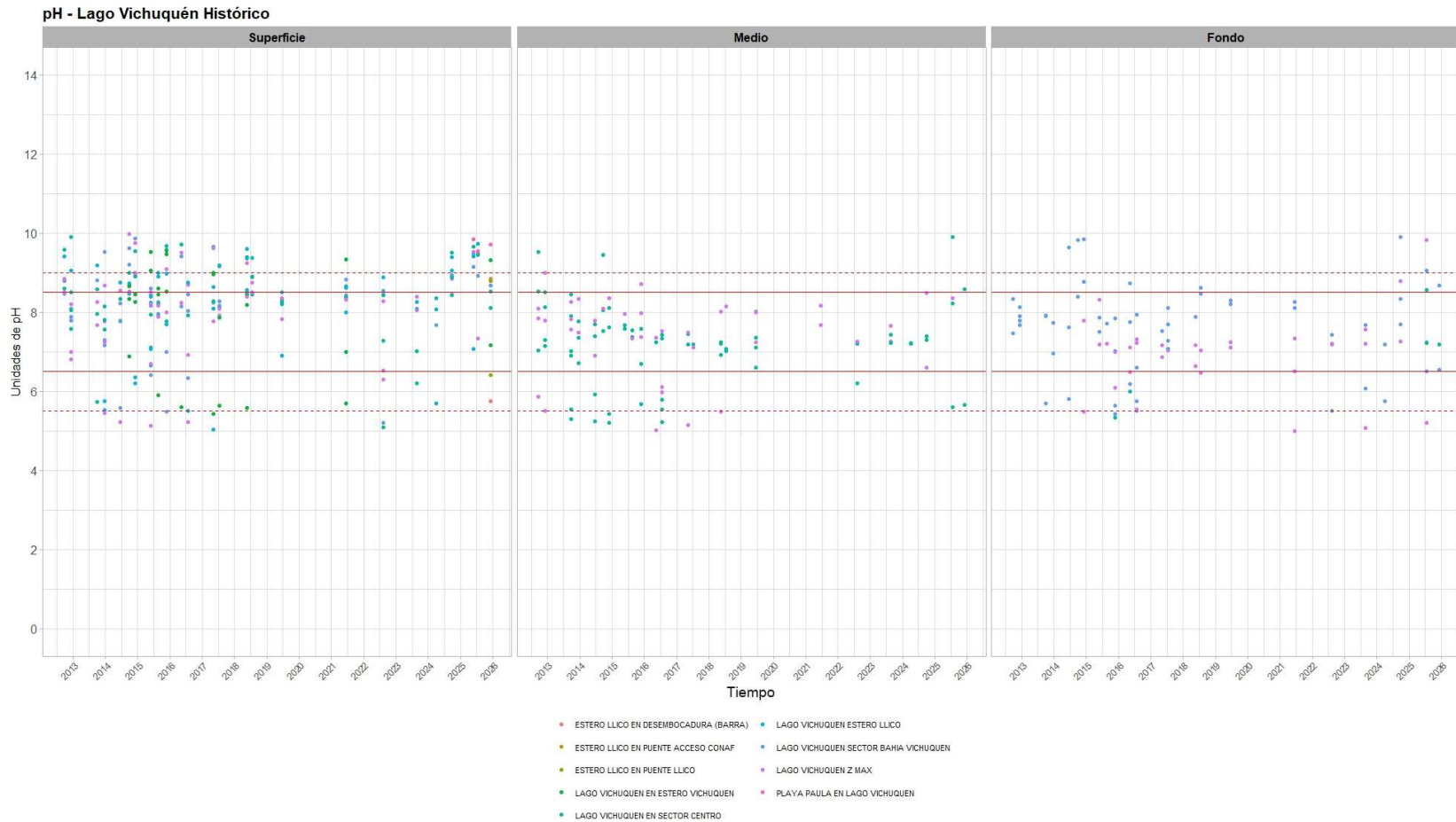


Figura 2. Datos históricos (2013-2026) de A1) conductividad específica en todos los estratos y A2) conductividad específica en 2 dimensiones B) pH y C) oxígeno disuelto en el sistema del Lago Vichuquén (elaboración propia a partir de datos DGA 2013-2026).

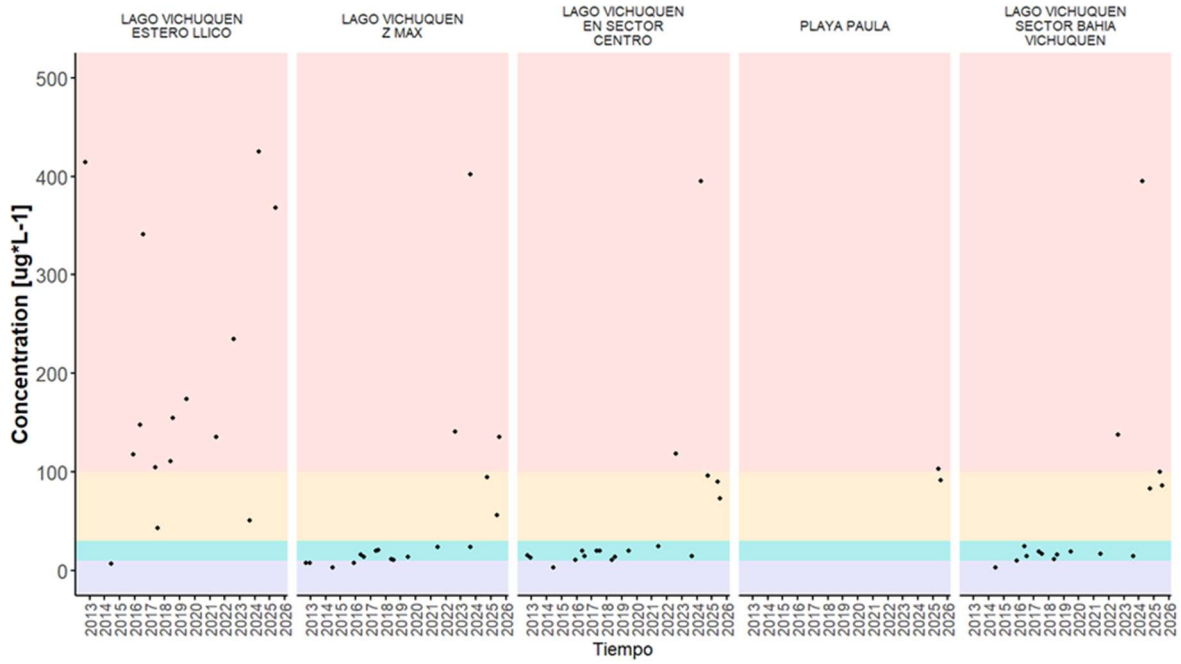
La condición trófica del sistema Vichuquén se estudia mediante la comparación de las concentraciones del parámetro clorofila 'a' y fósforo total en el tiempo respecto a los rangos establecidos por Smith et al. (1999) que definen escalas de salud en orden de detrimento, vale decir, desde la oligotrofia donde hay una baja productividad primaria hasta la hipereutrofia, donde hay una productividad muy alta que causa un deterioro de las condiciones ambientales del lago.

El fósforo total histórico (2013 al 2025) indica que en superficie para las estaciones del lago (Bahía Vichuquén, Sector Centro, y Z Max) y del estero Llico existe un amplio rango en el cual se ha encontrado la salud trófica del lago, desde el Hipereutrófico hasta el Mesotrófico, pasando por momentos intermedios de Eutrofia (Figura 3 A). Esta situación se repite en el estrato medio y de fondo para el Sector Centro y Z Max (Figura 3 B y C), encontrándose en una peor condición esta última estación por predominar la Hipereutrofia. El estrato de fondo levantado en las estaciones Bahía Vichuquén, Centro y Z Max, tiene una menor cantidad de mediciones, encontrándose por tanto su análisis limitado. No obstante, también se percibe una situación similar a la antes descrita para el estado superficial y medio, donde se observa que los valores de fósforo total se sitúan en rangos Hipereutróficos y Mesotróficos principalmente, observándose el estado Eutrófico como un "camino intermedio". Los valores encontrados en la campaña enero 2026 indican que el estado actual del lago es principalmente Eutrófico en Bahía Vichuquén, Centro y Z Max, e Hipereutrófico en estero Llico y Playa Paula, recordando que este último punto fue agregado recientemente no contando con una base histórica de comparación.

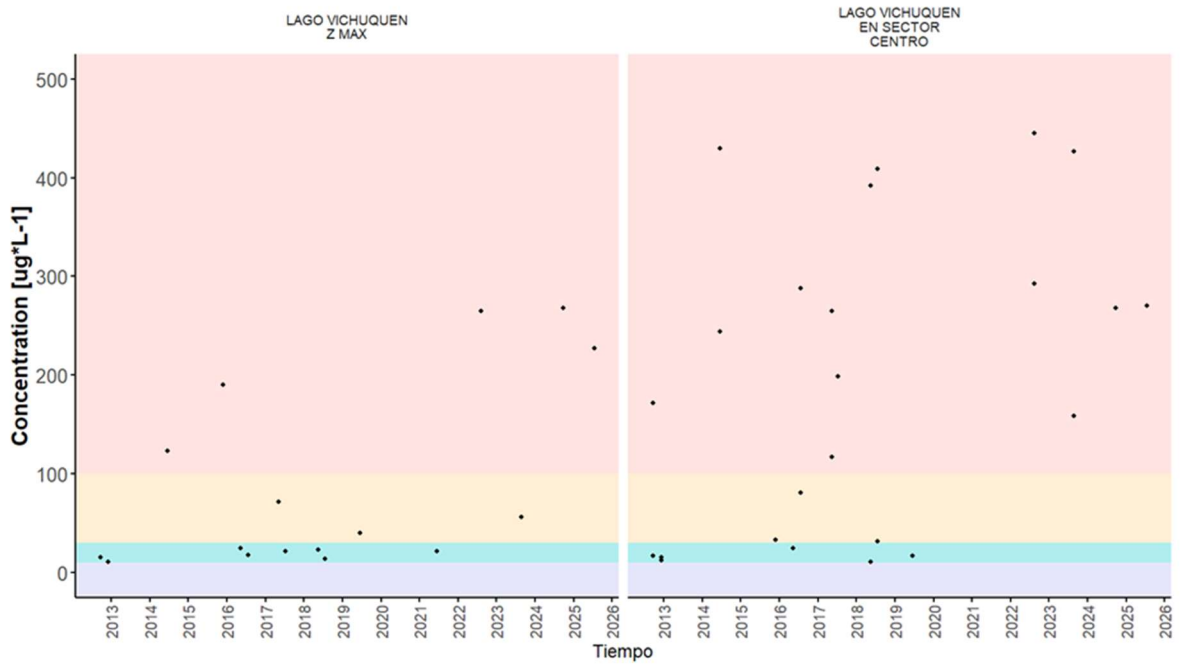
La clorofila 'a' histórica en superficie (Figura 4 A), particularmente entre los años 2013 y 2025 para las estaciones en el lago Vichuquén (Bahía Vichuquén, Sector Centro, y Z Max) tiende a ubicarse en rangos de mejor salud respecto al fósforo, viéndose frecuentemente entre la Oligotrofia, Mesotrofia y Eutrofia, siendo el estado menos frecuente la Hipereutrofia. Por otro lado, en el Estero Vichuquén predominaría una condición Hipereutrófica respecto a las mencionadas anteriormente. En el estrato medio y fondo (Figura 4 B y C) las condiciones reflejan aquello expuesto para la superficie, con predominancia de condiciones Oligotróficas, Mesotróficas y Eutróficas en Bahía Vichuquén

y Z Max, para el estrato medio, y para Bahía Vichuquén, Centro y Z Max en el fondo. La campaña de enero 2026 en superficie indica un estado Hipereutrófico tanto en el lago (Bahía Vichuquén, Sector Centro, y Z Max) como en el Estero Llico en superficie, esta situación también se observa en Playa Paula, que recientemente se ha incorporado formalmente al monitoreo del lago Vichuquén. En el estrato medio se observa una condición Mesotrófica en Bahía Vichuquén y Z Max, y en el estrato fondo una condición eutrófica en Bahía Vichuquén y oligotrófica en Sector Centro y Z Max.

