



Superintendencia del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

**INFORME TÉCNICO DE
CUMPLIMIENTO DE NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA**

**NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS
CONTINENTALES SUPERFICIALES DEL LAGO VILLARRICA**

**Sección de Recursos Hídricos
División de Fiscalización**

DFZ- 2024-2918-IX-NC

Diciembre 2024

	Nombre	Firma
Aprobado	Verónica González D.	
Elaborado	Elizabeth Sepúlveda E.	



CONTENIDO

1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	3
2.	INTRODUCCIÓN	5
3.	OBJETIVO.....	7
4.	ALCANCE.....	7
5.	VALIDEZ DE LOS DATOS RED DE CONTROL	7
5.1.	Criterios para la validación de los datos.....	7
5.2.	Estaciones de monitoreo Red de Control	8
5.3.	Ejecución de campañas de monitoreo Red de Control	10
5.4.	Frecuencia de monitoreo de parámetros Red de Control	11
5.5.	Metodologías de muestreo y análisis.....	15
6.	RESULTADOS RED DE CONTROL Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO	20
6.1.	Metodología para la evaluación del cumplimiento normativo	20
6.2.	Resultados de la evaluación del cumplimiento normativo	22
7.	VALIDEZ DE DATOS RED DE OBSERVACIÓN.....	29
7.1.	Estaciones de monitoreo Red de Observación	29
7.2.	Frecuencia de monitoreo Red de Observación	31
7.3.	Metodologías de muestreo y análisis.....	36
8.	RESULTADOS RED DE OBSERVACIÓN	38
9.	ANÁLISIS CONSOLIDADO DE DATOS HISTÓRICOS	38
10.	CONCLUSIONES	42
11.	ANEXOS	44



1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento da cuenta de la evaluación de cumplimiento de las normas secundarias de calidad del agua para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica, D.S. N°19/2013, del Ministerio del Medio Ambiente y del Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua para el Lago Villarrica, Resolución Exenta N° 671/2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente, de acuerdo a lo establecido en la letra e) del artículo 16 de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, el cual indica que corresponderá a la Superintendencia del Medio Ambiente, establecer los programas de fiscalización de las normas de calidad y normas de emisión para cada región, incluida la Metropolitana.

Se evaluó el cumplimiento de las normas de calidad para todas las áreas de vigilancia establecidas en las normas y para todas las estaciones incluidas en el programa de medición y control de calidad del lago actualmente vigente, durante el período enero de 2022 a diciembre de 2023, mediante la revisión de los datos proporcionados por la Dirección General de Aguas respecto de las campañas de medición realizadas para la Red de Control, y se verificó también los datos correspondientes a la Red de Observación levantados por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR) y por la Dirección General de Aguas (DGA).

Para la revisión de los datos se consideraron los criterios administrativos y metodológicos establecidos en las normas de calidad, en conjunto con los definidos en el PMCCA Lago Villarrica.

Red de Control

Se realizó el análisis de la validez de los datos obtenidos y la evaluación del cumplimiento normativo para todos los parámetros normados, es decir, para Transparencia, Saturación de Oxígeno, Clorofila “a”, Fósforo Disuelto, Fósforo Total, Nitrógeno Disuelto y Nitrógeno Total, esto con el fin de establecer si cumplen con los requerimientos definidos, tanto en el D.S. 19/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, como en el respectivo Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Lago Villarrica.

A partir de la evaluación realizada, fue posible **establecer el incumplimiento de las NSCA Lago Villarrica en el periodo bienal 2022-2023** por: Transparencia en las estaciones PEL-CE, LIT-Pucón y LIT-La Poza; y Nitrógeno Total en las estaciones PEL-CE, LIT-Pucón; LIT-Norte, LIT-Sur, LIT-Villarrica y LIT-La Poza.

Respecto de los parámetros y estaciones que presentan evaluación de tipo referencial⁽¹⁾, se observa evaluación referencial del parámetro Nitrógeno Disuelto en todas las estaciones de la Red de Control debido a la invalidación de datos causada por el uso metodologías cuyos límites de detección son incompatibles con las requeridas. Como resultado se obtuvo incumplimiento normativo referencial del parámetro en todas las estaciones de la Red de Control.

⁽¹⁾ La evaluación “referencial”, tiene un carácter informativo dado que no se cuenta con la cantidad mínima de datos para realizar la evaluación de cumplimiento normativo, ya sea por inexistencia del reporte o invalidación del mismo.



Red de Observación

Se constató la realización de monitoreos de todos los parámetros considerados en el respectivo Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Lago Villarrica en más de una oportunidad durante el periodo bienal 2022-2023, en las nueve estaciones definidas dentro de la Red de Observación. Los parámetros medidos son: Hidrocarburos Fijos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH, Conductividad Eléctrica, Temperatura y Oxígeno Disuelto, en la columna de agua.

En la componente sedimentos se constató reporte en al menos una oportunidad durante el periodo bienal 2022-2023, en cinco estaciones litorales de la Red de Control (LIT-Norte, LIT-Sur, LIT-Pucón, LIT-La Poza y LIT-Villarrica), respecto de los parámetros Granulometría, Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo, Hidrocarburos Fijos, Materia Orgánica Total, Carbono Orgánico Total, Nitrógeno Total Kjeldahl, Fósforo Total, pH, Potencial Redox y Temperatura.



2. INTRODUCCIÓN

Las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del Lago Villarrica (en adelante, NSCA Lago Villarrica), formalizada mediante el D.S. N° 19/2013, del Ministerio del Medio Ambiente, consiste en un instrumento de gestión ambiental para diagnosticar la calidad de los cuerpos de agua superficial que componen la cuenca del lago Villarrica en forma sistemática y permanente. Su objetivo es mantener la calidad de las aguas del lago Villarrica y prevenir la eutrofización antrópica, proporcionando instrumentos de gestión para aportar a la mantención de su actual condición trófica.

La NSCA Lago Villarrica estableció un total de seis áreas de vigilancia, definiendo niveles de calidad específicos para cada una de ellas respecto a los parámetros Transparencia, Saturación de Oxígeno, Clorofila “a”, Fósforo Disuelto, Fósforo Total, Nitrógeno Disuelto, Nitrógeno Total, y el indicador de “Trostía deseada”, el que se obtiene a partir de algunos de los parámetros antes mencionados.

Por su parte, la Superintendencia del Medio Ambiente, mediante Resolución Exenta N° 671, de 21 de julio de 2016, estableció el Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del agua para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica (en adelante, PMCCA Lago Villarrica), elaborado de acuerdo a lo establecido en el artículo 12° de la NSCA Lago Villarrica, del Ministerio del Medio Ambiente. En este documento se definen las estaciones de monitoreo que conforman la Red de Control que son utilizadas para verificar la calidad de las aguas en cada una de las áreas de vigilancia establecidas en las normas, además de incorporar áreas, estaciones y parámetros adicionales como parte de una Red de Observación que permita recabar información integral relativa a la situación ambiental de los cursos de agua normados, y generar información para las revisiones futuras de las normas para su perfeccionamiento.

De acuerdo al artículo 7° de la NSCA Lago Villarrica, la evaluación de los niveles de calidad requiere la verificación conjunta de toda la información levantada en cada estación de monitoreo, por un período de dos años consecutivos.

Cabe mencionar que el análisis de los datos 2022 ha sido adoptado desde el Informe Técnico de Cumplimiento asociado al expediente **DFZ-2023-3054-IX-NC**, por tanto, el presente informe complementa dicha información con el análisis de los datos del 2023, conformando así un período de evaluación de la norma de dos años consecutivos, comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 diciembre de 2023. De esta forma, el presente informe da cuenta de seis (6) actividades de fiscalización⁽²⁾.

Se debe señalar que los datos fueron proporcionados por la Dirección General de Aguas (en adelante DGA) y por parte de la Dirección General de Territorio Marítimo y de Marina Mercante (en adelante DIRECTEMAR), a través de los oficios expuestos a continuación en **Tabla 1**:

⁽²⁾ Se considera como Actividad de Fiscalización a la evaluación del cumplimiento normativo de cada una de las estaciones de la Red de Control (6 en total), en el período bienal correspondiente al presente expediente.



Tabla 1. Antecedentes remitidos por DGA y DIRECTEMAR.

Nº Anexo	Documentos	Fecha entrega	Período que reporta
1	Oficio Ord. DGA N° 14, del 31 de marzo de 2023. Envía antecedentes para la evaluación de cumplimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del lago Villarrica. Se adjunta minuta técnica DCPRH N° 14/2023 (Anexo 1).	31 de marzo de 2023	enero a diciembre de 2022
2	Oficio Ord. DGA N° 16, del 28 de marzo de 2023. Envía antecedentes para la evaluación de cumplimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del lago Villarrica. Se adjunta minuta técnica DCPRH N° 9/2024 (Anexo 2).	28 de marzo de 2023	enero a diciembre de 2023
3	D.G.T.M. Y M.M. ORD. N° 12.600/05/695/S.M.A. del 23 de mayo de 2023. Remite de resultados de mediciones de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental del Lago Villarrica (Anexo 3).	23 de mayo 2023	enero a diciembre de 2022
4	D.G.T.M. Y M.M. ORD. N° 12.600/05/487/S.M.A. del 10 de abril de 2024. Remite de resultados de mediciones de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental del Lago Villarrica (Anexo 4).	10 de abril de 2024	enero a diciembre de 2023
5	Oficio ORD. SMA N° 2.941, de 19 de diciembre de 2024 y copia de correos electrónicos DGA en respuesta (Anexo 5).	19 de diciembre de 2024	enero de 2022 a diciembre de 2023

La verificación del cumplimiento normativo realizado en el presente informe permite al Ministerio del Medio Ambiente activar los instrumentos de política pública que correspondan, de acuerdo a lo establecido en la Resolución Exenta N° 302, de 2011, del Subsecretario del Medio Ambiente, que instruye sobre modificaciones al procedimiento de declaración de zona saturada y latente, anexos partir de la entrada en vigencia de la nueva Institucionalidad Ambiental, modificada por la Resolución Exenta N° 422, de 2012. Lo antes mencionado, según lo establece la Resolución Exenta N° 503, de 2021 del MMA, que complementa la Circular N° 0001, de 2005, de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, la cual Instruye sobre procedimiento para la declaración, modificación y derogación de las zonas saturadas o latentes de carácter atmosférico³.

Adicionalmente, se informa que el Ministerio del Medio Ambiente, a través del Decreto N° 43, promulgado con fecha 19 de octubre de 2017, declaró zona saturada por Clorofila “a”, Transparencia y Fósforo Disuelto a la cuenca del Lago Villarrica.