A) Fósforo total en Superficie-Lago Vichuquén



B) Fósforo total en Medio-Lago Vichuquén



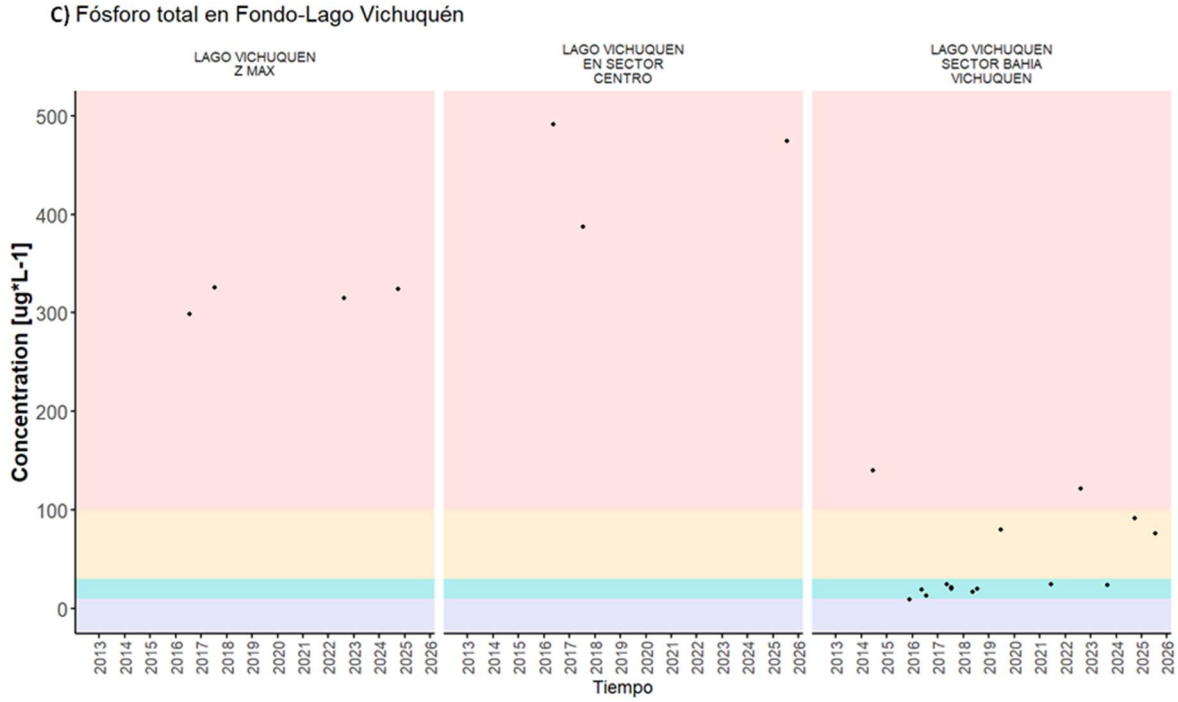
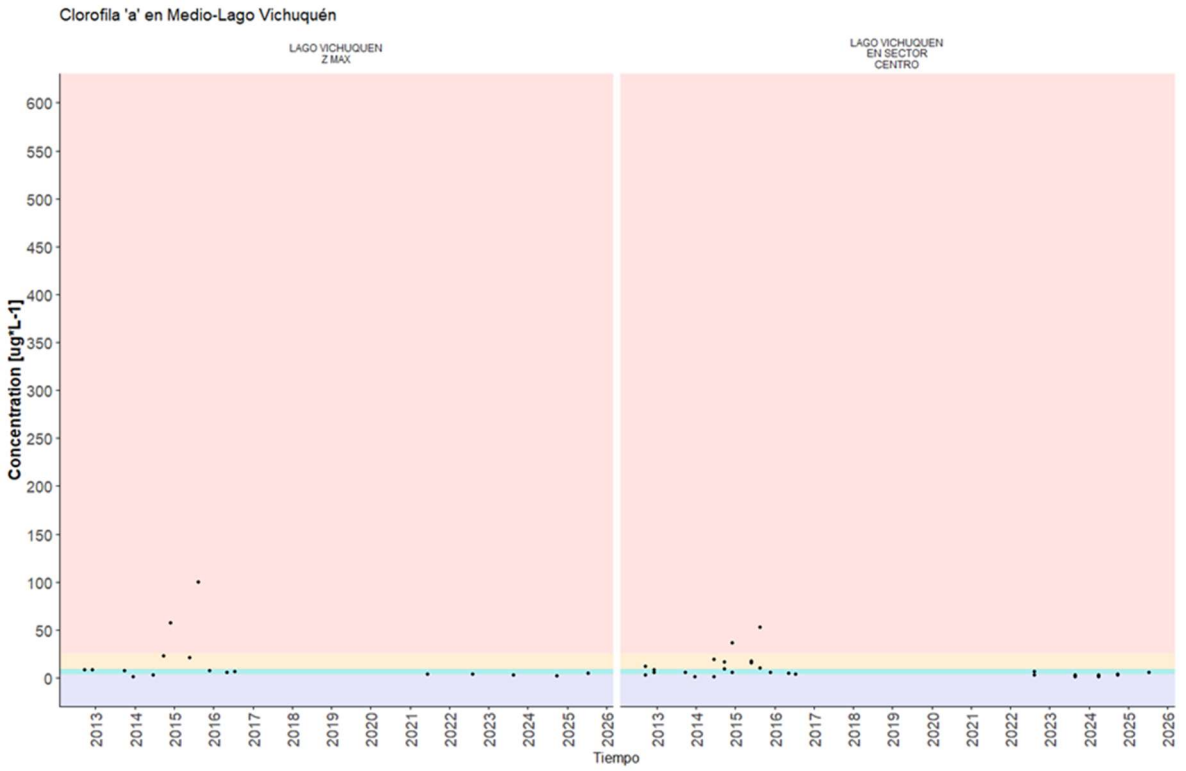
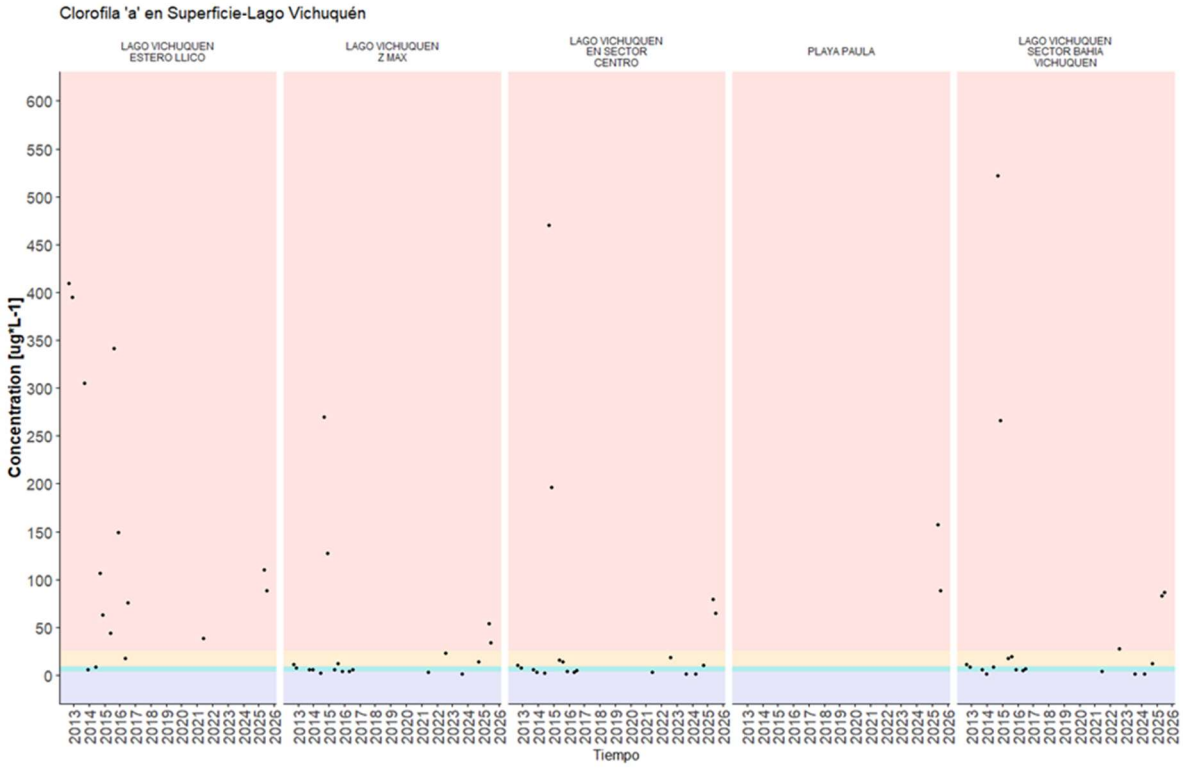


Figura 3. Fósforo total histórico para el lago Vichuquén entre 2013 y 2026 en A) superficie, B) medio y C) fondo. En color rosado representa una condición de hipertrofia, en color amarillo Eutrofia, en color celeste Mesotrófica y en color lavanda la condición de Oligotrofia.



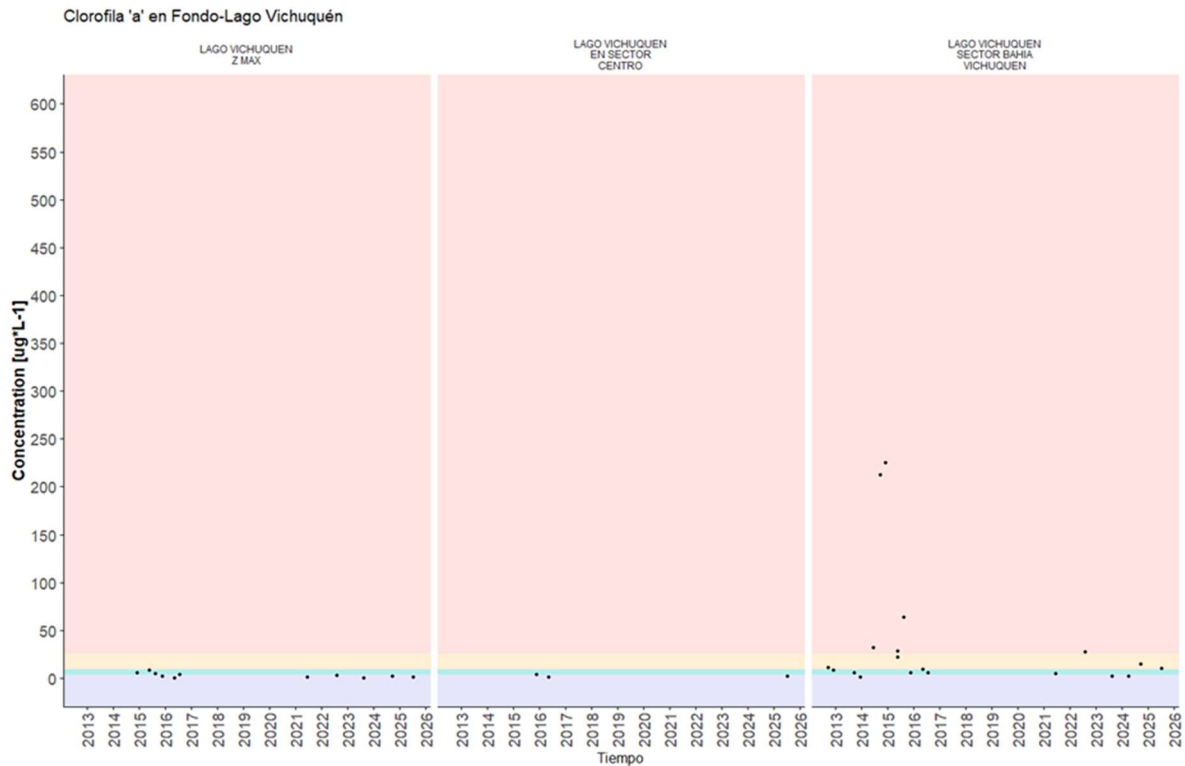


Figura 4. Clorofila 'a' histórica para el lago Vichuquén entre 2013 y 2026 en A) superficie, B) medio y C) fondo. En color rosado representa una condición de hipertrofia, en color amarillo Eutrofia, en color celeste Mesotrófica y en color lavanda la condición de Oligotrofia.

3.2.2 Otros cuerpos de agua

A continuación, se muestra una tabla resumen con el listado de los lagos monitoreados por la DGA desde el año 2009 hasta el 2025, la cual incluye la información del último estudio de lagos realizado por la DGA el año 2025 ("Monitoreo y evaluación limnológica como insumo para el estudio del estado trófico y análisis histórico de la comunidad fitoplanctónica de lagos y lagunas", ID 1019-102-LP24). Se suma a esta información el estado trófico de los lagos. Esta información se basa en los estudios realizados por la DGA y pueden comprometer esfuerzos internos de monitoreo como externalización del servicio. La tabla completa con aquellos lagos donde no se encuentra asignado el estado trófico o tendencia de este se encuentra en el Anexo 9.3.

Tabla 2. Listado de lagos monitoreados por la DGA y su estado trófico reciente (2025). HE: Hipereutrófico, E: Eutrófico, M: Mesotrófico, O: Oligotrófico.