³ Aplicable a medio hídrico



3. OBJETIVO

Se establece como objetivo general el evaluar el cumplimiento de la NSCA Lago Villarrica y del PMCCA Lago Villarrica, para el período bienal calendario 2022-2023, para todas las estaciones de la Red de Control definidas en dichos instrumentos, además de mostrar un análisis histórico con respecto a la evolución de la calidad de las aguas durante el periodo controlado en que se cuenta con información (2014-2023).

4. ALCANCE

Mediante el presente informe se realiza la verificación de la información recopilada a través de las seis estaciones de la Red de Control, del período bienal calendario 2022-2023, lo cual es realizado a partir de las condiciones establecidas en la NSCA Lago Villarrica, en el PMCCA Lago Villarrica, y en las demás referencias técnicas de la Superintendencia del Medio Ambiente aplicables al caso. En base a lo antes mencionado, se establecen dos etapas dentro de este proceso:

- Establecimiento del escenario bajo el cual corresponde realizar la evaluación del cumplimiento normativo para cada parámetro.
- Presentación del análisis de los datos, resultados y realización de la evaluación de cumplimiento normativo, de acuerdo a lo límites establecidos en la NSCA Lago Villarrica. Como resultado de esta evaluación se podrán definir casos de cumplimiento o incumplimiento normativo, o su símil referencial según corresponda, e identificar los casos en que no es posible realizar el análisis.

Finalmente, y junto a lo anterior, se realiza descripción de las condiciones de ejecución del monitoreo de la Red de Observación, en las nueve estaciones que conforman la red, y la validez de los datos entregados.

5. VALIDEZ DE LOS DATOS RED DE CONTROL

5.1. Criterios para la validación de los datos

De acuerdo a lo establecido en el PMCCA Lago Villarrica, los datos utilizados en el proceso de evaluación de cumplimiento normativo, deben ser previamente validados a través del cumplimiento de los criterios de validación definidos en el párrafo 4º del artículo decimonoveno, los cuales son:

- a) Validación de los datos obtenidos en campañas de monitoreo realizadas conforme a la frecuencia anual y a profundidades de medición establecidas en el PMCCA Lago Villarrica. Se exceptúa de lo anterior, aquellos casos donde las muestras o campañas han sido calificadas fundamentalmente como no representativas por la Dirección General de Aguas, en los términos establecidos en el artículo 8 de la NSCA Lago Villarrica.



Para validar la estacionalidad, se entenderá que las estaciones del año coinciden con el trimestre calendario, esto es: verano es el período comprendido por los meses de enero, febrero y marzo; otoño es el período comprendido por los meses de abril, mayo y junio; invierno es el período comprendido por los meses de julio, agosto y septiembre; y primavera es el período comprendido por los meses de octubre, noviembre y diciembre.

- b) Obtención de resultados de los parámetros normados utilizando las metodologías de medición, muestreo y ensayo correspondientes.
- c) Un resultado se considerará válido si los tiempos de preservación de las muestras concuerdan con lo establecido en las referencias técnicas sobre la materia (NCh 411/3 Of.96 y/o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater).
- d) Validación de resultados de parámetros cuando su cuantificación es menor al límite de detección (LD), en base a lo siguiente:
 - i) Si el LD \geq al 80% del límite normativo, se considerará no válido.
 - ii) Si LD < al 80% del límite normativo, se considerará que el valor es válido y que el resultado a considerar es igual al LD.
- e) Para los parámetros que corresponden a la suma de sus fracciones orgánicas, inorgánicas o disueltas, tales como Nitrógeno disuelto y Nitrógeno Total, los datos serán validados en base a lo siguiente:
 - i) Los análisis del parámetro total y de todas las fracciones deben ser realizados por un mismo laboratorio de ensayo.
 - ii) La suma de las fracciones debe ser menor o igual al valor del resultado del parámetro total.
- f) Para el parámetro Saturación de Oxígeno del área pelágica en el fondo, solo serán válidos los datos que correspondan a mediciones puntuales realizadas en el fondo del lago, esto es, en el rango de profundidad superior a 85 metros.

En el **Anexo 6** se detalla la información recibida mediante los oficios expuestos en la **Tabla 1**, correspondiente a la información generada para dar cuenta del monitoreo de la Red de Control durante el período enero de 2022 a diciembre de 2023.

Los resultados obtenidos en el análisis por cada criterio de validación analizado, durante el período bienal 2022-2023, se expone a continuación.

5.2. Estaciones de monitoreo Red de Control

En la **Figura 1** se presentan todas las estaciones que componen la Red de Control, definidas en el PMCCA Lago Villarrica.



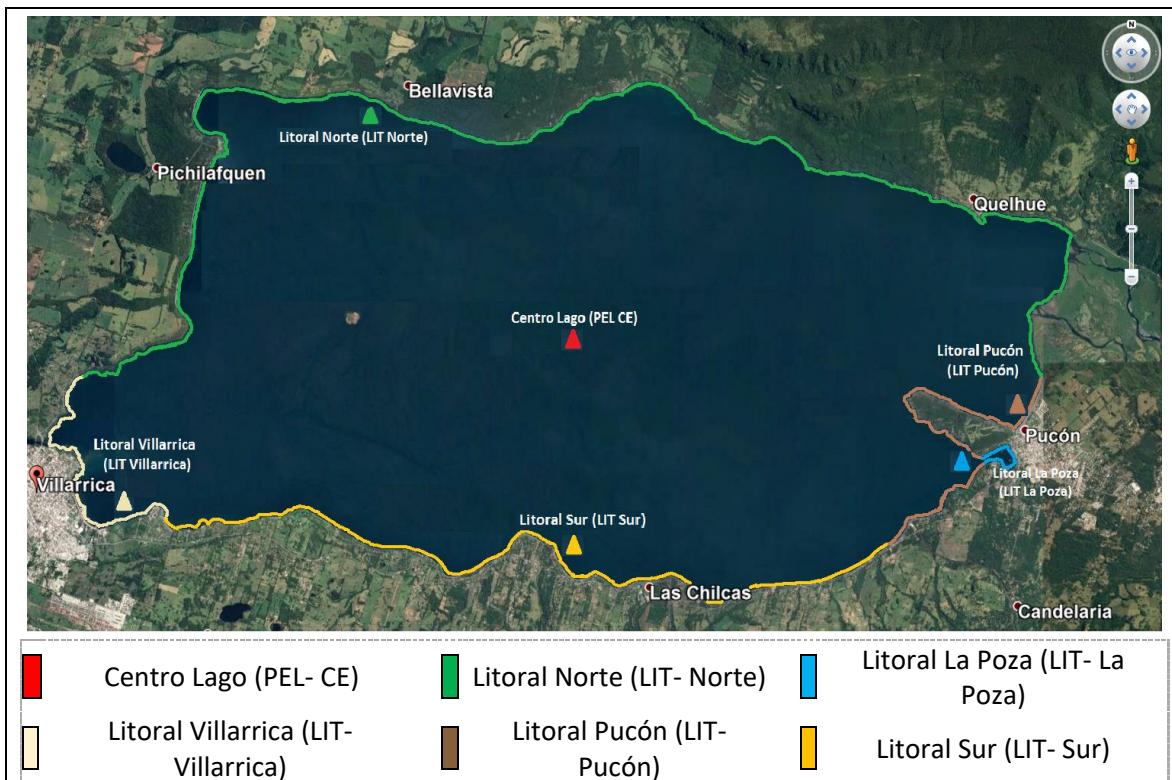


Figura 1. Representación de la Red de Control del Lago Villarrica (Fuente: elaboración propia SMA).

Así mismo, en la **Tabla 2**, se describen los límites geográficos de cada área de vigilancia y las coordenadas de las estaciones de monitoreo que componen la Red de Control.

Tabla 2. Áreas de vigilancia y estaciones de la red de control del lago Villarrica (Adaptado del D.S. N°19/2013 y PMCCA Lago Villarrica).

Área de vigilancia	Límite área de vigilancia	Descripción de la estación de monitoreo	Ubicación de la estación de monitoreo	
			E (m)	N (m)
PEL	Siguiendo el veril de 25 metros hacia el centro del lago. Corresponde a todo el cuerpo de agua pelágico cuyo límite horizontal está definido por la línea del veril 25 metros y cuyo límite vertical comprende desde la superficie hasta la profundidad máxima del lago.	PEL-CE. Sector Pelagial del lago	750.473	5.650.192
LIT-Pucón	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago en todo su entorno.	LIT-Pucón. Desde: Estero zanjón seco. Hasta: Término de la playa	760.636	5.648.855



Área de vigilancia	Límite área de vigilancia	Descripción de la estación de monitoreo	Ubicación de la estación de monitoreo Coordenadas UTM WGS 84	
			E (m)	N (m)
		grande de Pucón Litoral		
LIT-Norte	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago en todo su entorno.	LIT-Norte. Desde: Término de la playa grande de Pucón Hasta: Frente al km 1,6 de la ruta S-69	746.795	5.656.005
LIT-Villarrica	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago en todo su entorno.	LIT-Villarrica. Desde: Frente al km 1,6 de la ruta S-69 Hasta: Límite Este, sector Condominio la puntilla de Villarrica	740.885	5.647.562
LIT-Sur	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago en todo su entorno.	LIT-Sur. Desde: Límite Este, sector Condominio la puntilla de Villarrica. Hasta: Estero Zanjón seco	750.494	5.646.215
LIT-Poza	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago comprendiendo sólo el sector de la bahía La Poza.	LIT-Poza. Sector bahía La Poza	759.575	5.647.905

En cada una de las estaciones mencionadas, fueron desarrolladas actividades de muestreo ejecutadas durante el período bienal calendario 2022-2023, las cuales fueron reportadas a esta Superintendencia por parte de la Dirección General de Aguas (DGA), a través de los oficios indicados en la **Tabla 1**.

Por medio de los mismos, se logró obtener la identificación y verificación de las coordenadas de ubicación de los puntos de control utilizados para el monitoreo de parámetros de la Red de Control, de acuerdo con las áreas de vigilancia establecidas en la NSCA Lago Villarrica y en el PMCCA Lago Villarrica (**Tabla 2**).

5.3. Ejecución de campañas de monitoreo Red de Control

El artículo decimocuarto del PMCCA Lago Villarrica considera dos campañas de monitoreo al año, una en primavera y otra en verano para cada estación de monitoreo de la Red de Control. La



campaña de medición de primavera se ejecutará entre los meses de octubre a diciembre, mientras que la campaña de verano se ejecutará entre los meses de febrero a marzo.