CUERPO DE AGUA				ESTADO TRÓFICO (Chl a, Smith et al.,1999)					
Sistema	Región	Tipo	Clasificación	2018	2021	2022	2023-2024	2025	Último Informado
Chungara	XV	Lago/Laguna	Andinos	x					O
Aculeo	RM	Lago/Laguna	De Valle	x					HE
Cahuil	VI	Estuario	Costeros			x			E
El Ancho	VI	Embalse	Costeros			x			E
El Bajel	VI	Lago/Laguna	Costeros			x			E
El Barro	VI	Embalse	Costeros			x			E
El Perro	VI	Lago/Laguna	Costeros	x	x	x	x		O
El Petrel	VI	Estuario	Costeros	x	x	x			E-HE
Los Lobos	VI	Lago/Laguna	Costeros			x	x		M
Los Cisnes	VII	Lago/Laguna	Costeros				x		O-E
Maule	VII	Lago/Laguna	Andinos				x	x	O
Torca	VII	Lago/Laguna	Costeros	x	x	x			E
Vichuquen	VII	Lago/Laguna	Costeros	x	x				HE
Avendaño	XVI	Lago/Laguna	De Valle						M
Anilauquen	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x		x	M
Antiquina	VIII	Lago/Laguna	Costeros	x		x			E-HE
Aurora	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			E
Bilbilco	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x		x	O
Butaco	VIII	Lago/Laguna	Costeros	x		x			E
Catripahue	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			HE
Chaguira	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			E
Grande San Pedro	VIII	Lago/Laguna	Costeros	x	x	x	x	x	M-HE
La Posada	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x	x		M
Laja	VIII	Lago/Laguna	Andinos				x		O
Lanahue	VIII	Lago/Laguna	Costeros	x	x				E
Lencan	VIII	Lago/Laguna	Costeros	x	x	x		x	O-E
Lleulleu	VIII	Lago/Laguna	Costeros	x					O
Lloncao	VIII	Lago/Laguna	Costeros	x	x	x		x	O
Lo Mendez	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x	x		E-HE

Los Batros	VIII	Lago/Laguna	Costeros	x		x			E
Malalhueque	VIII	Lago/Laguna	Costeros					x	HE
Puyehue	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			E-HE
Quilaco	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			E
Quilamalin	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			E
Quiñenco	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x	x		M
Redonda	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x	x		O-E
Tiquerehue	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			E
Trancalco	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			E-HE
Trilaco	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x			HE
Verde	VIII	Lago/Laguna	Costeros			x	x		E-HE
Budi	IX	Lago/Laguna	Costeros				x		M-E
Caburgua	IX	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Colico	IX	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Galletué	IX	Lago/Laguna	Andinos				x		O
Huilipilun	IX	Lago/Laguna	Norpatagonicos						O
Icalma	IX	Lago/Laguna	Andinos				x		O
Tinuilco	IX	Lago/Laguna	Norpatagonicos		x		x	x	O
Villarrica	IX	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x				M
Calafquen	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Maihue	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Neltume	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Panguipulli	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Pellaifa	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos				x		O
Pirihueico	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Pullinque	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos				x		O
Puyehue	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x			x	O
Ranco	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Riñihue	XIV	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Chapo	X	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x		x	x	O
Cucao	X	Lago/Laguna	Chilotes					x	O
Huillinco	X	Lago/Laguna	Chilotes		x			x	O-M
Llanquihue	X	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x				O
Natri	X	Lago/Laguna	Chilotes	x	x			x	O
Rupanco	X	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x	x			x	O
San Antonio	X	Lago/Laguna	Chilotes	x	x			x	O

Tarahuin	X	Lago/Laguna	Chilotes	x	x			x	M
Tepuhueico	X	Lago/Laguna	Chilotes	x				x	O
Todos Los Santos	X	Lago/Laguna	Norpatagonicos	x				x	O
Yaldad	X	Lago/Laguna	Chilotes	x	x			x	O
Alta	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O
Castor	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O
Cochrane	XI	Lago/Laguna	Patagonicos	x	x				O
Del Camino	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O
Elizalde	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O
General Carrera	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O
Las Perdices	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				M
Las Torres	XI	Lago/Laguna	Patagonicos	x	x				O
Pollux	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O
Riesco	XI	Lago/Laguna	Patagonicos	x	x				O
Risopatrón	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O
Rosselot	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O
Verde	XI	Lago/Laguna	Patagonicos		x				O

Por otra parte, y como complemento a los antecedentes expuestos por la Dirección General de Aguas, desde el Ministerio del Medio Ambiente resulta importante relevar la situación del lago Villarrica. Este cuerpo de agua constituye un precedente fundamental en la gestión hídrica del país, al ser el primer ecosistema lacustre declarado como zona saturada en el marco de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA). Dicha condición, evidenciada mediante recurrentes eventos de floraciones algales (bloom de algas) asociados al exceso de nutrientes, ha requerido un abordaje normativo prioritario. En respuesta a este escenario, actualmente el Ministerio se encuentra en la etapa final de elaboración de su respectivo Plan de Descontaminación Ambiental, instrumento que se erige como el primero en su tipo a nivel nacional y que establecerá las medidas para la recuperación de este ecosistema.

El deterioro de la calidad de las aguas del lago Villarrica, principalmente producto del ingreso acelerado de nutrientes (nitrógeno y fósforo) desde su cuenca aportante, ha generado un fuerte impacto sobre la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos provistos en la cuenca, sobre todo aquellos relacionados con las oportunidades de recreación y turismo que entrega el lago. El exceso de nutrientes produce un proceso de eutrofización que, sumado a otras variables como las altas temperaturas, alta irradiación solar, aumento de pH, poco viento, baja turbulencia y los parámetros hidrodinámicos del cuerpo de agua (mezcla, tiempo de residencia)³, se traduce en un aumento desmedido del crecimiento de microalgas (bloom o afloramientos algales de cianobacterias) en el lago Villarrica, siendo la concentración de fósforo de alrededor de 0,03 mg/l, suficiente para el crecimiento acelerado. La proliferación de las cianobacterias⁴ repercute en la disminución del oxígeno del agua, en la reducción de la transparencia, y en algunos casos, en un aumento de toxinas que pueden afectar al resto de la biota acuática generando mortandad de peces y macroinvertebrados, además de afectar directamente la salud humana debido a la ingesta de agua, o bien, por contacto directo con la piel o inhalación. Asimismo, los impactos del aumento de los eventos de blooms de algas podrían generar efectos sobre la pesca y la acuicultura, la biodiversidad y la pérdida del valor económico del sector y de las propiedades, entre otros impactos. Las toxinas de cianobacterias tienen efectos graves también en los seres humanos, evidenciándose que una de las poblaciones más vulnerables a la exposición a cianotoxinas son los niños⁵.

Para abordar este desafío, a partir de junio de 2023 se comenzó con un trabajo regional asociado a la conformación de una mesa de trabajo interinstitucional para la gestión de Bloom de algas del lago Villarrica, la cual se crea bajo la Resolución 1386, de diciembre de 2023, compuesta por 17 instituciones públicas. A la fecha, la mesa ha estado activa durante

³ Ministerio del Medio Ambiente - Universidad Austral de Chile (2020). Revisión de antecedentes de calidad del agua, como apoyo a la elaboración de informes de calidad del ministerio del medio ambiente. elaboración de un protocolo de acción para gestión de episodios de bloom algales en el lago Villarrica.

⁴ Sejnohova, L. & Marsalek, B. (2012). Microcystis. In *Ecology of Cyanobacteria II*. (ed B. A. Whitton), pp. 195–228. Springer Dordrecht.

⁵ Svircev Z, Drobac D, Tokodi N, Mijovic B, Codd GA, Meriluoto J. Toxicology of microcystins with reference to cases of human intoxications and epidemiological investigations of exposures to cyanobacteria and cyanotoxins. *Arch Toxicol* 2017; 91:621-50.

las temporadas 2023-2024; 2024-2025 y 2025-2026. El objetivo de la mesa es “Establecer las acciones de monitoreo seguimiento y coordinación de acciones para la descontaminación de la cuenca del lago Villarrica durante el año calendario, con especial énfasis en el período de habilitación de playas para el baño en donde se producen episodios de florecimientos de microalgas (15 diciembre al 15 de marzo), con el propósito de alertar a la ciudadanía sobre eventuales efectos que puedan generar un riesgo a la salud de la población por exposición de cianotoxinas y las acciones a seguir durante estos períodos”.

Señalar que este plan operacional es parte de las medidas del Plan de Descontaminación Ambiental del lago Villarrica, específicamente indicado en el Capítulo VIII, por tanto, esta acción viene a adelantar y acelerar su implementación.

De acuerdo al último informe técnico de cumplimiento⁶, elaborado por la SMA en base al análisis de información de la Dirección General de Aguas para el lago Villarrica para el año 2024, se registró incumplimiento normativo de fósforo, tanto por valor promedio como por valor máximo, en las estaciones pelagial centro y dos de las cinco áreas de vigilancia litorales. Asimismo, se verificó incumplimiento normativo para transparencia asociado al límite promedio bienal en pelagial centro, así como cumplimiento en nivel de advertencia en 4 áreas litorales del lago. El resto de los parámetros normados se mantuvo cumpliendo las normas secundarias vigentes.

3.3 Floraciones algales, cianobacterias y cianotoxinas

3.3.1 Sistema lacustre del lago Vichuquén

La Figura 5, proveniente del estudio “Monitoreo y evaluación limnológica como insumo para el estudio del estado trófico y análisis histórico de la comunidad fitoplanctónica de lagos y lagunas”, (ID 1019-102-LP24) (DGA, 2025) muestra la composición porcentual de las principales clases de microalgas en el lago Vichuquén entre los años 2013 y 2021. En ella se puede observar un dominio de las cianobacterias (cyanophyceae) en casi todos los años, donde este grupo supera con frecuencia el 60% del ensamble fitoplanctónico. En 2013 y

⁶ Disponible en <https://snifa.sma.gob.cl/Fiscalizacion/Ficha/1069437>.

2014 se observan aportes relativamente mayores de diatomeas (Bacillariophyceae) y algas verdes (Chlorophyceae), mientras que en 2015 se registra un incremento notable de crisofíceas (Chrysophyceae). En años posteriores (2016–2021) la comunidad vuelve a estar fuertemente dominada por cianobacterias, con valores superiores al 90% y con presencias muy bajas de otros grupos, con excepción del año 2018, donde las criptofíceas alcanzan una proporción considerable, acompañada de aportes menores de diatomeas y otros grupos (Tabla 3). La Tabla 4 muestra el comportamiento de los parámetros comunitarios, donde se puede observar una gran variabilidad en el tiempo, destacando los bajos índices de diversidad y equidad, determinados por el fuerte predominio de las cianobacterias.

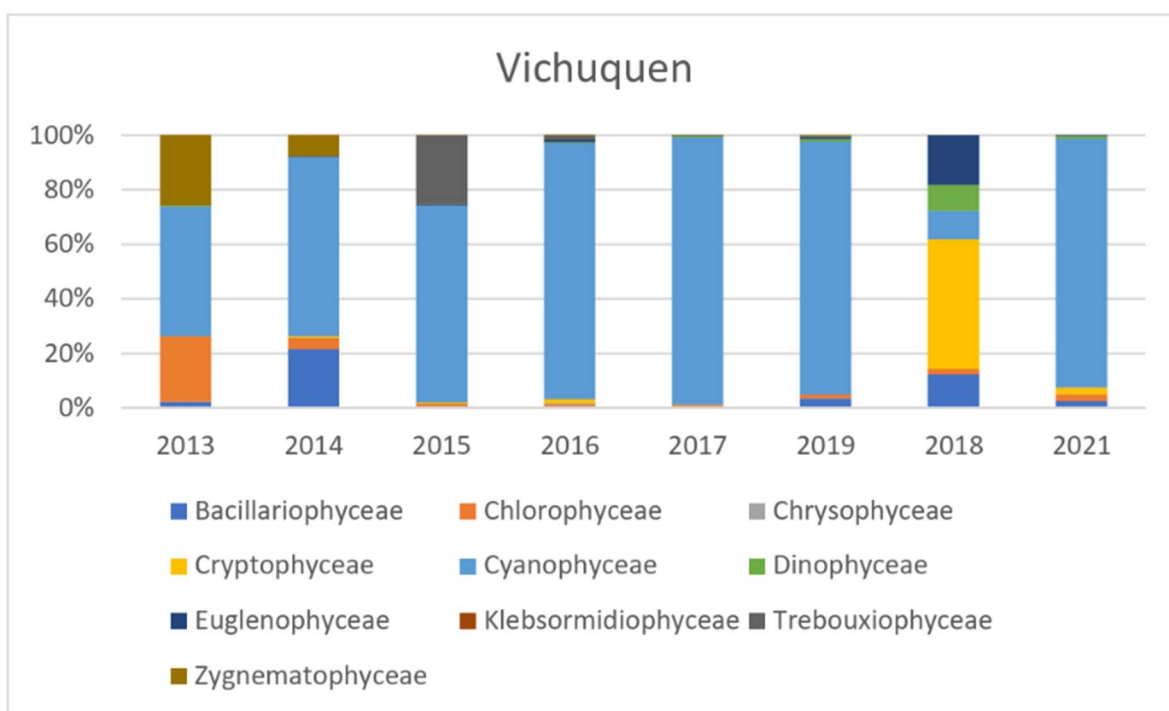


Figura 5. Variación temporal de la composición de la comunidad fitoplanctónica de lago Vichuquén.