En los oficios descritos en la **Tabla 1** se detallan las actividades de medición y muestreo efectuadas por la Dirección General de Aguas (DGA) durante el periodo bienal en evaluación. A través de estos antecedentes es posible establecer la cantidad de muestreos realizados en cada una de las estaciones de la Red de Control, lo cual es expuesto en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Fecha de realización de campañas de medición de la Red de Control de la NSCA lago Villarrica (Fuente elaboración propia).

Nombre área vigilancia	Nombre estación de monitoreo	Campañas 2022	Campañas 2023
PEL - CE	Centro lago	08-02-2022 02-03-2022 26-10-2022 15-11-2022	25-01-2023 01-03-2023 02-10-2023 24-10-2023
LIT - Pucón	Litoral Pucón	07-02-2022 02-03-2022 26-10-2022 14-11-2022	25-01-2023 01-03-2023 02-10-2023 25-10-2023
LIT - Norte	Litoral Norte	08-02-2022 01-03-2022 25-10-2022 15-11-2022	25-01-2023 28-02-2023 03-10-2023 24-10-2023
LIT - Villarrica	Litoral Villarrica	07-02-2022 01-03-2022 25-10-2022 15-11-2022	26-01-2023 28-02-2023 03-10-2023 24-10-2023
LIT - Sur	Litoral Sur	07-02-2022 01-03-2022 25-10-2022 15-11-2022	26-01-2023 28-02-2023 04-10-2023 24-10-2023
LIT - La Poza	Bahía La Poza	07-02-2022 02-03-2022 26-10-2022 14-11-2022	04-10-2023 25-10-2023 25-01-2023 01-03-2023

A través de la información expuesta, es posible identificar la realización de ocho (8) monitoreos durante el periodo bienal calendario 2022-2023 en cada una de las 6 estaciones de la Red de Control, distribuidos en 4 monitoreos durante el año 2022 y 4 monitoreos durante el año 2024. Junto a lo anterior, se valida que la ejecución de las campañas de monitoreo fue desarrollada de acuerdo a lo establecido en el artículo decimocuarto del PMCCA Lago Villarrica.

5.4. Frecuencia de monitoreo de parámetros Red de Control

Sumado a la estacionalidad, es preciso tener en vista que la NSCA Lago Villarrica establece la realización de, al menos, 1 monitoreo al año en cada estación de control, mientras que el PMCCA Lago Villarrica establece la realización de dos monitoreos al año, distribuidos estacionalmente en



verano y primavera. Esto último, se debe a que el lago presenta dificultades para su navegación durante el periodo estacional de invierno, sumado a la existencia de una mayor circulación de agua, con mínimas variaciones en la temperatura de la columna de agua entre la superficie y el fondo. En tanto, que durante los periodos de primavera y verano se desarrolla una estratificación térmica, sumada a la proliferación de algas importante de vigilar. En el mismo documento se establece, además, las diferentes profundidades para mediciones en la columna de agua, que corresponden a superficie, 10m y 20m en las estaciones litorales; y superficie, 10m, 30m, 70m y fondo en la estación pelagial.

Se expone a continuación en la **Tabla 4** el detalle de los resultados asociados a la frecuencia de monitoreo de cada uno de los parámetros en estudio, con sus respectivas profundidades (medidas en metros).

De la información expuesta, es posible establecer que los parámetros que cuentan con información en todas las estaciones de la Red de Control, en cada una de las profundidades consideradas, en al menos una de las ocho (8) campañas realizadas durante el periodo bienal calendario 2022-2023 son: Transparencia, Saturación de Oxígeno, Clorofila “a”, Fósforo Disuelto, Fósforo Total y Nitrógeno Total.

Respecto del parámetro Nitrógeno Disuelto, no es posible realizar el cálculo debido a la inexistencia de datos de una o más de las especies antes señaladas en todas las estaciones de la red de control, durante las campañas de 2022 y la invalidación de estos durante las campañas de 2023.



Tabla 4. Frecuencia y profundidad de medición por parámetro en el período evaluado. (Fuente elaboración propia)

Estación	Parámetro	Verano 1 (febrero) 2022	Verano 2 (marzo) 2022	Primavera 1 (octubre) 2022	Primavera 2 (noviembre) 2022	Verano 1 (ene/feb) 2023	Verano 2 (feb/mar) 2023	Primavera 1 (octubre) 2023	Primavera 2 (octubre) 2023
PEL - CE	Transparencia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saturación de Oxígeno	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100
	Clorofila "a"	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100
	Fósforo Disuelto	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100
	Fósforo Total	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100
	Nitrógeno Disuelto (*)	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)
LIT - Sur	Nitrógeno Total (**)	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100	0/10/30/70/100
	Transparencia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saturación de Oxígeno	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Clorofila "a"	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Fósforo Disuelto	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Fósforo Total	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
LIT - Norte	Nitrógeno Disuelto (*)	0/10/20	0/10/20	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)
	Nitrógeno Total (**)	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Transparencia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saturación de Oxígeno	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Clorofila "a"	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Fósforo Disuelto	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
LIT- Villarrica	Fósforo Total	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Nitrógeno Disuelto (*)	0/10/20	0/10/20	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)
	Nitrógeno Total (**)	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Transparencia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saturación de Oxígeno	0/10/20	0/10/20	0/10/20	(***)	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Clorofila "a"	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
LIT - La Poza	Fósforo Disuelto	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Fósforo Total	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Nitrógeno Disuelto (*)	0/10/20	0/10/20	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)
	Nitrógeno Total (**)	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Transparencia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saturación de Oxígeno	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Clorofila "a"	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Fósforo Disuelto	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Fósforo Total	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20



Estación	Parámetro	Verano 1 (febrero) 2022	Verano 2 (marzo) 2022	Primavera 1 (octubre) 2022	Primavera 2 (noviembre) 2022	Verano 1 (ene/feb) 2023	Verano 2 (feb/mar) 2023	Primavera 1 (octubre) 2023	Primavera 2 (octubre) 2023
	Nitrógeno Disuelto (*)	0/10/20	0/10/20	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)
	Nitrógeno Total (**)	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
LIT - Pucón	Transparencia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saturación de Oxígeno	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Clorofila "a"	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Fósforo Disuelto	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Fósforo Total	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20
	Nitrógeno Disuelto (*)	0/10/20	0/10/20	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)
	Nitrógeno Total (**)	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20	0/10/20

Destacado en celeste los parámetros no medidos o medidos con una frecuencia menor a la establecida en el PMCCA Lago Villarrica.

(*) El valor del parámetro **Nitrógeno Disuelto** se encuentra establecido de acuerdo a la siguiente ecuación: **N-nitrito + N-nitrato + N-amoniacial**.

(**) El valor del parámetro **Nitrógeno Total** se encuentra establecido de acuerdo a la siguiente ecuación: **N-nitrito + N-nitrato + NT-Kjeldahl**.

(***) Sin posibilidad de determinación por falta de resultados de una de las fracciones nitrogenadas componentes del parámetro.



5.5. Metodologías de muestreo y análisis

En el artículo 9° de la NSCA Lago Villarrica, así como también en el PMCCA Lago Villarrica, se indican los métodos de muestreo y condiciones de preservación y manejo de las muestras requeridas para la verificación del cumplimiento de las normas secundarias de calidad ambiental, lo cual se presenta a continuación, en la **Tabla 5**:

Tabla 5. Métodos de Muestreo (Adaptado de la NSCA Lago Villarrica y PMCCA Lago Villarrica)⁽⁴⁾

Identificación	Título de la norma
NCh. 411/1 Of.96. DS. N°501, de 1996, del Ministerio de Obras Públicas.	Calidad del agua - Muestreo - Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo.
NCh. 411/2 Of.96. DS. N°501, de 1996, del Ministerio de Obras Públicas.	Calidad del agua - Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo.
NCh. 411/3 Of.96. DS. N°501, de 1996, del Ministerio de Obras Públicas.	Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
NCh. 411/4 Of.98. DS. N°84, de 1998, del Ministerio de Obras Públicas.	Calidad del agua - Muestreo - Parte 4: Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.
Collection and Preservation of Samples.	Describas en el número 1060 del "Standard Methods" for Examination of Water and Wastewater. 21th edition 2005. APHA-AWWA-WPCF.

En referencia a los métodos analíticos utilizados para la verificación del cumplimiento de la NSCA Lago Villarrica, se establece el uso de los que se encuentran definidos tanto en el artículo 10° de la NSCA Lago Villarrica como en el artículo único transitorio del PMCCA Lago Villarrica. Las metodologías se exponen a continuación en la **Tabla 6**:

Tabla 6. Métodos Analíticos (Adaptado de las NSCA Lago Villarrica y PMCCA Lago Villarrica)

Parámetro	Metodología	Referencia
Transparencia	Disco Secchi	Método Interno LADGA-IML-07
Saturación Oxígeno	Método de electrodo de membrana	4500-O G. Standard Methods
Fósforo Disuelto	Método de reducción automatizada de ascórbico	4500-P F. Standard Methods
	Método de inyección de flujo para Orto fosfato	4500-P G. Standard Methods
	Método de Ácido Ascórbico	4500 P-E. Standard Methods Hach 8048, USEPA
	Espectroscopia de absorción Molecular	Standard Methods
Fósforo Total	Método de Ácido Ascórbico y digestión ácida con Persulfato	4500-P B-5. Standard Methods
	Método de digestión manual y análisis de inyección de flujo para Fósforo Total	4500-P H. Standard Methods
	Método por digestión de Persulfato/ UV en línea y análisis de flujo de inyección para Fósforo total	4500-P I. Standard Methods
	Método de Persulfato para determinación simultánea de Nitrógeno Total y Fósforo Total	4500-P J. Standard Methods

⁽⁴⁾ O sus versiones actualizadas



Parámetro	Metodología	Referencia
Amonio	Método Nessler	Hach 8038, USEPA
	Método de Fenato	4500-NH ₃ F. Standard Methods
	Métodos automatizados de Fenato	4500-NH ₃ G. Standard Methods
	Ánalisis de inyección de flujo	4500-NH ₃ H. Standard Methods
Nitrito ⁽⁴⁾	Método de Diazotización	Hach 8507, USEPA
	Método colorimétrico	4500-NO ₂ B. Standard Methods
	Método Espectroscopia de Adsorción Molecular	Rodier 1981
	Método de Determinación de Aniones por cromatografía iónica	4110. Standard Methods
Nitrito ⁽⁴⁾	Método por reducción de Cadmio	4500-NO ₃ E. Standard Methods
	Método automatizado por reducción de Cadmio	4500-NO ₃ F. Standard Methods
	Método por inyección de flujo por reducción de Cadmio	4500-NO ₃ I. Standard Methods
	Método Espectroscopia de Adsorción Molecular	Rodier 1981
	Método de Determinación de Aniones por Cromatografía Iónica	4110. Standard Methods
Nitrógeno Disuelto	Por medio de cálculo: N-nitrito + N-nitrito +N-amoniacial	
Nitrógeno Total	Método de Persulfato	4500-N C. Standard Methods
	Método de Persulfato para determinación simultánea de Nitrógeno Total y Fósforo Total	4500-P J. Standard Methods
	Por medio de cálculo: N-nitrito + N-nitrito +NT-Kjeldahl	
Nitrógeno Total Kjeldahl ⁽⁵⁾	Método Kjeldahl	4500-Norg B-C/NH ₃ - F Standard Methods
Clorofila "a"	Método de análisis interno DGA Espectroscopia Absorción Molecular.	10200 H. Standard Methods DGALGOCL1/2009 Método Scor Unesco

A partir de la información entregada asociada a los 9 muestreos realizados durante el periodo 2022-2023 y en comparación las metodologías definidas en la NSCA Lago Villarrica complementadas por el PMCCA Lago Villarrica, es posible establecer lo siguiente:

- Metodologías de muestreo: Las metodologías de muestreo utilizadas para el desarrollo de las 9 campañas de muestreo, se describen en los instructivos informados en la **Tabla 7**:

Tabla 7. Instructivos de metodologías de muestreo DGA

Instructivo	Metodología
LADGA-IML-01 v.01/2017	Procedimiento de muestreo para aguas de lagos naturales.
LADGA-ILM-02 v.00/2016	Instructivo para uso y calibración Sonda hydrolab ds5 y ds5x
LADGA-IML-04 v.00/2016	Instructivo uso GPS.

⁽⁵⁾ Metodologías utilizadas para la obtención del Nitrógeno Total.



Instructivo	Metodología
LADGA-IML-05 v.00/2016	Instructivo de ECOSONDA.
LADGA-IML-06 v.00/2016	Instructivo uso ADC-PRO.
LADGA-IML-07 v.00/2016	Instructivo uso Disco Secchi.
LADGA-IML-08 v.00/2016	Instructivo de uso de red Fitoplancton.
LADGA-IML-09 v.00/2016	Instructivo de uso botella de Van Dorn.
LADGA-IML-10 v.00/2016	Instructivo llenado tablilla de terreno.
LADGA-IML-11 v.01/2016	Instructivo filtrado de muestras para determinación de Clorofila.

- Tiempos de preservación: Los tiempos de preservación definidos en la NSCA Lago Villarrica y en el PMCCA Lago Villarrica, consideran los establecidos en la NCh. 411/3 Of. 96 y/o en “Standard Methods” for Examination of Water and Wastewater.

El análisis de los tiempos informados en las muestras asociadas a las campañas realizadas durante 2022-2023 y su comparación con los tiempos referidos en los documentos antes mencionados, permiten establecer que los parámetros que cumplen con estos tiempos en todas las estaciones de la Red de Control son Nitrógeno Total durante las campañas de verano 2023 (febrero estación LIT-Norte; marzo estaciones LIT-Pucón y LIT-La Poza) y primavera 2023 (octubre estación PEL-CE) (ver en **Anexo 6**, hoja “tiempos preservación”). Tras el análisis realizado se establece que los datos mencionados serán invalidados para el proceso de evaluación normativa del parámetro.

Respecto de los parámetros Transparencia y Saturación de Oxígeno, éstos no se encuentran considerados dentro de esta validación, debido a que su medición se desarrolla *in situ*.

- Validación de análisis realizados en laboratorios externos: Respecto de los servicios de laboratorios externos utilizados por parte de la DGA para el análisis de muestras correspondientes a los ocho muestreos realizados durante 2022-2023 y considerando los criterios técnicos establecidos en la NSCA Lago Villarrica y en el PMCCA Lago Villarrica, se logra establecer lo siguiente:

- a) Contratación de un único laboratorio que realice los análisis de las fracciones de un parámetro. Las especies nitrogenadas N-nitrato, N-nitrito, N-amoniocal y NT-Kjeldahl, componentes de los parámetros Nitrógeno Disuelto y Nitrógeno Total, fueron analizados por un laboratorio subcontratado durante el periodo bienal 2022-2023 (EULA Chile) y analizadas en cada campaña por este mismo, lo cual permite establecer cumplimiento de esta condición.
- b) Dato validado si y sólo sí, la suma de las fracciones es menor o igual al valor del resultado del parámetro total: De acuerdo a los datos entregados por DGA para el periodo bienal 2022-2023, respecto de las especies nitrogenadas conformantes de los parámetros Nitrógeno Disuelto y Nitrógeno Total y de la especie Ortofósfato respecto del parámetro Fósforo Total, se logró establecer lo siguiente:



Especies Nitrogenadas: en el periodo bienal 2022-2023 se observa que no se cumple con esta condición en todas las estaciones de la red de control, en las campañas de verano 2022 (febrero y marzo) y primavera 2022 (octubre y noviembre), verano 2023 (febrero y marzo) y primavera 2023 (octubre).

En el caso de Nitrógeno Disuelto, al utilizarse exclusivamente la metodología por cálculo a través de suma de especies, este criterio no es aplicable.

Especies fosforadas: en el periodo bienal 2022-2023, se utilizó una metodología analítica no validada para la obtención de Fósforo Disuelto y Total (LEE-MET-504-VAL-11 ver 02) en todas las campañas de 2023.

El detalle de la verificación se muestra en el **Anexo 6**, hoja “Análisis de fracciones”.

- Metodologías de análisis: los métodos analíticos empleados para la obtención de resultados a ser evaluados, son expuestos en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Metodología de Análisis DGA (adaptado de (Adaptado de Ordinarios DGA N° 14/2023 y N°16/2024)).

Parámetro	Metodología Analítica usada	Referencia
Transparencia	Disco Secchi	LADGA-IML-07 (Método de análisis interno DGA)
Saturación de Oxígeno	Determinación in situ por medio de Sonda Multiparámetro CTD marca YSI. Método electrodo de membrana, SM 4500-O G	Sin referencia indicada.
Nitrito	Método colorimétrico	4500-NO2 B. Standard Methods
	Determinación de aniones por Cromatografía iónica.	4110- NO2 B. Standard Methods
Nitrato	Método por Electrodo	4500-NO3 D. Standard Methods
	Determinación de aniones por cromatografía iónica.	4110- NO3 B. Standard Methods
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	Método de Fenato	4500 NH3 F. Standard Methods
	Método de electrodo selectivo de amonio	4500 NH3 D Standard Methods
Nitrógeno Total Kjeldahl	Método del Persulfato	4500-Norg B. Standard Methods
	Por medio de cálculo: N-total - N-nitrito - N-nitrato.	-
Nitrógeno Disuelto	Por medio de cálculo: N-nitrito + N-nitrato + N-amoniacaal	-
Nitrógeno Total	Por medio de cálculo: N-nitrito + N-nitrato + NTK	4500 B,D,N org B-Nitrógeno Total. Standard Methods
	Método del Persulfato	4500-N. C. Standard Methods. Standard Methods
Fósforo Disuelto	Espectroscopia de Absorción Molecular.	4500-P E. Standard Methods LEE-MET-504-VAL-11 ver 02, basado en SMEWW 3120
Fósforo Total	Método de Persulfato para determinación simultánea de Nitrógeno Total y Fósforo Total	4500-P J / P E. Standard Methods LEE-MET-504-VAL-11 ver 02, basado en SMEWW 3120



Parámetro	Metodología Analítica usada	Referencia
	Método de Plasma Acoplado por Inducción (ICP).	3120-B. Standard Methods
Clorofila "a"	Espectroscopia de Absorción Molecular.	Método Scor, UNESCO

De acuerdo a las metodologías definidas en la NSCA Lago Villarrica como en el PMCCA Lago Villarrica y realizando comparación con las metodologías informadas por la DGA, es posible establecer concordancia con la mayoría de las metodologías utilizadas e informadas para los parámetros evaluados en la Red de Control (ver en **Anexo 6**, hoja “Metodologías”), con la excepción de los parámetros Fósforo Disuelto y Total donde se utilizó una metodología no validada (LEE-MET-504-VAL-11 ver 02, basado en SMEWW 3120 B).

- Límites de detección: De acuerdo al criterio descrito en el artículo decimonoveno del PMCCA Lago Villarrica, el cual determina que los límites de detección de las metodologías utilizadas deben encontrarse bajo el 80% del valor del límite normativo, para que estos puedan ser validados. Al realizar el análisis de estos límites dentro de las metodologías utilizadas y definidas en los informes de laboratorio entregados por DGA, se constata el cumplimiento de esta condición en todas las mediciones realizadas en el periodo bienal 2022-2023, en las seis estaciones de la Red de Control, respecto de los parámetros Transparencia, Saturación de Oxígeno, Clorofila “a”, Fósforo Total, Ortofósfato y Nitrógeno Total. El resto de los parámetros/especies, presentan incumplimiento respecto del criterio en los periodos y estaciones de la Red de Control, según se informan a continuación:
 - a) Especies nitrogenadas: Respecto de las especies nitrogenadas conformantes del parámetro Nitrógeno Disuelto, se observa incumplimiento de esta condición según sigue:
 - Nitrógeno disuelto durante las campañas de verano 2022 (febrero y marzo).

Dada esta situación, se invalidan los datos que presentan límites de detección que no cumplen con el criterio requerido. El detalle de la verificación se muestra en el **Anexo 6**, hoja “Límites de Detección”.

No obstante lo anterior, se logra contar con la cantidad mínima de datos validados necesarios para cumplir con la representatividad estacional de cada parámetro controlado (a excepción del Nitrógeno Disuelto), durante el periodo bienal 2022-2023.