Tabla 3. Abundancia relativa (%) de la comunidad fitoplanctónica del lago Vichuquén.

Clase	Abundancia Relativa (%)							
	2013	2014	2015	2016	2017	2019	2018	2021
Bacillariophyceae (Diatomeas)	2.1	21.6	0.4	0.5	0.3	3.4	12.3	2.5
Chlorophyceae (Algas verdes)	24.1	4.0	1.2	0.9	0.6	1.4	2.0	2.5
Chrysophyceae (Algas doradas)	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
Cryptophyceae (Criptofitas)	0.0	0.6	0.4	1.4	0.3	0.1	47.5	2.4
Cyanophyceae (Algas verde-azules)	47.6	65.8	72.1	94.1	97.9	92.8	10.5	91.4
Dinophyceae (Dinofitas)	0.6	0.0	0.2	0.3	0.4	1.0	9.6	0.9
Euglenophyceae (Euglenofitas)	0.0	0.0	0.4	1.1	0.0	0.9	18.1	0.2
Klebsormidiophyceae	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Trebouxiophyceae (Treboufitas)	0.0	0.4	25.3	1.2	0.3	0.4	0.0	0.1
Zygnematophyceae (Algas conjugadas)	25.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0

Tabla 4. Parámetros comunitarios de abundancia total (cel/L) promedio anual, riqueza de especies, diversidad de Shannon y equidad Pielou para lago Vichuquén.

Parámetros	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021
Abundancia	1.838.387	3.155.104	12.708.475	52.043.138	124.026.487	175.765	6.474.139	3.684.849
Riqueza	16	43	41	77	45	15	25	23
Shannon	0,9	1,4	1,7	1,3	0,5	1,3	1,5	0,7
Simpson	0,5	0,5	0,7	0,4	0,2	0,6	0,7	0,2
Pielou	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,5	0,2

Los resultados más recientes tomados por la DGA, validan la predominancia de Cyanobacterias, específicamente de la especie *Nodularia spumigena* Mertens ex Bornet & Flahault 1888, identificada también en noviembre de 2025 (DGA, 2026) (Figura 6). Estas Cianobacterias generan una toxina (hepatotoxina) que permanece por varios días una vez que la bacteria muere por efecto de la resuspensión causada por el movimiento del agua. Esta toxina puede causar colapso en el hígado (necrosis y hemorragia intra-hepática) y la muerte de animales si es ingerida en altas concentraciones e incluso causar efectos acumulativos crónicos como inducción de tumores hepáticos (WHO, 2021). Los resultados

puntuales y su comparación con el umbral internacional de la OMS se muestran en la Tabla 5:

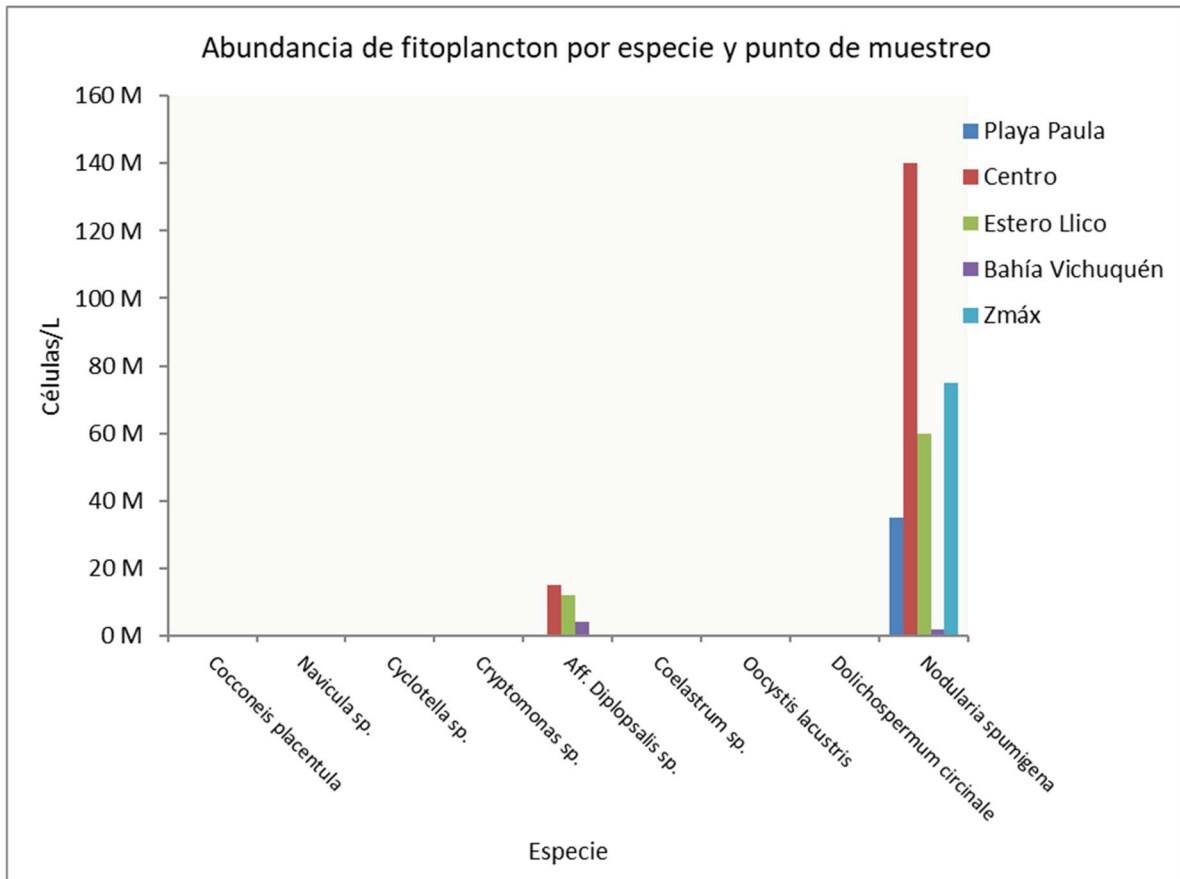


Figura 6. Abundancia de fitoplancton por especie y punto de muestreo, monitoreo 14/01/2026 en lago Víchuquén.

La OMS (WHO en inglés) (WHO, 2026) establece 3 niveles de alerta para cianobacterias en aguas recreativas:

- Alerta 1: hasta 20.000 cél/L nivel moderado de riesgo para la salud
- Alerta 2: hasta 100.000 cél/L, nivel alto de riesgo para la salud
- Alerta 3: hasta 100.000.000 cél/L. nivel muy alto de riesgo para la salud

Tabla 5. Comparación de la cantidad de células por litro en cada punto de muestreo respecto al nivel recomendado por la OMS relacionado con riesgos a la salud. Se incorpora el riesgo de alerta en cada punto.

Punto	Nodularia spumigena (cél/L)	Nivel OMS
Playa Paula	35.000.000	Alerta 3
Centro	1,4E+08	Alerta 3
Estero Llico	60.000.000	Alerta 3
Bahía Vichuquén	2.400.000	Alerta 3
Zmáx	75.000.000	Alerta 3

Los valores medidos en Lago Vichuquén se encuentran principalmente en nivel de alerta 3.

3.3.2 Otros cuerpos de agua

Tal como se señala en la sección 3.2.2 de este informe, existe evidencia de florecimiento de algas y cianotoxinas en el lago Villarrica.

Por otro lado, también existe conocimiento de eventos de florecimiento de algas focalizados en bahías del lago Llanquihue, particularmente en las de Frutillar y Puerto Varas, cuyo origen se asocia a aportes de aguas servidas en quebradas y esteros, así como a las activaciones de aliviaderos de tormenta relacionados a la infraestructura sanitaria. Estos blooms aparecen como biomasa y flóculos de tamaño medio a pequeño de color café o verde, que se disponen en una banda a poca distancia de la playa (0,5 a 2m) y a baja profundidad (0,5-1m). El último episodio de estas características del que se tiene registro en el lago Llanquihue ocurrió en la bahía de Frutillar el año 2021.

3.4 Antecedentes sedimentarios

La DGA no levanta información sedimentaria en su red hidrométrica, por tanto, no cuenta con antecedentes propios para aportar en este aspecto.

El año 2016 se desarrolló un estudio denominado “Análisis Desembocadura Estero Llico” de la Dirección de Obras Portuarias del MOP, cuyo objetivo principal fue caracterizar las condiciones naturales del sistema lago–estero–mar y evaluar, a nivel conceptual, la factibilidad de manejar artificialmente la barra de arena en la desembocadura. Este manejo (apertura y cierre controlado) se plantea como una medida para mitigar inundaciones en las riberas del lago Vichuquén y el estero Llico, así como mejorar la renovación de aguas y potenciar el desarrollo turístico.

El estudio incorporó un análisis sedimentológico relevante tanto para entender la dinámica de la barra como los procesos internos del lago. Se consideran campañas de terreno con toma de muestras de sedimentos, análisis granulométrico submareal, localización de estaciones de muestreo (10 puntos), y estudios previos que incluyen granulometría, contenido de materia orgánica, potencial redox y biodiversidad bentónica. Además, se reconoce el rol de la sedimentación en la evolución del sistema lacustre, asociada a la erosión de la cuenca y a los aportes fluviales, constituyendo un proceso clave en la colmatación, la eutrofización y en la dinámica de apertura/cierre de la barra.

A la fecha no se ha avanzado en las etapas siguientes del estudio. Sin embargo, posteriormente, el estudio contempla una segunda fase Modelación de transporte de sedimentos y análisis conceptual de soluciones (Etapa II), en la cual se desarrollarán simulaciones hidrodinámicas y propuestas de intervención.

En la imagen siguiente se observa la distribución de los puntos de monitoreo incorporados en la Etapa I.

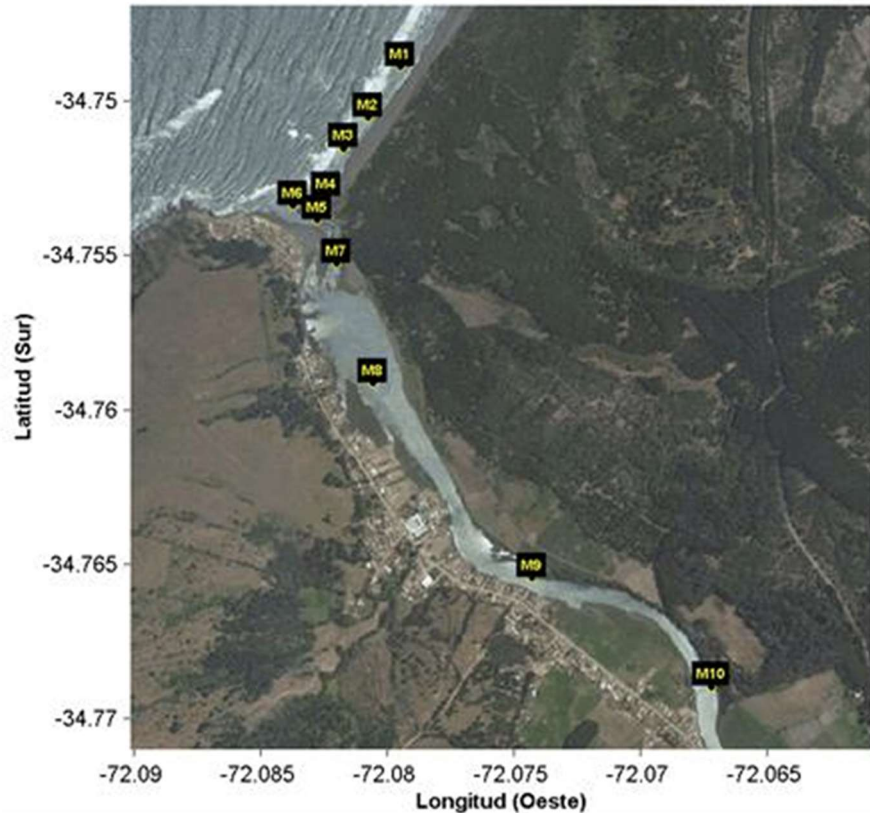


Figura 7. Ubicación de las estaciones de muestreo para el análisis granulométrico del estudio “Análisis Desembocadura Estero Llico Comuna de Vichuquén, Región del Maule”, 2016.

No obstante lo anterior, a la fecha no se han realizado los monitoreos de sedimentos requeridos para cuantificar el aporte de los nutrientes contenidos en los mismos hacia la columna de agua.

3.5. Principales presiones ambientales

Las presiones identificadas sobre el lago Vichuquén se relacionan principalmente con un probable y excesivo aporte de nutrientes que, sumado a las características hidrodinámicas y ambientales de este sistema, han ido degradando el estado ambiental del ecosistema. Al respecto, estas pueden resumirse como sigue:

- a) Aporte excesivo de nutrientes: existe un aporte de fuentes difusas y puntuales de nutrientes nitrogenados y fosforados de la cuenca hacia el lago cuya magnitud

supera cualquier proceso considerado natural (EULA-Chile, 2016). Se ha identificado que el nutriente limitante del crecimiento de algas en este lago es el fósforo.