6. RESULTADOS RED DE CONTROL Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO

6.1. Metodología para la evaluación del cumplimiento normativo

El artículo 5° de la NSCA Lago Villarrica indica que, para la protección de la calidad de las aguas, es necesario mantener los siguientes niveles de calidad para cada parámetro y para cada una de las áreas de vigilancia bajo las condiciones que se detallan en la **Tabla 9**:

Tabla 9. Niveles de Calidad por Área de Vigilancia en el Lago Villarrica (Adaptado de las NSCA Lago Villarrica)

Parámetros	Unidad	Criterio	Área de Vigilancia					
			PEL-CE	LIT- La Poza	LIT - Pucón	LIT- Norte	LIT- Villarrica	LIT-Sur
Trofía deseada	-	-	Oligotrófico	Oligomesotrófico	Oligomesotrófico	Oligomesotrófico	Oligomesotrófico	Oligomesotrófico
Transparencia (Secchi)	m	Promedio anual	≥ 9	≥ 7	≥ 7	≥ 7	≥ 7	≥ 7
		Mínimo	≥ 5	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4
Fósforo (P) Disuelto	mg P/L	Promedio anual	≤ 0,010	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015
		Máximo	≤ 0,015	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,025
Fósforo (P) Total	mg P/L	Promedio anual	≤ 0,010	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015
		Máximo	≤ 0,015	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,025
Saturación de Oxígeno	%	Mínimo	≥ 80	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 70
Nitrógeno (N) Disuelto*	mg N/L	Promedio anual	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15
		Máximo	≤ 0,15	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
Nitrógeno (N) Total	mg N/L	Promedio anual	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15
		Máximo	≤ 0,20	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
Clorofila "a"	µg/L	Promedio anual	≤ 3	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
		Máximo	≤ 6	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10

* Nitrógeno Disuelto es la suma de N-nitrito, N-nitrato y N-amoniocal.

De acuerdo a los límites establecidos en las NSCA Lago Villarrica, se entenderá sobrepasada la norma de calidad cuando se presente una o más de las siguientes condiciones:

- Cuando el promedio aritmético de los valores de las muestras analizadas para un parámetro o el valor máximo permitido, considerando un período de dos años consecutivos, y según la frecuencia mínima y profundidades de medición establecida en el PMCCA Lago Villarrica, sea mayor a los límites de las normas. La excepción son los parámetros Saturación de Oxígeno y Transparencia, los que tienen un límite mínimo, por tanto, en su caso se evalúa en base a que el resultado sea menor a los límites establecidos en el artículo 5°; y/o
- Cuando para el área Pelagial la Saturación de Oxígeno sobre el fondo sea menor que 50% durante un año; y/o



- c) Cuando durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años se sobreponen los límites del promedio anual de Clorofila "a" y dos o más del resto de los parámetros normados en el artículo 5º; y/o
- d) Cuando durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años se sobreponen los límites del valor máximo de Clorofila "a" y tres o más del resto de los parámetros normados en dicho artículo.

A partir de las conclusiones de la revisión de validez para los datos según la sección 5 del presente informe, para cada estación de monitoreo se realizó la respectiva evaluación de cumplimiento normativo del período bienal calendario 2022-2023, la que será abordada como sigue:

- Parámetros analizables respecto a cumplimiento: Transparencia, Saturación de Oxígeno, Clorofila "a", Fósforo Disuelto, Fósforo Total y Nitrógeno Total en todas las estaciones de la Red de Control.
- Parámetros analizables de forma referencial: Nitrógeno Disuelto en todas las estaciones de la Red de Control.

Para cada una de las Áreas de Vigilancia se ha ponderado las concentraciones obtenidas a las distintas profundidades, según el volumen representativo de estas (**Tabla 10** y **Tabla 11**), y de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^n (P_i * X_i)$$

Dónde:

i = Número de estratos o rangos de profundidades del lago en cada zona de vigilancia.

n = Número total de rangos de profundidades en que se divide una zona de vigilancia (n=3 para zonas litorales; n=5 para zona pelágica)

P_i= Porcentaje del volumen que representa un rango de profundidades i-ésimo sobre el volumen total de la zona de vigilancia.

X_i = Concentración del parámetro en el estrato "i".

Tabla 10. Porcentaje de volumen de agua por área de vigilancia pelágica y rango de profundidades del lago (artículo decimoctavo del PMCCA Lago Villarrica)

Nº Rango (i)	Rango de Profundidad (m)	Pelágico
1	0 a 5	4%
2	5 a 20	12%
3	20 a 50	23%
4	50 a 85	24%
5	85 a h. máx.	36%



Tabla 11. Porcentaje de volumen de agua por área de vigilancia litoral y rango de profundidades del lago (artículo decimoctavo del PMCCA Lago Villarrica).

Nº Rango	Rango de profundidades (m)	LIT-Norte	LIT-Sur	LIT-Villarrica	LIT-La Poza	LIT-Pucón
1	0 a 5	39%	43%	41%	44%	41%
2	5 a 15	45%	46%	47%	50%	46%
3	15 a 25 ^(*)	16%	11%	13%	6%	13%
TOTAL		100%	100%	100%	100%	100%

(*) 25 metros es la profundidad límite establecida para las zonas de vigilancia litorales.

6.2. Resultados de la evaluación del cumplimiento normativo

A continuación, se realiza la presentación de los resultados obtenidos asociados a la evaluación de cumplimiento normativo de los datos obtenidos en el análisis bienal, el cual considera el período que va desde enero de 2022 a diciembre de 2023. Toda la información utilizada para la evaluación, junto con los resultados de la aplicación de criterios de cumplimiento, se encuentran expuestos en el **Anexo 6**.

Con el fin de facilitar la comprensión de los resultados obtenidos, a continuación, se detalla la nomenclatura de colores de las celdas utilizada en las **Tabla 12** y **Tabla 17**.

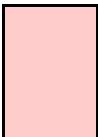
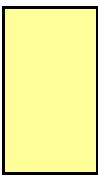
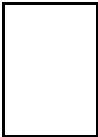
-  Corresponden a los parámetros cuya evaluación de cumplimiento supera los límites máximos permisibles, es decir, el resultado es mayor al 100% respecto del límite establecido en la NSCA Lago Villarrica (o bajo al 100% para el caso de Transparencia y Saturación de Oxígeno). Esta condición configura Incumplimiento Normativo.
-  Corresponden a los parámetros cuya evaluación de cumplimiento está bajo los límites máximos permisibles, pero en un “*nivel de advertencia*” debido a que el valor obtenido está próximo a los límites permisibles, es decir: el valor resulta estar entre el 80% y 100% respecto del límite establecido en la NSCA Lago Villarrica (o entre el 100% y 120% para el caso de Transparencia y Saturación de Oxígeno). Esta condición configura Cumplimiento Normativo.
-  Corresponden a los parámetros cuya evaluación de cumplimiento está bajo los límites máximos permisibles y bajo los niveles de advertencia, es decir, el resultado es menor al 80% respecto del límite establecido en la NSCA Lago Villarrica (o sobre el 120% para el caso de Transparencia y Saturación de Oxígeno). Esta condición configura Cumplimiento Normativo.
-  Corresponden a los parámetros cuya evaluación de cumplimiento es referencial debido a que no se cuentan con el número mínimo de resultados válidos en el período bienal analizado (2 por año).
-  Corresponden a aquellos parámetros que no disponen de registros en todas o algunas de las profundidades de muestreo consideradas en el PMCCA o los datos reportados han sido invalidados por uno o más de los criterios de validación (NPA: No Permite Análisis).



Tabla 12. Verificación NSCA Lago Villarrica en estación Centro Lago, Área de Vigilancia Pelagial (PEL-CE)

Período	Unidad	Verano 2022	Primave ra 2022	Verano 2023	Primave ra 2023	Promedi o 2022-2023	Norma promedi o	Máx/Mí n 2022-2023	Norma Máx/Mí n	Observaciones
Transparencia	m	6,7	7,7	8,2	8,4	7,7	≥ 9	6,7	≥ 5	Valor promedio inferior al umbral mínimo, se establece incumplimiento normativo . Valor mínimo superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Saturación de Oxígeno (columna de agua)	%	95,6	99,4	96,0	97,4	97,1	-	95,6	≥ 80	Valor mínimo superior al umbral mínimo, establece cumplimiento normativo (en nivel de advertencia).
Saturación de Oxígeno (fondo)	%	107,7	107,0	105,9	104,6	106,3	≥ 50	-		Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Clorofila <i>a</i>	µg/L	2,4	1,5	1,0	1,8	1,7	≤ 3	2,4	≤ 6	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Fósforo Disuelto	mg/L	0,008	0,004	0,004	INV	0,005	≤ 0,010	0,008	≤ 0,015	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial
Fósforo Total	mg/L	0,008	0,006	INV	INV	0,007	≤ 0,010	0,008	≤ 0,015	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial
Nitrógeno disuelto	mg/L	0,864	1,219	NPA	NPA	1,041	≤ 0,10	1,219	≤ 0,15	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial . Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial .
Nitrógeno total	mg/L	1,807	0,055	0,066	0,104	0,508	≤ 0,15	1,807	≤ 0,20	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo . Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo .

No se dispone de registros válidos.

Cumplimiento normativo.

Cumplimiento normativo, en nivel de advertencia.

Incumplimiento normativo.

Evaluación referencial.



Tabla 13. Verificación NSCA Lago Villarrica en estación Litoral Norte, Área de Vigilancia LIT – Norte

Período	Unidad	Verano 2022	Primavera 2022	Verano 2023	Primavera 2023	Promedio 2022-2023	Norma promedio	Máx/Mín 2022-2023	Norma Máx/Mín	Observaciones
Transparencia	m	7,0	7,8	9,3	9,0	8,3	≥ 7	7,0	≥ 4	Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo (en nivel de advertencia). Valor mínimo superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Saturación de Oxígeno	%	104,1	107,0	103,4	102,8	104,3		102,8	≥ 70	Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Clorofila a	%	3,4	1,9	2,5	1,8	2,4	≤ 5	3,4	≤ 10	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Fósforo disuelto	µg/L	0,008	0,004	0,004	INV	0,005	≤ 0,015	0,008	≤ 0,025	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial.
Fósforo Total	mg/L	0,008	0,006	INV	INV	0,007	≤ 0,015	0,008	≤ 0,025	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial.
Nitrógeno disuelto	mg/L	0,520	1,266	NPA	NPA	0,893	≤ 0,15	1,266	≤ 0,30	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial. Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial.
Nitrógeno total	mg/L	1,163	0,054	0,058	0,094	0,342	≤ 0,15	1,163	≤ 0,30	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo. Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo.

No se dispone de registros válidos.

Cumplimiento normativo.

Cumplimiento normativo, en nivel de advertencia.

Incumplimiento normativo.

Evaluación referencial.