- b) Carga interna de nutrientes del sistema: Los sedimentos acumulados en el fondo del lago constituyen un reservorio de nutrientes que han sido incorporados y retenidos a lo largo del tiempo como resultado tanto de aportes históricos como de la carga interna. Entre los nutrientes de mayor relevancia destaca el fósforo, el cual, bajo condiciones aeróbicas, se une a óxidos e hidróxidos de hierro y precipita hacia el sedimento, quedando temporalmente inmovilizado. Sin embargo, bajo condiciones anóxicas o reductoras —frecuentes en el hipolimnion de lagos eutróficos durante períodos de estratificación térmica o salina— este complejo se disocia y el fósforo es liberado nuevamente a la columna de agua, donde queda biodisponible para el fitoplancton, incluidas las cianobacterias. Este proceso, denominado carga interna de nutrientes, puede sostener o incluso intensificar los episodios de floración algal con independencia de la reducción de los aportes externos, constituyendo uno de los principales desafíos para la recuperación de sistemas hipereutróficos como el Lago Vichuquén (EULA-Chile, 2016).
- c) Estratificación y falta de mezcla de la columna de agua: La incorporación de agua marina al lago genera una marcada estratificación vertical de la columna de agua, caracterizada por la presencia de una capa superior de agua dulce —menos densa— y una capa inferior de agua salada —más densa—, separadas por una haloclina que inhibe la mezcla vertical entre ambas masas de agua. Esta condición, sumada a la predominancia de una condición de aguas con baja circulación dada por flujos de entrada y salida intermitentes y poco frecuentes, impide la oxigenación de las capas profundas, provocando una reducción drástica del oxígeno disuelto en el hipolimnion hasta alcanzar condiciones anóxicas. Dichas condiciones tienen un doble efecto negativo sobre el sistema: por una parte, limitan severamente el hábitat disponible para la biota acuática aeróbica; por otra, desencadenan procesos de reducción química en los sedimentos que favorecen la liberación de nutrientes — particularmente fósforo— hacia la columna de agua, incrementando su

biodisponibilidad para el fitoplancton. Este mecanismo de retroalimentación aumenta la vulnerabilidad del sistema a mantener o intensificar su estado eutrófico y a presentar floraciones recurrentes de algas y cianobacterias (Pedreros et al., 2016)

- d) Cambio de uso de suelo de la cuenca: Los usos de suelo predominantes del entorno del lago son terrenos silvícolas (pino/eucalipto), que representan aproximadamente un 64% de la superficie, y praderas y matorrales que corresponden a un 19%. En conjunto, las categorías asociadas a actividades productivas y coberturas intervenidas alcanzan cerca del 70% de la superficie de la cuenca, lo que configura una presión territorial relevante sobre el sistema lacustre, especialmente por su relación con la escorrentía superficial, la erosión, el transporte de sedimentos y las cargas difusas de nutrientes.

Al respecto, Fuentealba et al. (2021) señalan que las perturbaciones humanas ocurridas durante los períodos prehispánico, colonial y republicano (hasta mediados del siglo XX) no generaron cambios significativos en los flujos de carbono y nitrógeno de la cuenca. Sin embargo, posteriormente se registró un cambio sin precedentes en los últimos 700 años, especialmente desde las décadas de 1980 y 1990, caracterizado por un fuerte aumento de dichos flujos. Este cambio fue coincidente con la expansión masiva de plantaciones forestales exóticas, principalmente de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, cuya cobertura aumentó desde aproximadamente un 1% a un 66% de la superficie de la cuenca entre 1975 y 2016, reemplazando áreas previamente destinadas a cultivos y coberturas nativas de bosque y matorral, las que en 1975 representaban un 17% y un 79% de la cuenca, respectivamente.

Las plantaciones de pino y eucalipto no ofrecen la cobertura vegetal adecuada para controlar el aporte de sedimento al lago, mientras que la actividad agrícola intensiva suma los excedentes de nutrientes que no logran ser asimilados por los cultivos y por tanto escurren hacia el sumidero que en este caso es el sistema lacustre del lago Vichuquén (Fuentealba et al. 2021).

- e) Urbanización y presión turística: El entorno del sistema lacustre ha experimentado un incremento sostenido en la densidad de viviendas y la afluencia turística, sin que

dicho crecimiento haya sido acompañado de un desarrollo sanitario equivalente. Esta situación favorece la ocurrencia de descargas directas e indirectas de aguas servidas al lago, a sus tributarios y, potencialmente, mediante conexión hidráulica con los acuíferos subyacentes. A estas presiones se suma la extracción de agua del lago para riego de jardines y áreas verdes aledañas, así como los impactos asociados a la práctica de deportes náuticos, pesca deportiva y actividades recreativas sobre la columna de agua y la biota del sistema (Rojas y Rocha, 2011). Asimismo, el uso de fertilizantes en la mantención de jardines privados constituye una fuente difusa de nutrientes que debe ser cuantificada y visibilizada en el marco del diagnóstico de presiones. Finalmente, se ha observado una disminución y sustitución progresiva de la vegetación acuática nativa en las riberas del lago, lo que reduce la capacidad del sistema para retener y fijar nutrientes, oxigenar la columna de agua y proveer hábitat para la fauna asociada, comprometiendo con ello las funciones ecosistémicas de amortiguación que dicha vegetación cumplía naturalmente.

- f) Alteración del régimen hidrológico: Desde los eventos más generales a los más particulares, se puede mencionar el impacto que ha tenido la mega sequía sumado al cambio climático que ha disminuido las precipitaciones en la cuenca, afectando el volumen de agua del sistema lacustre y, consecuentemente, sus concentraciones ambientales de determinados parámetros. Por otro lado, terremotos y tsunamis, como los de los años 1906 y 2010, modificaron la conexión del estero Llico con el mar y generaron un importante aporte de agua salada al sistema impactando directamente la funcionalidad del lago y su entorno. En lo particular el lago se comunica con el mar mediante una barrera de arena natural, cuyo funcionamiento natural depende del nivel del agua del lago y de los periodos de alta marea, cuando se rompe la barra naturalmente. Los últimos años la barra ha sido intervenida de forma artificial por distintos actores buscando satisfacer usos del lago que se contraponen. Esto ha derivado en situaciones de inundación de las viviendas que están en la ribera del estero Llico, acumulación de aguas residuales provenientes de la PTAS del Pueblo de Llico, y la interrupción de la renovación del agua del lago al

limitarse su conexión con el mar. Por otro lado, la entrada de agua marina al sistema (intrusión salina) intensifica las condiciones de estratificación y, consecuentemente, otras situaciones ambientales no deseadas, como la disminución de oxígeno en el hipolimnion (capa más profunda del cuerpo de agua).

4. Brechas identificadas

A partir del análisis de la evidencia disponible, se identifican las siguientes brechas para el sistema lacustre del lago Vichuquén:

4.1 De monitoreo

4.1.1 Frecuencia temporal

La capacidad de un programa de monitoreo para caracterizar la dinámica de un sistema acuático está determinada, en primer lugar, por la correspondencia entre la frecuencia de muestreo y la velocidad de cambio de los procesos que se pretende observar. En el caso del sistema lacustre de Vichuquén, los procesos de mayor relevancia para la gestión —en particular la formación de floraciones de algas y cianobacterias y cambios en la haloclina— operan en escalas temporales del orden de horas a días.

El monitoreo realizado actualmente para este sistema es de carácter estacional, siendo limitado para caracterizar adecuadamente la dinámica intra e interanual de las concentraciones de nutrientes y de los eventos de florecimientos de algas y cianobacterias y de mezcla vertical. La implementación de un monitoreo que permita caracterizar estos aspectos con robustez estadística es clave para comprender el funcionamiento del sistema, modelar su hidrodinámica y el comportamiento de la calidad de sus aguas y, consecuentemente, para el diseño y la evaluación de medidas para su recuperación.

4.1.2 Cobertura espacial

A esta brecha temporal se suma una brecha de cobertura espacial, ya que se trata de un sistema heterogéneo donde existen gradientes verticales pronunciados —condicionados

por la haloclina permanente que separa la capa superficial de agua dulce de la masa profunda de agua salobre— y diferenciados por gradientes horizontales asociados a la morfología del lago, a la localización de afluentes y a patrones de circulación interna. Se debe fortalecer el monitoreo existente para caracterizar adecuadamente los distintos subsistemas de este sistema lacustre, de forma de contar con la información necesaria para la determinación de zonas de mayores concentraciones de nutrientes (en columna de agua y sedimentos), zonas anóxicas, y zonas con mayor predisposición al desarrollo de florecimiento de algas y cianobacterias.

4.1.3 Parámetros medidos y analizados

Se identifica la necesidad de incorporar de forma sistemática el monitoreo y análisis de algunas variables fisicoquímicas (nitrógeno y sus fracciones), biológicas (identificación taxonómica de fitoplancton, recuento celular y biovolumen, ficocianina), toxicológicas (nodularina, microcistinas), sanitarias (coliformes fecales, e. coli, enterococos) y meteorológicas que modulan la respuesta del sistema (viento, radiación, temperatura, precipitación).

4.1.4 Matriz sedimentos

Tal como se indica en la sección 3.4 del presente informe, a la fecha no se han realizado monitoreos de sedimentos que permitan cuantificar el aporte de los nutrientes contenidos en los mismos hacia la columna de agua, lo cual resulta fundamental para determinar el aporte relativo de esta fuente interna de nutrientes a la carga actual del sistema.

Lo anterior es fundamental para la construcción del balance de masas de nutrientes y, consecuentemente, para el diseño y evaluación de medidas de recuperación para este ecosistema.

4.2 De información

4.2.1 Batimetrías

El levantamiento topobatimétrico disponible para el lago Vichuquén, la Laguna Torca y el estero Llico corresponde al estudio EULA (2019), ejecutado con ecosonda de 200 kHz y barridas cada 300 m en el lago. Desde esa fecha, los procesos de colmatación sedimentaria —particularmente en la Laguna Torca y en el sector de la desembocadura del estero Llico— pueden haber modificado la morfometría de la cubeta lacustre.

La batimetría actualizada constituye el insumo de entrada del modelo hidrodinámico, ya que determina el volumen efectivo del sistema, el tiempo de residencia hidráulica y la geometría de la cubeta que condiciona la estratificación térmica y salina.

Se deben identificar, caracterizar y cuantificar los aportes de fuentes puntuales y difusas de nutrientes. Para lo anterior, se deben determinar factores de exportación de nutrientes sitio-específicos, y realizar monitoreos que permitan determinar el aporte desde las distintas subcuencas.

4.2.2 Información meteorológica

El sistema lacustre del lago Vichuquén requiere series de datos meteorológicos de largo plazo con resolución horaria. La temperatura del aire, la radiación solar, la velocidad y dirección del viento, la humedad relativa y la precipitación constituyen las forzantes ambientales que modulan tres procesos del sistema. Primero, la estratificación térmica y la circulación interna del lago, que condicionan la ocurrencia de floraciones de cianobacterias. Segundo, los procesos de remoción y transporte de sedimentos en la cuenca, que determinan la carga externa de nutrientes. Tercero, el balance hídrico del sistema, que permite cuantificar el tiempo de residencia hidráulica bajo distintos escenarios climáticos, incluidos condiciones extremas como los asociados a la megasequía.

4.2.3 Balance de nutrientes

La información actualmente disponible no permite la construcción de un balance de masas de nutrientes, el cual es fundamental para la identificación de la contribución relativa de cada fuente de nutrientes al sistema y la simulación de distintos escenarios de gestión orientados a su recuperación.

4.2.4 Modelo hidrodinámico

El sistema lacustre de Vichuquén presenta una dinámica física de alta complejidad, determinada por la interacción entre el aporte de agua dulce proveniente de la cuenca, la intrusión ocasional de agua salada desde el mar hacia el estero Llico, la estratificación de la columna de agua y la variabilidad del régimen de vientos y temperatura. Estos procesos controlan la circulación interna del lago, el tiempo de residencia hidráulica y los gradientes horizontales y verticales de masa y energía. Un modelo hidrodinámico calibrado que considere las condiciones específicas del sistema, es requerido para determinar cómo se distribuyen los flujos de agua en distintos escenarios de gestión de fuentes externas e internas de nutrientes —como la apertura regulada de la barra terminal del estero Llico o la modificación del régimen de descargas—, así como también para anticipar los efectos hidráulicos y en la calidad de las aguas de eventuales obras de infraestructura sobre la estabilidad de la estratificación del lago. Esta carencia impide el diseño y evaluación técnica y económica de las alternativas de gestión hídrica y remediación que sean propuestas).

4.2.5 Modelo de calidad de aguas

Los procesos de transformación, retención y liberación de fósforo y nitrógeno dependen de la interacción entre variables físicas —temperatura, oxígeno disuelto, luz, salinidad— y reacciones geoquímicas que operan en la interfaz sedimento-agua y a lo largo de toda la cubeta lacustre. Se requiere de un modelo de calidad de aguas que integre estas interacciones para cuantificar la contribución relativa de las distintas fuentes de nutrientes —externas e internas— a la carga actual del sistema, así como simular la respuesta del lago ante distintos escenarios de reducción de carga o ante cambios en las condiciones

ambientales o de estratificación. Adicionalmente, este modelo es fundamental para el diseño de un modelo predicción de floraciones de algas y cianobacterias.

La ocurrencia, magnitud y persistencia de las floraciones de algas y cianobacterias dependen de la interacción entre la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en la zona fótica, las condiciones de temperatura y estabilidad de la columna de agua, la competencia entre grupos fitoplanctónicos y los tiempos de proliferación propios de cada especie dominante. Por ejemplo, en el caso de *Nodularia spumigena*, especie responsable de las recientes floraciones tóxicas registradas en Vichuquén, se caracteriza por su capacidad de proliferar en ecosistemas salinos y salobres, fijar nitrógeno atmosférico y regular su posición en la columna de agua (Voß, et al. 2013; Kopf, et al. 2015). La ausencia de un modelo que integre la componente fitoplanctónica en función de las variables ambientales del sistema impide estimar umbrales críticos de nutrientes y condiciones físicas por encima de los cuales la probabilidad de floración tóxica se torna elevada, así como anticipar la respuesta del ensamble fitoplanctónico ante distintos escenarios de reducción de carga. Esta carencia deja a la autoridad sanitaria y ambiental sin herramientas de anticipación, limitando su capacidad de respuesta a la constatación del riesgo una vez que la floración ya está en curso.

4.3 Brecha de Gestión y Regulatoria e Institucional

4.3.1 De recursos económicos, materiales y humanos

El municipio y los servicios públicos con competencia sectorial cuentan con un presupuesto anual limitado para financiar diagnósticos, mediciones operativas, estudios predictivos, modelaciones hidrodinámicas y balances de masa a nivel de cuenca. Instrumentos como el PLADECO reconocen que los presupuestos regulares de la comuna no cubren este tipo de necesidades. En consecuencia, la generación de líneas base técnicas queda supeditada a la inyección de recursos externos como son los fondos FNDR, mecanismo que la ley contempla para financiar información habilitante de esta naturaleza.

Desde el ámbito material se observa que el sistema lacustre del lago Vichuquén y la dimensión del problema, resultan insuficientes los sistemas de medición continua y discreta.

La Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Llico presenta déficits de infraestructura constatados por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA): no dispone de medidores de caudal en ninguno de sus componentes ni de puntos técnicos habilitados para el muestreo de sus descargas entre otros aspectos.

Por último, los organismos públicos regionales y municipales carecen de dotación técnica especializada para diseñar, supervisar y fiscalizar instrumentos de gestión ambiental de esta complejidad. La Estrategia Regional de Desarrollo (ERD Maule 2042) establece la necesidad de reforzar las competencias técnicas del recurso humano en los organismos regionales. El PLADECO reconoce expresamente que las necesidades locales exigen "contar con equipos profesionales capacitados para poder levantar y formular iniciativas de inversión" de alta complejidad.

4.3.2 De instrumentos de gestión ambiental

El sistema lacustre de Vichuquén carece actualmente de una Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) que establezca objetivos de calidad de agua para este sistema lacustre y que, posteriormente, habilite a la autoridad ambiental para elaborar, dictar e implementar un Plan de Descontaminación Ambiental, el cual permita exigir medidas y acciones específicas para la recuperación de este ecosistema.

Esta brecha normativa se traduce, en términos concretos, en que las instituciones competentes no disponen de los instrumentos legales específicos para exigir reducciones de carga contaminante, priorizar intervenciones y habilitar el financiamiento de medidas de recuperación con el debido respaldo regulatorio.

Para abordar esta brecha, el Ministerio del Medio Ambiente ha iniciado el proceso de elaboración de dicho instrumento, mediante R.E. N° 1535/2026, sin embargo, el posterior proceso de elaboración de un respectivo plan de descontaminación ambiental requiere robustecer la generación e integración de datos ambientales. Por ello, el esfuerzo actual se centra en sistematizar la línea base disponible, avanzar en el diseño de NSCA y obtener recursos que permitan realizar estudios para cuantificar las estimaciones de aportes de carga y desarrollar la modelación de escenarios requeridos para el diseño del plan de

descontaminación ambiental, de forma que este considere medidas de remediación efectivas para este ecosistema en particular.

4.3.3 De infraestructura sanitaria y ordenamiento territorial

A nivel de cuenca se detecta una importante brecha sanitaria relacionada con la proliferación de microbasurales cercanos a fuentes de agua y los graves problemas de ordenamiento territorial, como el relleno de zonas litorales y humedales para la expansión urbana (Estrategia Regional de Desarrollo como el PLADECO, 2023). De igual forma, se evidencia una deficiencia y carencia en la infraestructura básica de saneamiento (alcantarillado), significando un aporte de nutrientes y materia orgánica al sistema que debe ser cuantificado y ponderado en relación con los otros aportes externos.

4.3.4 Generación de pronóstico y escenarios

Los organismos públicos con competencia en el sistema lacustre del lago Vichuquén no disponen de herramientas de pronóstico ni de modelación de escenarios prospectivos. Esta brecha impide transitar desde una respuesta reactiva ante emergencias hacia una gestión preventiva. El Centro EULA (2019) establece que el dinamismo hidrológico del sistema exige simular continuamente nuevas condiciones frente a eventos extremos. La Estrategia Regional de Desarrollo (ERD Maule 2042) refuerza este mandato al incorporar el uso de la prospectiva como exigencia para anticipar y comprender los riesgos futuros.

La ausencia de modelos calibrados tiene dos consecuencias directas para la gestión. Primero, la autoridad sanitaria no cuenta con herramientas para anticipar las condiciones físicas y biogeoquímicas que preceden el inicio de una floración tóxica de cianobacterias. De igual forma, se requiere de modelos para poder dimensionar y evaluar el impacto que tienen distintas soluciones orientadas a la remediación del sistema.

5. Medidas adoptadas o actualmente en evaluación

5.1 Ministerio del Medio Ambiente

5.1.1 Participación en mesas regionales

El Ministerio, principalmente a través de su Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la Región del Maule (“SEREMI del Maule”), ha participado activamente en instancias de coordinación territorial. En este marco, el Gobierno Regional del Maule constituyó un comité operativo intersectorial con el propósito de abordar la compleja situación ambiental del Lago Vichuquén, instancia en la cual la SEREMI del Maule ejerce funciones de secretaría técnica.

Por otro lado, la SEREMI del Maule ha participado activamente en las sesiones de la Comisión de Medio Ambiente y Turismo del Consejo Regional del Maule, abordando con las autoridades regionales la crisis del sistema lacustre.

5.1.2 Protocolo manejo de barra terminal

Como consecuencia del acuerdo adoptado en la Jornada de Diálogo Interinstitucional sobre el Sistema Lacustre del Lago Vichuquén (29 de mayo de 2025), el Ministerio, en colaboración con el Ministerio de Obras Públicas y la Dirección General de Aguas, realizó durante el año 2025 un trabajo técnico que tuvo como resultado la elaboración de una propuesta de protocolo de apertura de la barra terminal del Estero Llico, desembocadura del sistema lacustre Lago Vichuquén. Esta propuesta fue diseñada como una referencia operativa intermedia mientras se tramiten los permisos requeridos para el protocolo oficial de la

barra; sin embargo, la I. Municipalidad de Vichuquén informó, mediante Of. ORD N°113/2026, que en enero de este año ingresó ante la Dirección General de Aguas el proyecto de modificación de cauce natural requerido para dar cumplimiento a lo resuelto por la Corte Suprema en la causa Rol N° 16858-2024, el cual fue elaborado por una consultora especializada, contratada con recursos municipales, y que éste se encontraría ya en tramitación.

5.1.3 Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA)

Como parte de la respuesta institucional frente al deterioro ambiental del lago Vichuquén, el MMA ha priorizado el inicio formal del proceso de dictación de normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) para el sistema lacustre de este lago⁷.

Consecuentemente, las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas del Sistema Lacustre del Lago Vichuquén (NSCA Lago Vichuquén) fueron iniciadas mediante Resolución Exenta N°1535, del Ministerio del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial el día 27 de marzo de 2026⁸, por medio de la cual se ordenó el inicio de la etapa de elaboración del Anteproyecto y la formación de un expediente electrónico para la tramitación de este proceso⁹, así como también se dio inicio a la etapa de recepción de antecedentes por un periodo de 45 días hábiles, recibándose antecedentes técnicos, científicos y sociales sobre la materia hasta el 03 de junio de 2026¹⁰.

Este instrumento permitirá establecer un estándar de calidad ambiental objetivo para las aguas del sistema lacustre del lago Vichuquén y orientar futuras medidas de recuperación para este ecosistema.

⁷ Norma Secundaria de Calidad Ambiental: aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza (Art. 2 letra ñ Ley 19.300).

⁸ R.E. N° 1535/2026 disponible en https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2026/proyectos/5-8_RE1535_2026_DO.pdf

⁹ Disponible en https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=948102

¹⁰ Los antecedentes se encuentran siendo sistematizados para posteriormente ser incorporados en el expediente público de estas NSCA.

5.1.3.1 Procedimiento

El procedimiento para la dictación de NSCA se encuentra establecido en el Decreto Supremo N°6, del 26 de junio de 2025, del Ministerio del Medio Ambiente, que Establece Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión¹¹. En dicho reglamento se encuentran detalladas las 3 etapas del procedimiento y sus plazos reglamentarios: 1) Elaboración de Anteproyecto (12 meses); 2) Consulta Ciudadana (60 días); 3) Elaboración de Proyecto Definitivo (120 días) (Figura 8). En este marco, en el enlace [Gantt NSCA Lago Vichuquen 08062026.xlsx](#) encontrará un cronograma que considera la planificación, de acuerdo con los plazos reglamentarios, para este proceso.

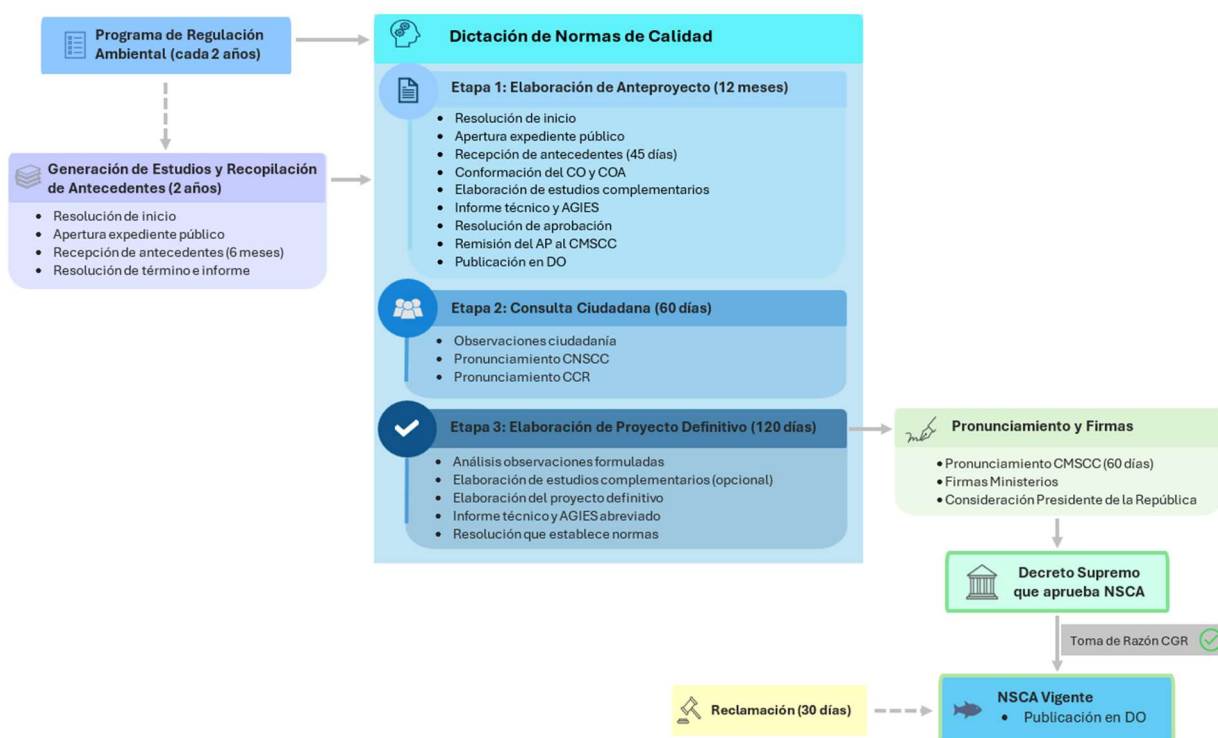


Figura 8. Etapas y plazos del proceso de dictación de Normas de Calidad Ambiental, según D.S. N° 6/2025.