Tabla 14. Verificación NSCA Lago Villarrica en estación Litoral Pucón, Área de Vigilancia LIT – Pucón

Período	Unidad	Verano 2022	Primavera 2022	Verano 2023	Primavera 2023	Promedio 2022-2023	Norma promedio	Máx/Mín 2022-2023	Norma Máx/Mín	Observaciones
Transparencia	m	5,0	6,3	4,0	8,5	5,9	≥ 7	4,0	≥ 4	Valor promedio inferior al umbral mínimo, se establece incumplimiento normativo . Valor mínimo superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo (en nivel de advertencia).
Saturación de Oxígeno	%	103,3	106,1	102,6	99,7	102,9		99,7	≥ 70	Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Clorofila a	%	2,8	2,8	2,9	1,5	2,5	≤ 5	2,9	≤ 10	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Fósforo disuelto	$\mu\text{g/L}$	0,008	0,004	0,004	INV	0,005	$\leq 0,015$	0,008	$\leq 0,025$	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial.
Fósforo Total	mg/L	0,010	0,006	INV	INV	0,008	$\leq 0,015$	0,012	$\leq 0,025$	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial.
Nitrógeno disuelto	mg/L	0,888	1,205	NPA	NPA	1,046	$\leq 0,15$	1,205	$\leq 0,30$	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial. Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial.
Nitrógeno total	mg/L	1,553	0,068	0,083	0,120	0,456	$\leq 0,15$	1,553	$\leq 0,30$	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo. Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo.

No se dispone de registros válidos.

Cumplimiento normativo.

Cumplimiento normativo, en nivel de advertencia.

Incumplimiento normativo.

Evaluación referencial.



Tabla 15. Verificación NSCA Lago Villarrica en estación Litoral Sur, Área de Vigilancia LIT – Sur

Período	Unidad	Verano 2022	Primavera 2022	Verano 2023	Primavera 2023	Promedio 2022-2023	Norma promedio	Máx/Mín 2022-2023	Norma Máx/Mín	Observaciones
Transparencia	m	6,0	7,5	7,5	7,8	7,2	≥ 7	6,0	≥ 4	Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo (en nivel de advertencia). Valor mínimo superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Saturación de Oxígeno	%	103,4	107,5	101,5	102,1	103,6		101,5	≥ 70	Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Clorofila a	%	3,4	2,7	2,3	2,0	2,6	≤ 5	3,4	≤ 10	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Fósforo disuelto	$\mu\text{g/L}$	0,008	0,004	0,004	INV	0,005	$\leq 0,015$	0,008	$\leq 0,025$	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Fósforo Total	mg/L	0,008	0,007	INV	INV	0,007	$\leq 0,015$	0,008	$\leq 0,025$	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Nitrógeno disuelto	mg/L	0,759	1,545	NPA	NPA	1,152	$\leq 0,15$	1,545	$\leq 0,30$	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial. Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial.
Nitrógeno total	mg/L	1,483	0,069	0,054	0,094	0,425	$\leq 0,15$	1,483	$\leq 0,30$	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo. Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo.

No se dispone de registros válidos.

Cumplimiento normativo.

Cumplimiento normativo, en nivel de advertencia.

Incumplimiento normativo.

Evaluación referencial.



Tabla 16. Verificación NSCA Lago Villarrica en estación Litoral Villarrica, Área de Vigilancia LIT – Villarrica

Período	Unidad	Verano 2022	Primavera 2022	Verano 2023	Primavera 2023	Promedio 2022-2023	Norma promedio	Máx/Mín 2022-2023	Norma Máx/Mín	Observaciones
Transparencia	m	7,1	6,6	8,6	6,8	7,3	≥ 7	6,6	≥ 4	Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo (en nivel de advertencia). Valor mínimo superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Saturación de Oxígeno	%	103,1	107,9	107,9	102,9	105,5	-	102,9	≥ 70	Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Clorofila a	%	3,2	2,8	1,3	2,0	2,3	≤ 5	3,2	≤ 10	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Fósforo disuelto	µg/L	0,008	0,004	0,004	INV	0,005	≤ 0,015	0,008	≤ 0,025	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Fósforo Total	mg/L	0,008	0,006	INV	INV	0,007	≤ 0,015	0,008	≤ 0,025	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Nitrógeno disuelto	mg/L	0,949	1,396	NPA	NPA	1,173	≤ 0,15	1,396	≤ 0,30	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial. Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial.
Nitrógeno total	mg/L	1,764	0,067	0,069	0,099	0,500	≤ 0,15	1,764	≤ 0,30	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo. Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo.

No se dispone de registros válidos.

Cumplimiento normativo.

Cumplimiento normativo, en nivel de advertencia.

Incumplimiento normativo.

Evaluación referencial.



Tabla 17. Verificación NSCA Lago Villarrica en estación Litoral Bahía La Poza, Área de Vigilancia LIT - La Poza

Período	Unidad	Verano 2022	Primavera 2022	Verano 2023	Primavera 2023	Promedio 2022-2023	Norma promedio	Máx/Mín 2022-2023	Norma Máx/Mín	Observaciones
Transparencia	m	6,5	6,8	6,8	7,0	6,8	≥ 7	6,5	≥ 4	Valor promedio inferior al umbral mínimo, se establece incumplimiento normativo . Valor mínimo superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Saturación de Oxígeno	%	104,9	105,0	103,5	99,6	103,2		99,6	≥ 70	Valor promedio superior al umbral mínimo, se establece cumplimiento normativo.
Clorofila <i>a</i>	%	2,7	3,0	2,0	1,9	2,4	≤ 5	3,0	≤ 10	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo.
Fósforo disuelto	µg/L	0,008	0,004	0,004	INV	0,005	$\leq 0,015$	0,008	$\leq 0,025$	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial.
Fósforo Total	mg/L	0,008	0,006	INV	INV	0,007	$\leq 0,015$	0,008	$\leq 0,025$	Valor promedio inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial. Valor máximo inferior al umbral máximo, se establece cumplimiento normativo referencial.
Nitrógeno disuelto	mg/L	0,639	1,104	NPA	NPA	0,872	$\leq 0,15$	1,104	$\leq 0,30$	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial . Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo referencial .
Nitrógeno total	mg/L	1,503	0,066	0,083	0,092	0,436	$\leq 0,15$	1,503	$\leq 0,30$	Valor promedio superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo . Valor máximo superior al umbral máximo, se establece incumplimiento normativo .

No se dispone de registros válidos.

Cumplimiento normativo.

Cumplimiento normativo, en nivel de advertencia.

Incumplimiento normativo.

Evaluación referencial.



Según se observa en las tablas anteriores, se verificó el **incumplimiento normativo** de los siguientes parámetros:

- Transparencia en estaciones PEL-CE, LIT-Pucón, LIT-La Poza
- Nitrógeno total en todas las estaciones de la red de control

Adicionalmente a la evaluación antes expuesta, en el artículo 7º de la NSCA Lago Villarrica se establecen otras condiciones particulares asociadas al cumplimiento de los parámetros Saturación de Oxígeno y Clorofila “a”. Los resultados obtenidos se exponen a continuación:

- **Saturación de Oxígeno en PEL-CE sobre el fondo sea menor que 50% durante un año:** Los valores de los promedios anuales obtenidos para el parámetro Saturación de Oxígeno en fondo, en la estación PEL-CE, durante el periodo bienal 2022-2023, presentan resultados por sobre el 50% del valor normativo, por lo cual se determina cumplimiento normativo.
- **Clorofila “a” con superación del valor normativo durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años, y dos o más del resto de los parámetros normados en el artículo 5º:** Respecto de las dos condiciones definidas para establecer excedencia para el parámetro Clorofila “a” (capítulo 6.1 c. y d.), considerando un periodo de 5 años calendario (2019 -2023), no se observa excedencia en ningún periodo, sin embargo, históricamente sólo se ha observado una excedencia una durante el año 2015 (ver en **Anexo 6**, hoja “evaluación de cumplimiento de parámetro Clorofila “a””), por lo cual se determina cumplimiento normativo.

7. VALIDEZ DE DATOS RED DE OBSERVACIÓN

7.1. Estaciones de monitoreo Red de Observación

De acuerdo a lo indicado en el artículo 13º de la NSCA Lago Villarrica, el PMCCA correspondiente podrá incorporar el monitoreo de parámetros adicionales a los establecidos en la norma, así como también nuevas estaciones de monitoreo de calidad de aguas, con la finalidad de generar información para revisiones futuras de la misma. El monitoreo de dichos parámetros o estaciones no sería obligatorio, quedando supeditado a las capacidades técnicas y económicas de los servicios mandatados a realizarlo.

Así es como sumadas a las 6 estaciones analizadas en la Red de Control que se encuentran dentro de la Red de Observación (es decir: PEL-CE, LIT-Villarrica, LIT-Pucón, LIT-Norte, LIT-Sur y LIT-La Poza), el PMCCA Lago Villarrica incluyó 3 estaciones de monitoreo adicionales para conformar en total nueve (9) estaciones de monitoreo conformantes de la Red de Observación, una de ellas dentro de un área de vigilancia ya establecida, y dos en áreas adicionales, señalándose en la **Tabla 18**.



Tabla 18. Áreas de vigilancia y estaciones de la Red de observación del lago Villarrica (Adaptado del PMCCA Lago Villarrica).

Área de vigilancia	Límite área de vigilancia	Descripción de la estación de monitoreo	Ubicación de la estación de monitoreo	
			Coordenadas UTM WGS 84	
PEL	Siguiendo el veril de 25 metros hacia el centro del lago. Corresponde a todo el cuerpo de agua pelágico cuyo límite horizontal está definido por la línea del veril 25 metros y cuyo límite vertical comprende desde la superficie hasta la profundidad máxima del lago.	PEL-CE Obs. Pelagial del lago	750.473	5.650.192
		PEL-VILL. Pelagial Sector Villarrica	742.585	5.648.367
LIT-Pucón	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago en todo su entorno.	LIT-Pucón Obs. Desde: Estero zanjón seco. Hasta: Término de la playa grande de Pucón Litoral	760.636	5.648.855
LIT-Norte	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago en todo su entorno.	LIT-Norte Obs. Desde: Término de la playa grande de Pucón Hasta: Frente al km 1,6 de la ruta S-69	746.795	5.656.005
LIT-Villarrica	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago en todo su entorno.	LIT-Villarrica Obs. Desde: Frente al km 1,6 de la ruta S-69 Hasta: Límite Este, sector Condominio la puntilla de Villarrica	740.885	5.647.562
LIT-Sur	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago en todo su entorno.	LIT-Sur Obs. Desde: Límite Este, sector Condominio la puntilla de Villarrica. Hasta: Estero Zanjón seco	750.494	5.646.215
LIT-Poza	Siguiendo el veril de 25 metros hacia la orilla del lago comprendiendo sólo el sector de la bahía La Poza.	LIT-Poza Obs. Sector bahía La Poza	759.575	5.647.905
TRA-Quelhue	Afluente del lago Villarrica	Sector Balseadero Quelhue	765.690	5.648.772
TOL-Villarrica	Efluente del lago Villarrica	Sector Río Toltén en Villarrica	738.167	5.649.347

A continuación, la **Figura 2** representa a las estaciones que componen la Red de Observación junto a su ubicación dentro del Lago Villarrica.