5.1.3.2 Implementación y evaluación de cumplimiento NSCA

Una vez establecidas las NSCA Lago Vichuquén, corresponderá evaluar el comportamiento del sistema respecto de los parámetros y objetivos de calidad fijados en dicho instrumento.

¹¹ Disponible en <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1214493&idVersion=2025-09-26>

Para ello, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) deberá elaborar un Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA), documento que se aprobará por resolución exenta y que establecerá las estaciones, parámetros, frecuencias y responsables de los monitoreos (plazo de elaboración definido en el Decreto Supremo de cada NSCA, generalmente, 6-12 meses).

Luego, los monitoreos de las NSCA se deben realizar dando cumplimiento al Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA) para que los resultados sean validados por la SMA y se pueda evaluar el cumplimiento de este instrumento. La evaluación de cumplimiento de las NSCA se realiza por cada combinación área de vigilancia-parámetro, correspondiendo la declaración de zona saturada cuando se sobrepasa el valor establecido para una o más combinaciones, y la declaración de zona latente cuando la evaluación de dicha combinatoria se encuentre entre el 80-100% del valor normativo.

5.1.3.3 Declaración de zonas latentes y saturadas

La declaración de una zona como saturada o latente se realiza por decreto supremo, el cual debe ser firmado por el Ministro/a del Medio Ambiente y los ministros/as sectoriales competentes, según corresponda, y luego ser sometido a la consideración del Presidente de la República para su decisión. Subsecuentemente, el decreto debe pasar por la toma de razón de CGR para después ser publicado en el Diario Oficial.

5.1.3.4 Proceso de dictación de planes de prevención y/o descontaminación ambiental

Luego de la declaración de zona, debe iniciarse formalmente el proceso de elaboración de un plan de prevención y/o descontaminación ambiental mediante una resolución de inicio (plazo 90 días).

Estos planes son instrumentos de gestión ambiental que tienen por objeto la definición e implementación de medidas y acciones específicas para evitar la superación de una o más normas de calidad ambiental en una zona latente (planes de prevención, PPA) o recuperar los niveles señalados en las normas en una zona saturada (planes de descontaminación, PDA).

El procedimiento de dictación de planes se encuentra reglamentado por lo establecido en el D.S. N°39/2013 (actualmente en revisión), cuyas etapas y plazos normados son prácticamente iguales al procedimiento de NSCA: i) Elaboración Anteproyecto (1 año); ii) Consulta Ciudadana (60 días) y; iii) Elaboración Proyecto Definitivo (60 días). Adicionalmente, la Ley Marco de Cambio Climático establece un plazo máximo para la elaboración de estos planes de 4 años, contados desde la publicación del D.S. que declare la respectiva zona.

Dentro de la etapa de elaboración del anteproyecto, el MMA deberá determinar los antecedentes técnicos, científicos, económicos y/o sociales que se requieran para la elaboración del anteproyecto del plan y ejecutará, si corresponde, los estudios que se hagan cargo de la generación de estos antecedentes. Estos estudios normalmente consideran: modelos hidrodinámicos, modelo de calidad de aguas, determinación de coeficientes de exportación locales, determinación de carga crítica, inventario de emisiones puntuales y difusas y estudio de propuestas de abatimiento y reducción de emisiones.

En relación a los contenidos de los planes, el reglamento del proceso establece que como mínimo deberán contener: i) relación emisión-concentración; ii) plazos para alcanzar reducción; iii) responsables del cumplimiento; iv) instrumentos de gestión ambiental a utilizar para cumplir objetivos; v) proporción de emisiones a reducir por fuentes emisoras, pudiendo establecer un límite de emisión por carga y/o concentración; vi) estimación de costos y beneficios económicos y sociales; vii) proposición, cuando sea posible, de mecanismos de compensación de emisiones; viii) aporte de las distintas fuentes a la emisión total; ix) opcionalmente un Plan operacional para enfrentar los episodios críticos de contaminación; la ejecución de acciones de cooperación pública; de programas de educación y difusión ambiental; x) un cronograma de reducción de emisiones y de entrada en vigencia de los instrumentos definidos; xi) condiciones a exigir para el desarrollo de nuevas actividades en el área de aplicación; xii) un programa de verificación del cumplimiento de las condiciones y requisitos establecidos y; xiii) mención a la SMA como la autoridad a cargo de la fiscalización del Plan.

5.1.4 Normas Primarias de Calidad Ambiental (NPCA)

Adicionalmente, actualmente se encuentra en revisión el D.S. N°143, de 2008, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece Normas de Calidad Primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo, las que también tienen relación con los usos turísticos y recreacionales, con resguardo a la salud de las personas que hagan uso y goce del mencionado cuerpo lacustre.

5.1.5 Consulta al Mercado (Mercado Público)

La SEREMI del Medio Ambiente de la Región del Maule realizó una Consulta Pública al Mercado (ID 608897-2-RF126) a través de la plataforma Mercado Público. El sondeo tuvo por objeto dimensionar costos referenciales, plazos de ejecución y enfoques metodológicos para el levantamiento de información necesaria para la elaboración del Plan de Descontaminación Ambiental del sistema lacustre Vichuquén-Llico. La consulta contempló 12 componentes independientes enmarcados en el proceso de elaboración de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental del lago Vichuquén, conforme a la Ley N° 19.300 y su normativa complementaria. La consulta no constituyó un llamado a licitación ni generó obligación de contratación.

Los 12 componentes consultados abarcaron: monitoreo fisicoquímico, biológico e hidrológico del sistema lacustre (C-01); modelación hidrodinámica y de calidad de agua (C-02); diagnóstico de fuentes de contaminación puntuales y difusas (C-03); modelación de cargas de nutrientes y escenarios de gestión (C-04); caracterización de sedimentos y evaluación de la liberación interna de nutrientes (C-05); levantamiento batimétrico y caracterización morfológica del sistema (C-06); diagnóstico socioambiental y participación ciudadana (C-07); análisis jurídico-institucional de los instrumentos de gestión aplicables (C-08); evaluación de medidas de recuperación y propuesta de Plan de Descontaminación (C-09); diseño del sistema de seguimiento y control de la NSCA (C-10); elaboración del informe técnico consolidado para la declaración de zona saturada (C-11); y coordinación técnica y gestión del estudio (C-12).

La consulta recibió respuesta de tres entidades. Las propuestas abarcaron remediación biotecnológica mediante tratamiento de lodos anóxicos, monitoreo estacional de calidad fisicoquímica, comunidades biológicas y cargas de nutrientes, y modelación hidrodinámica tridimensional mediante modelos acoplados cuenca-lago. Estos antecedentes proveyeron al Ministerio del Medio Ambiente de algunas referencias metodológicas y presupuestarias para el diseño de la futura licitación.

5.1.6 Postulación a Fondos Nacionales de Desarrollo Regional (FNDR)

La SEREMI del Medio Ambiente del Maule se encuentra formulando un Estudio Básico para postulación al Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) durante el año 2026, en el marco del Sistema Nacional de Inversiones (SNI). El estudio tiene por objeto levantar parte de los antecedentes técnicos necesarios para el proceso de elaboración de un futuro Plan de Descontaminación Ambiental para este sistema lacustre. Entre los productos mínimos esperados se contempla la elaboración de un balance de masa de nutrientes —nitrógeno y fósforo—, que integre tanto las fuentes como los sumideros, y la evaluación de escenarios de medidas de gestión aplicables en el marco de dicho plan.

5.1.7 Revisión de Propuestas para Remediación

Con el objeto de recabar antecedentes técnicos que permitieran dimensionar el problema de recuperación del sistema lacustre del lago Vichuquén desde una perspectiva de mercado, la SEREMI del Medio Ambiente del Maule procedió a evaluar siete propuestas de biorremediación y recuperación lacustre presentadas ante el Comité Operativo del Gobierno Regional del Maule durante el período 2024-2025 (ver sección 5.1.1). Estas propuestas corresponden a las empresas y consultores OIKOS Versal, Lecaros/TIBEAN, DVS Tecnología Natural, BUBBLYX, BIOCAMBIO SpA, AWUA y EM Fluids Inc. Cada propuesta fue analizada conforme a nueve criterios técnicos obligatorios: diagnóstico y supuestos de base, diseño conceptual y dimensionamiento, requerimientos de operación, identificación de riesgos y mitigaciones, ruta de permisos y gestión regulatoria, plan de implementación, costos desglosados, programa de monitoreo y reporte, y experiencia comprobable en casos análogos. Para cada criterio se determinó si la información presentada era cuantitativa o

cualitativa, verificable o declarativa, y se asignó una calificación conforme a una escala de suficiencia que distingue entre información completa, parcial, insuficiente o ausente.

El análisis permitió constatar que la totalidad de las propuestas evaluadas presenta deficiencias estructurales de carácter crítico, en particular la ausencia de línea base cuantificada de calidad del agua, la falta de dimensionamiento de las intervenciones propuestas en función del volumen y la hidrodinámica del sistema lacustre, y la carencia de programas de monitoreo que permitieran verificar la eficacia de las medidas. Asimismo, la mayoría de las propuestas aborda exclusivamente los síntomas del proceso de eutrofización —floraciones de cianobacterias, acumulación de lodos, deterioro organoléptico— sin intervenir las fuentes de nutrientes, lo que genera una dependencia operacional indefinida del servicio sin garantías de recuperación sostenible. En consecuencia, ninguna de las siete propuestas alcanzó los estándares mínimos exigibles para ser recomendada como inversión elegible ante el Gobierno Regional, confirmando la necesidad de desarrollar un diagnóstico integral previo como condición habilitante de cualquier intervención de remediación.

5.1.8 Medidas asociadas a otros cuerpos de agua

En relación a otros cuerpos de agua en condiciones similares de contaminación ambiental, el Plan de Descontaminación Ambiental para la cuenca del lago Villarrica se encuentra próximo a iniciar su vigencia y comenzar su implementación.

Por otro lado, se está avanzando en la dictación de 9 NSCA, de las cuales 3 consideran ecosistemas lacustres: i) sistema lacustre lago Vichuquén; ii) lago Lanalhue; iii) lagos Norpatagónicos. Con estas normas se establecerá un estándar de calidad objetivo que permita mantener un estado trófico adecuado para cada ecosistema en particular, con el cual se contribuya a conservar el hábitat disponible para las especies y los servicios ecosistémicos que estos ecosistemas proveen.

Adicionalmente, como se señaló en la sección 5.1.4, se está avanzando en el proceso de revisión de las NPCA, las cuales tienen un ámbito de aplicación nacional, así como en la revisión de la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, norma que

dentro de los contaminantes regulados para descargas a cuerpos de agua lacustres incorpora coliformes fecales, demanda biológica de oxígeno, fósforo total y nitrógeno total.

5.2 Dirección General de Aguas

5.2.1. Levantamiento de la situación ambiental del lago Vichuquén

Gracias al monitoreo sistemático de este lago la DGA tiene un panorama directo y preciso sobre los cambios que presenta la calidad del agua y su visible efecto sobre los ecosistemas. Es así como el ORD DGA N°116 de 1 de marzo de 2019 solicita al MMA la priorización de este cuerpo de agua para una priorización de NSCA al evidenciar un progresivo deterioro reflejado por el aumento de las concentraciones de nutrientes como la predominancia de especies de cianobacterias.

5.2.2. Monitoreo clásico de calidad de aguas

En este aspecto la DGA ha intensificado el monitoreo del sistema del lago Vichuquén y Torca considerando 2 campañas al año en otoño y primavera. Además de aumentar la gama de parámetros en el lago Vichuquén considerados en el monitoreo clásico de lagos, incorporando metales totales y coliformes fecales. El detalle de los parámetros actualmente analizados se muestra a continuación:

Tabla 6. Parámetros realizados en el sistema del lago Vichuquén y laguna Torca desde enero 2026.

Parámetro	Verano		Primavera	
	Vichuquén	Torca	Vichuquén	Torca
Cl	X		X	
SO4	X		X	
N-NO2	X	X	X	X
N-NO3	X	X	X	X
P-PO4	X	X	X	X
PT	X	X	X	X
SiO2	X	X	X	X

AgT	X		X	
AlT	X		X	
AsT	X		X	
BT	X		X	
CdT	X		X	
CoT	X		X	
CrT	X		X	
CuT	X		X	
FeT	X		X	
HgT	X		X	
MnT	X		X	
MoT	X		X	
NiT	X		X	
PbT	X		X	
pH	X		X	
SeT	X		X	
ZnT	X		X	
COLF	X		X	
Cl a	X	X	X	X

5.2.3. Monitoreo continuo de variables fisicoquímicas y biológicas

El objetivo es la necesidad de implementar un sistema de monitoreo continuo para la generación de alertas tempranas, mediante la instalación de una sonda multiparamétrica que permita la medición en tiempo real de parámetros de calidad de agua. Dicho instrumento debe ser operado sobre una boya telemétrica, equipada para la transmisión remota y en línea de los datos obtenidos, asegurando así una vigilancia permanente del estado del cuerpo de agua.

El estado de la compra al día 10/06/2026, corresponde a que se adjudicó la adquisición e instalación de la boya ID 1019-28-B226 y su orden de compra ya está aprobada. Luego, el proveedor tendrá un tiempo de entrega e instalación de 40 días. Se espera que la instalación y transmisión de los datos ocurra a principios de agosto del presente año.

Las especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo 9.2.

6. Recomendaciones

6.1 Recomendaciones de corto plazo (1-5 años)

6.1.1 Realizar monitoreo fisicoquímico y biológico del sistema lacustre del lago Vichuquén —que comprenda al menos al lago Vichuquén, la laguna Torca y el estero Llico— con una frecuencia mínima estacional durante un periodo que permita caracterizar el comportamiento intra e interanual del sistema en sus distintas condiciones hidrológicas y climáticas, así como también, generar un índice de estado trófico ajustado para este sistema lacustre. Se recomienda que este monitoreo contemple en el lago Vichuquén y estero Llico al menos las estaciones de muestreo históricas en el cuerpo de agua (sin perjuicio de que se identifique la necesidad de otras), así como también nuevas estaciones en la laguna Torca, laguna Tilicura y estero Vichuquén. En el caso de monitoreos en el lago y lagunas, se deben considerar tanto mediciones en superficie como perfiles verticales de la columna de agua, a fin de capturar los gradientes fisicoquímicos asociados a la estratificación térmica y salina del sistema. Se sugiere realizar el levantamiento fisicoquímico clásico, además del análisis de nitrógeno total (y de sus fracciones) y clorofila “a” en todos los puntos de monitoreo, de parámetros microbiológicos (coliformes fecales, e. coli y enterococos) y cianotoxinas (microcistina y nodularina) en los puntos donde se realicen actividades de contacto directo, como el baño en Playa Paula.

6.1.2 Evaluar la disponibilidad y representatividad espacial de la información meteorológica existente en el área de influencia del sistema lacustre, considerando las variables de viento (velocidad y dirección), temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa y precipitación. En caso de detectarse vacíos o deficiencias en la cobertura espacial o temporal de dicha información —particularmente en lo que respecta a la dinámica del viento y al régimen pluviométrico local—, se deberá proponer e implementar las medidas de mejoramiento que correspondan, las que podrán incluir la instalación de instrumentación meteorológica complementaria. Lo anterior resulta fundamental para garantizar la calidad

de los datos de forzamiento requeridos por los modelos hidrológicos e hidrodinámicos contemplados.

6.1.3 Mantener y operar un monitoreo continuo del sistema lacustre mediante boyas instrumentales de calidad de agua, con el objeto de registrar la variabilidad temporal de alta resolución de las principales variables físicas, químicas y biológicas de la columna de agua del sistema lacustre.

Las variables mínimas a monitorear deberían incluir temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, salinidad, turbidez y concentración de clorofila *a*, sin perjuicio de incorporar variables adicionales según la disponibilidad instrumental y los requerimientos específicos de los modelos contemplados.

Los datos generados por este sistema deberán ser transmitidos, almacenados y sometidos a protocolos de validación y control de calidad, y estar disponibles para su integración como series temporales de calibración y validación.

6.1.4 Incorporar estaciones de monitoreo fluviométrico y de calidad de aguas en las principales entradas y salidas hídricas del sistema lacustre, incluyendo cauces tributarios y la desembocadura al mar en el Estero Llico, mediante la medición simultánea de caudal y concentración de variables fisicoquímicas esenciales para la caracterización del balance de masa de nutrientes del sistema, considerando la estacionalidad e intermitencia de estos cuerpos de agua.

Las variables mínimas a monitorear deberán incluir nitrógeno y fósforo, demanda bioquímica de oxígeno, turbiedad, conductividad eléctrica, pH y salinidad. La frecuencia de muestreo deberá ser suficiente para capturar la variabilidad de las cargas de entrada y salida, con énfasis en los períodos de mayor escorrentía superficial y en los eventos de apertura y cierre de la barra del Estero Llico, dado el efecto determinante de estos últimos sobre el balance hídrico y salino del sistema.

6.1.5 Incorporar el monitoreo de aportes difusos al sistema lacustre mediante la medición de niveles y calidad de agua subterránea en pozos y puntos de observación representativos

del área de influencia, con el objeto de caracterizar conceptualmente la conexión hidráulica entre el acuífero subyacente y el lago. El monitoreo deberá permitir identificar la dirección y magnitud del flujo subterráneo hacia el sistema lacustre, así como estimar la carga de nutrientes asociada a dicho aporte.

Las variables mínimas a determinar deberían incluir nivel freático, conductividad eléctrica, salinidad, fósforo y las fracciones solubles del nitrógeno. La selección de los pozos de monitoreo deberá fundamentarse en un análisis previo de la hidrogeología del área, considerando la distribución espacial de las actividades potencialmente generadoras de carga difusa —uso agrícola, sistemas de saneamiento no conectados a la red pública y áreas de urbanización dispersa—.

6.1.6 Ejecutar un nuevo levantamiento topobatimétrico con resolución de barridas no superior a 100 m en el lago Vichuquén y 50 m en la Laguna Torca, que incluya la determinación de los parámetros morfométricos: volumen (V), profundidad máxima (Z_{max}), profundidad media (Z_m) y la relación Z_m/Z_{max} .

Este levantamiento permitiría determinar el volumen de agua y carga actual de nutrientes del sistema lacustre, insumos básicos para la construcción del balance de masas de nutrientes y, consecuentemente, para el diseño y evaluación de medidas de recuperación para este ecosistema, adicionalmente, permitiría estimar la sedimentación neta de los cuerpos de agua en estudio.

Por otro lado, se debe estudiar el proceso de colmatación que está experimentando este sistema, y las subcuencas de drenaje que tienen mayor contribución a este proceso. Lo anterior resulta fundamental para la comprensión integral del estado del ecosistema y la proyección del comportamiento del sistema ante las distintas medidas de recuperación que sean diseñadas y evaluadas.

6.1.7 Construir, calibrar y validar un modelo hidrodinámico y un modelo de calidad de aguas del sistema lacustre del lago Vichuquén que permitan determinar cómo se distribuyen los flujos de agua y las variables ambientales bajo distintos escenarios de manejo —apertura regulada de la barra terminal del estero Llico, modificación del régimen de descargas,

ejecución de obras de infraestructura hidráulica, reducción de fuentes internas o externas de nutrientes— y anticipar los efectos de cada uno de estos escenarios sobre la estabilidad de la estratificación salina, las concentraciones de oxígeno disuelto, nutrientes y otras variables ambientales, y la productividad primaria, considerando las interacciones entre variables físicas —temperatura, oxígeno disuelto, luz y salinidad— y reacciones geoquímicas que operan en la interfaz agua-sedimento.

En consecuencia, estos modelos proveerán a la autoridad sanitaria y ambiental de herramientas de anticipación para actuar antes del inicio de una floración tóxica.

6.1.8 Dictar e implementar las NSCA Lago Vichuquén, es decir, publicar el decreto supremo que apruebe las NSCA Lago Vichuquén en el Diario Oficial y dictar e implementar su respectivo PMCCA.

6.1.9 Generar los antecedentes técnicos, científicos y socioambientales necesarios para sustentar la elaboración del Plan de Descontaminación Ambiental del sistema lacustre Vichuquén, conforme a los requisitos establecidos en la Ley N° 19.300 y el D.S. N° 39/2013, incluyendo el diagnóstico del estado ambiental del sistema, la identificación y cuantificación de fuentes de contaminación, la evaluación de medidas de recuperación y el diseño del sistema de seguimiento y control asociado al instrumento de gestión.

6.1.10 Generar los antecedentes técnicos, científicos y socioambientales que permitan diseñar y evaluar propuestas de remediación levantadas por distintos actores.

6.2 Recomendaciones de mediano plazo (5-10 años)

6.2.1 Contar con una red de estaciones de medición autónomas y continuas de variables fisicoquímicas y biológicas en distintos puntos de muestreo dentro del sistema.

6.2.2 Validar e implementar modelos hidrodinámico y de calidad de aguas del sistema que permitan conocer los cambios en la distribución y magnitud de la cuña salina en diferentes escenarios relacionados con la barra de arena y en la distribución, magnitud y efecto de distintos escenarios de cargas de nutrientes en la productividad primaria.

6.2.3 Elaborar, dictar y comenzar la implementación de un plan de descontaminación ambiental para este sistema lacustre con el objeto de implementar medidas y acciones específicas tendientes a la recuperación de este ecosistema.

6.2.4 Construir, calibrar y validar un modelo de predicción de floraciones de algas y cianobacterias que integre variables tales como concentraciones de fósforo y nitrógeno en la zona fótica, estabilidad de la columna de agua, temperatura y competencia entre grupos fitoplanctónicos. Lo anterior, con la finalidad de estimar umbrales de concentraciones ambientales y de condiciones físicas que preceden el inicio de una floración tóxica. En consecuencia, la autoridad sanitaria y ambiental contarán con herramientas para anticipar episodios de riesgo y activar medidas de protección de la salud pública y la biodiversidad antes de que la floración alcance los niveles peligrosos para la salud de las personas y el ecosistema.

6.3 Recomendaciones de largo plazo (10-20 años)

6.3.1 Contar con el plan de descontaminación ambiental plenamente implementado y evaluar la efectividad de sus medidas.

6.3.2 Contar con un sistema de alerta temprana que detecte condiciones favorables para florecimientos de algas y cianobacterias, permitiendo la anticipación de medidas sanitarias y ambientales ante episodios críticos de contaminación.

7. Referencias

- Carlson, R.E. (1977) A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography*, 22, 361-369. <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Dirección General de Aguas (DGA), 2025. *Monitoreo y evaluación limnológica como insumo para el estudio del estado trófico y análisis histórico de la comunidad fitoplanctónica de lagos y lagunas* (ID 1019-102-LP24) Centro EULA. Visitado en < <https://snia.mop.gob.cl/PIA/handle/20.500.13000/126913> > el 19/06/26
- EULA-Chile. (2016). Informe Final: Diagnóstico y Caracterización Del Estado Trófico Del Lago Vichuquén. Frugone-Álvarez, M., et al. (2017). A 7000-year high-resolution lake sediment record... *Journal of Quaternary Science*, 32(6), 830–844.
- Fuentealba, M., et al. (2021). Crossing a critical threshold... *Science of the Total Environment*, 791, 148209. Hounslow A. (1995). *Water quality data: analysis and interpretation*.
- Matthias Kopf, Fred Möke, Hermann Bauwe, Wolfgang R Hess, Martin Hagemann, Expression profiling of the bloom-forming cyanobacterium *Nodularia* CCY9414 under light and oxidative stress conditions, *The ISME Journal*, Volume 9, Issue 10, October 2015, Pages 2139–2152, <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.16>
- OCDE (1982). *Eutrophication of Water: Methods for Monitoring, Assessment and Control*.

- Pedrerros, Pablo et al. (2016). Diagnóstico ambiental y evaluación del estado trófico actual del Lago Vichuquén.
- Pedrerros Troncoso, P. C., et al. (2019). Reconstruyendo la degradación ambiental del Lago Vichuquén.
- Ramirez G, C. et al. (2002). Una propuesta de clasificación de los humedales chilenos.
- Rojas, J.L. y Rocha, Y. (2011). Implementación de Prácticas Públicas y Privadas.
- Rojas Vuscovich, J. L. (1998). Diagnostico Ambiental de la cuenca del Lago Vichuquén.
- Van Daele, M., et al. (2015). A comparison of the sedimentary records... *Sedimentology*, 62(5), 1466–1496.
- Voß B, Bolhuis H, Fewer DP, Kopf M, Moke F, et al. (2013) Insights into the Physiology and Ecology of the Brackish-Water-Adapted Cyanobacterium *Nodularia spumigena* CCY9414 Based on a Genome-Transcriptome Analysis. *PLoS ONE* 8(3): e60224. doi:10.1371/journal.pone.0060224
- Wetzel, R. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*.
- World Health Organization (WHO) (2021). Guidelines on recreational water quality.
- World Health Organization (WHO) (2026). Guideline Values for Cyanobacteria in Freshwater. Acceso en: <https://www.epa.gov/habs/world-health-organization-who-1999-guideline-values-cyanobacteria-freshwater>. Visitado el 19/06/26

8. Anexos

8.1. Acceso a ORD DGA N°109/26 que sistematiza la información solicitada por el MMA para elaboración de la NSCA del Lago Vichuquén.

[Glosa Vichuquen](#)

8.2. Anexo a información de boya de calidad de agua:

- Las especificaciones técnicas de la boya a instalar en el lago Vichuquén pueden ser consultadas en el siguiente link: [!\[\]\(e69eba4b1f086241d8d8d8a8e753759e_img.jpg\) especificaciones](#)

8.3. Acceso al listado completo de lagos monitoreados por la DGA entre 2009 y 2025.

[Glosa Vichuquen](#)