Figura 2. Representación de la Red de Observación del Lago Villarrica (Fuente: elaboración propia SMA).

7.2. Frecuencia de monitoreo Red de Observación

La Red de Observación considera la posibilidad de medición de parámetros, en todas las estaciones de monitoreo antes definidas, tanto para la componente aguas como para el componente sedimentos donde se ha establecido los parámetros críticos a ser medidos en las distintas profundidades recomendadas y los organismos responsables de la entrega de esta información. A continuación, en la **Tabla 19** se entrega el detalle de esta información definida en el PMCCA Lago Villarrica:

Tabla 19. Estaciones y parámetros a monitorear en la Red de Observación (Fuente: PMCCA Lago Villarrica).

Área de Vigilancia	Parámetro	Unidad	Frecuencia Anual	Profundidad (m)	Responsable
Intervención antrópica					
PEL	Matriz acuosa				
	Hidrocarburos Totales	mg/L	2	Superficial	DIRECTEMAR
	Condición Natural				
	Perfil de Temperatura	°C	2	Toda la columna	DGA
	Perfil de Oxígeno	mg/L	2	Toda la columna	DGA
	Perfil de Conductividad ⁽⁵⁾	mhos/cm	2	Toda la columna	DGA
	pH	Unidad de pH	2	0-10-30-70-100	DGA
LIT – Pucón	Turbidez	Unidades nefelométricas	2	0-10-30-70-100	DGA
	Fitoplancton ⁽⁶⁾	cel./mL	2	0-10-30-70-100	DGA
	Investigación				
	Nitrato	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Nitrito	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
LIT – Pucón	Amonio	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Intervención Antrópica				
	Matriz Acuosa				



Área de Vigilancia	Parámetro	Unidad	Frecuencia Anual	Profundidad (m)	Responsable
LIT – Norte	Hidrocarburos Totales	mg/L	2	Superficial	DIRECTEMAR
	Sílice Reactiva	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DBO ₅	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DQO	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	Matriz sedimentos				
	Materia Orgánica Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Fósforo Total	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Carbono Orgánico Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Hidrocarburos Totales	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Metales Pesados y Metaloides ⁽⁷⁾	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Granulometría	Textura	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Condición natural				
	Conductividad Eléctrica	mhos/cm	2	0-10-20	DGA
	pH	Unidad de pH	2	0-10-20	DGA
	Turbidez	Unidades nefelométricas	2	0-10-20	DGA
	Fitoplancton ⁽²⁾	cel./mL	2	0-10-20	DGA
	Macrófitas Acuáticas	% Cob	1	Infralitoral	MMA
	Diplodón Chilensis	Ab. Y Comp.	1	Infralitoral	MMA
	Investigación				
	Nitrato	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Nitrito	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Amonio	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Intervención Antrópica				
	Matriz Acuosa				
	Hidrocarburos Totales	mg/L	2	Superficial	DIRECTEMAR
	Sílice Reactiva	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DBO ₅	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DQO	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	Matriz sedimentos				
	Materia Orgánica Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Fósforo Total	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Carbono Orgánico Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Hidrocarburos Totales	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Metales Pesados y Metaloides	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Granulometría	Textura	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Condición natural				
	Conductividad Eléctrica	mhos/cm	2	0-10-20	DGA
	pH	Unidad de pH	2	0-10-20	DGA
	Turbidez	Unidades nefelométricas	2	0-10-20	DGA
	Fitoplancton	cel./mL	2	0-10-20	DGA
	Macrófitas Acuáticas	% Cob	1	Infralitoral	MMA
	Diplodón Chilensis	Ab. Y Comp.	1	Infralitoral	MMA
	Investigación				
	Nitrato	mg/L	2	0-10-20	DGA



Área de Vigilancia	Parámetro	Unidad	Frecuencia Anual	Profundidad (m)	Responsable
	Nitrito	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Amonio	mg/L	2	0-10-20	DGA
Intervención Antrópica					
LIT – Villarrica	Matriz Acuosa				
	Hidrocarburos Totales	mg/L	2	Superficial	DIRECTEMAR
	Sílice Reactiva	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DBO ₅	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DQO	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	Matriz sedimentos				
	Materia Orgánica Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Fósforo Total	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Carbono Orgánico Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Hidrocarburos Totales	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Metales Pesados y Metaloides	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Granulometría	Textura	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
Condición natural					
LIT – Sur	Conductividad Eléctrica	mhos/cm	2	0-10-20	DGA
	pH	Unidad de pH	2	0-10-20	DGA
	Turbidez	Unidades nefelométricas	2	0-10-20	DGA
	Fitoplancton	cel./mL	2	0-10-20	DGA
	Macrófitas Acuáticas	% Cob	1	Infralitoral	MMA
	Investigación				
	Nitrato	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Nitrito	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Amonio	mg/L	2	0-10-20	DGA
Intervención Antrópica					
LIT – Sur	Matriz Acuosa				
	Hidrocarburos Totales	mg/L	2	Superficial	DIRECTEMAR
	Sílice Reactiva	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DBO ₅	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DQO	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	Matriz sedimentos				
	Materia Orgánica Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Fósforo Total	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Carbono Orgánico Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Hidrocarburos Totales	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Metales Pesados y Metaloides	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Granulometría	Textura	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
Condición natural					
LIT – Sur	Conductividad Eléctrica	mhos/cm	2	0-10-20	DGA
	pH	Unidad de pH	2	0-10-20	DGA
	Turbidez	Unidades nefelométricas	2	0-10-20	DGA
	Fitoplancton	cel./mL	2	0-10-20	DGA
	Macrófitas Acuáticas	% Cob	1	Infralitoral	MMA



Área de Vigilancia	Parámetro	Unidad	Frecuencia Anual	Profundidad (m)	Responsable
Investigación					
LIT – La Poza	Nitrato	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Nitrito	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Amonio	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Intervención Antrópica				
	Matriz Acuosa				
	Hidrocarburos Totales	mg/L	2	Superficial	DIRECTEMAR
	Sílice Reactiva	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DBO ₅	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	DQO	mg/L	2	0-10-20	DIRECTEMAR
	Matriz sedimentos				
	Materia Orgánica Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Nitrógeno Total	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Fósforo Total	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
TRA- Quelhue	Carbono Orgánico Total	%	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Hidrocarburos Totales	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Metales Pesados y Metaloides	mg/Kg	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Granulometría	Textura	2	Infralitoral	DIRECTEMAR
	Condición natural				
	Conductividad Eléctrica	mhos/cm	2	0-10-20	DGA
	pH	Unidad de pH	2	0-10-20	DGA
	Turbidez	Unidades nefelométricas	2	0-10-20	DGA
	Fitoplancton	cel./mL	2	0-10-20	DGA
	Macrófitas Acuáticas	% Cob	1	Infralitoral	MMA
	Investigación				
TOL- Villarrica	Nitrato	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Nitrito	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Amonio	mg/L	2	0-10-20	DGA
	Condición natural				
	Conductividad Eléctrica	mhos/cm	2	Superficial	DGA
	Temperatura	°C	2	Superficial	DGA
	pH	Unidad de pH	2	Superficial	DGA
	Turbidez	Unidades nefelométricas	2	Superficial	DGA
	Fósforo Total	mg/L	2	Superficial	DGA
	Saturación de Oxígeno	%	2	Superficial	DGA
	Oxígeno disuelto	mg/L	2	Superficial	DGA
	Nitrógeno Total	mg/L	2	Superficial	DGA
	Investigación				
	Nitrato	mg/L	2	Superficial	DGA
	Nitrito	mg/L	2	Superficial	DGA
	Amonio	mg/L	2	Superficial	DGA
	Condición natural				
	Conductividad Eléctrica	mhos/cm	2	Superficial	DGA
	Temperatura	°C	2	Superficial	DGA
	pH	Unidad de pH	2	Superficial	DGA
	Turbidez	Unidades nefelométricas	2	Superficial	DGA



Área de Vigilancia	Parámetro	Unidad	Frecuencia Anual	Profundidad (m)	Responsable
PEL-VILL	Fósforo Total	mg/L	2	Superficial	DGA
	Saturación de Oxígeno	%	2	Superficial	DGA
	Oxígeno disuelto	mg/L	2	Superficial	DGA
	Nitrógeno Total	mg/L	2	Superficial	DGA
	Investigación				
	Nitrato	mg/L	2	Superficial	DGA
	Nitrito	mg/L	2	Superficial	DGA
	Amonio	mg/L	2	Superficial	DGA
	Fosfato	mg/L	2	Superficial	DGA
	Condición natural				
PEL-VILL	Transparencia (Secchi)	m	2	Columna de agua	DGA
	Fósforo disuelto	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Fósforo Total	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Saturación de Oxígeno	%	2	0-10-30-70-100	DGA
	Nitrógeno disuelto (*)	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Nitrógeno Total	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Clorofila "a"	µg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Condición natural				
	Perfil de Temperatura (pT)	°C	2	Toda la columna	DGA
	Perfil de Oxígeno (pO)	mg/L	2	Toda la columna	DGA
PEL-VILL	Perfil de Conductividad (pC)	mhos/cm	2	Toda la columna	DGA
	pH	Unidad de pH	2	0-10-30-70-100	DGA
	Turbidez	Unidad nefel.	2	0-10-30-70-100	DGA
	Fitoplancton (Ab. y Comp.)	cel./mL	2	0-10-30-70-100	DGA
	Investigación				
	Nitrato	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Nitrito	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA
	Amonio	mg/L	2	0-10-30-70-100	DGA

(5) Perfil de conductividad: Mediciones puntuales a nivel superficial y profundidad de 20 m.

(6) Análisis respecto a Abundancia y Composición.

(7) El análisis de metales pesados y metaloides en sedimentos considera: Cadmio, Mercurio, Plomo, Cobre y Arsénico.

(*) Nitrógeno disuelto es la suma de N-nitrato, N-nitrito y N-amonio.

La información referente a las mediciones ejecutadas durante el período comprendido entre el 1 de enero de 2022 al 31 de diciembre de 2023, fue reportada a esta Superintendencia por la DIRECTEMAR y por DGA, a través de los documentos expuestos en **Tabla 1**.

Los parámetros que fueron muestreados durante el periodo bienal 2022-2023 en las nueve (9) estaciones de la Red de Observación se informan en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Resumen muestreos ejecutados en Red de Observación para el período bienal 2022-2023.

Parámetros	Frecuencia								
	PEL-CE	LIT-Pucón	LIT-Norte	LIT-Villarrica	LIT-Sur	LIT-La Poza	PEL-VILL	TRA-Queule	TOL-Villarrica
Componente Agua									
Hidrocarburos Fijos	1/1	1/2	1/1	1/2	1/2	1/2	-	-	-
Sílice Reactiva	0/0	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	5/0	5/0	5/0



Parámetros	Frecuencia								
	PEL-CE	LIT-Pucón	LIT-Norte	LIT-Villarrica	LIT-Sur	LIT-La Poza	PEL-VILL	TRA-Queule	TOL-Villarrica
Demandra Química de Oxígeno (DQO)	0/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	0/2	0/2	0/2
Demandra Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	1/0	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	0/0	0/0	0/0
pH	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
Turbidez	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
Nitrógeno Total	-	-	-	-	-	-	2/4	3/4	3/4
Nitrógeno disuelto	-	-	-	-	-	-	2/0	2/0	2/0
Nitrito	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	2/4	3/4	3/4
Nitato	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	2/4	3/4	3/4
Amonio	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0
Conductividad eléctrica	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	2/4	3/4	3/4
Temperatura	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	2/4	3/4	3/4
Oxígeno disuelto	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	2/4	3/4	3/4
Saturación de oxígeno	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	2/4	3/4	3/4
Transparencia	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	2/4	0/0	0/0
Fósforo Total	-	-	-	-	-	-	2/4	3/4	3/4
Fósforo disuelto	-	-	-	-	-	-	2/4	3/4	3/4
Fitoplancton	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	-	-
Macrófitas Acuáticas	-	*	*	*	*	*	-	-	-
Diplodón Chilensis	-	*	*	-	-	-	-	-	-
Componente Sedimentos									
MOT (Materia Orgánica Total)	-	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	-	-	-
Nitrógeno Total Kjeldahl	-	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	-	-	-
Fósforo Total	-	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	-	-	-
COT (Carbono Orgánico Total)	-	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	-	-	-
Hidrocarburos Fijos	-	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	-	-	-
Metales y metaloides (Cd, Hg, Pb, Cu, As)	-	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	-	-	-
Granulometría	-	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	-	-	-

X/Y: Número de campañas con medición del parámetro en período 2022/Número de campañas con medición del parámetro en período 2023.

(*): Información pendiente de entrega por parte del Ministerio del Medio Ambiente.

(-): Parámetro no medido.

7.3. Metodologías de muestreo y análisis

Las metodologías utilizadas en el análisis de las muestras obtenidas en las nueve (9) estaciones de la Red de Observación, han sido reportadas por medio de los oficios entregados por DIRECTEMAR e



informados a través del INFOTEC SEMESTRAL “Monitoreo Norma Secundaria de Calidad Lago Villarrica”, en el cual se entrega detalle asociado a equipos, metodologías y tiempos de preservación de las muestras en las componentes agua y sedimentos.

Por su parte, la DGA entregó el detalle de los procedimientos de muestreo a través de los instructivos descritos en la **Tabla 5**, mientras que las metodologías de análisis se presentan a continuación en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Metodología de Análisis de DGA y DIRECTEMAR (Adaptado de Ordinarios DGA N° 14/2023 y N° 16/2024; Ord. DGTM N° 695/2023 y N° 487/2024).

Parámetro	Metodología Analítica usada	Referencia
Matriz acuosa		
Conductividad eléctrica	Determinación in situ por medio de Sonda Multiparámetro	No se especifica método utilizado
DBO ₅	Electrodo de Membrana Incubación 5 días.	5210 B Standard Methods
Diplodón Chilensis	-	-
DQO	Espectroscopia de absorción molecular.	5220 D- Standard Methods
Fitoplancton	-	-
Hidrocarburos Fijos	-	5520 F Hidrocarburos Volátiles Standard Methods,
Nitrato	Método colorimétrico	4500-NO ₃ B. Standard Methods
	Método por Electrodo	4500-NO ₃ D. Standard Methods
	Determinación de aniones por Cromatografía Iónica.	4110- NO ₃ B. Standard Methods
Nitrito	Método colorimétrico	4500-NO ₂ B. Standard Methods
	Determinación de aniones por Cromatografía iónica.	4110- NO ₂ B. Standard Methods
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	Método de Fenato	4500 NH3 F 2005. Standard Methods
		4500 NH3 D Standard Methods
pH	Electrodo específico. Sonda Multiparámetro.	
Sílice Reactiva	ICP.	Standard Methods 4500-SiO ₂ C
Temperatura	Termométrica. Sonda Multiparámetro.	-
Turbidez	Medición con sensor de turbidez. Sonda Multiparámetro.	-
Matriz sedimentaria		
Carbono Orgánico Total (COT)	MQC000059 REV 4	-
Fósforo Total		Standard Methods 3120 B
Granulometría	Escala Wentworth ASTM 136-96 a.	Escala Wentworth
Hidrocarburos fijos	MQC00070 REV 0	-
Materia Orgánica Total (MOT)	MQC000059 REV 4	-
Metales (Cd, Pb, Cu y As)	-	Standard Methods 3120 B
Nitrógeno Total Kjeldahl	MQI000058 Interno	



Al respecto, se logra identificar concordancia con las metodologías utilizadas en el análisis de muestras tanto en la componente agua como en sedimentos, todas ellas definidas en NSCA Lago Villarrica y complementadas por el PMCCA Lago Villarrica.

8. RESULTADOS RED DE OBSERVACIÓN

Considerando la información entregada por la DGA y por la DIRECTEMAR respecto del periodo 2022-2023 en las nueve (9) estaciones de la Red de Observación fue posible verificar lo siguiente (ver **Anexo 7**):

Validación de los datos: Respecto de las metodologías de análisis utilizadas por la Dirección General de Aguas como por la Dirección General de Territorio Marítimo y de Marina Mercante sobre las muestras obtenidas, se logra verificar en todos los parámetros considerados, el uso de las metodologías establecidas tanto en la NSCA Lago Villarrica y por el PMCCA Lago Villarrica, a excepción de Fósforo total y Ortofósforatos durante el año 2023.

Componente agua: De acuerdo a lo especificado en el **Anexo 7**, se verifica la entrega de reportes asociados a las campañas de muestreo de agua realizadas en toda la Red de Observación, de los siguientes parámetros: Hidrocarburos Fijos, Sílice Reactiva, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH, Turbidez, Nitrógeno Total, Nitrógeno Disuelto, N-nitrato, N-nitrito, Amonio, Conductividad Eléctrica, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Saturación de Oxígeno, Transparencia, Fósforo Total, Fósforo Disuelto, Clorofila “a” y Fitoplancton.

Componente sedimento: De acuerdo a lo especificado en el **Anexo 7**, se verificó la entrega de datos respecto de las campañas de muestreo de sedimentos realizadas en toda la Red de Observación de los parámetros Materia Orgánica Total, Nitrógeno Total Kjeldahl, Fósforo Total, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos Fijos, Metales (Cd, Hg, Pb, Cu y As) y Granulometría.

9. ANÁLISIS CONSOLIDADO DE DATOS HISTÓRICOS

La Resolución SMA N° 671 del 21 de julio de 2016, que dicta el PMCCA Lago Villarrica, establece que el informe técnico de Calidad de las Aguas, en este caso, del Lago Villarrica, deberá considerar dentro los aspectos a informar:

- Los resultados del examen y validación de los datos, de manera consolidada.
- La evolución de la calidad del agua de acuerdo a los resultados de los períodos anteriores.
- El estado en que se encuentra el cuerpo de agua protegido, ya sea que se encuentre conforme a lo establecido en la norma de calidad, en estado de latencia o en estado de saturación.



En línea con lo anterior, en la **Tabla 22** se expone un resumen del cumplimiento normativo existente respecto de cada parámetro analizado en su registro histórico, desde el verano de 2014 hasta la primavera de 2023.



Tabla 22. Resumen de evaluación de datos históricos de la Red de Control entre 2014 y 2023.

Periodo bienal		2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
Parámetros	Normativa	Centro Lago									LIT Pucón									LIT Norte								
Transparencia	Promedio																											
	Mínimo																											
Saturación de Oxígeno (columna)	Promedio																											
	Mínimo																											
Saturación de Oxígeno (fondo)	Promedio																											
	Mínimo																											
Clorofila "a"	Promedio																											
	Máximo																											
Fósforo Disuelto	Promedio																											
	Máximo																											
Fósforo Total	Promedio																											
	Máximo																											
Nitrógeno Disuelto	Promedio																											
	Máximo																											
Nitrógeno Total	Promedio																											
	Máximo																											
Periodo bienal		2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
Parámetros	Normativa	LIT Villarrica									LIT Sur									LIT Poza								

Resultado con cumplimiento normativo.

Nivel de advertencia.
Resultado cumple la norma.

Resultado con incumplimiento normativo

Evaluación referencial



A partir de lo establecido en la **Tabla 22** que entrega los resultados históricos obtenidos de las evaluaciones de cumplimiento normativo realizadas entre el periodo 2014-2023 para las 6 estaciones de la Red de Control (**Anexo 8**), se logra establecer lo siguiente:

- Respecto de la evaluación de los siete parámetros contemplados en esta norma, es posible definir que ninguno ha presentado cumplimiento normativo continuo, durante el periodo analizado.
- Respecto de los parámetros que presentan mayor recurrencia por invalidación de datos o imposibilidad de análisis durante el periodo histórico, se distinguen: Nitrógeno Disuelto, Nitrógeno Total y Fósforo Total.
- Si bien no se presenta comportamiento continuo en el tiempo, en cada una de las estaciones de la red de Control, respecto de los siete parámetros considerados para evaluación de la NSCA Lago Villarrica, es posible hacer algunos alcances:
 - Transparencia: Se observó incumplimiento en PEL-CE durante todo el periodo evaluado; en LIT-Norte, LIT-Villarrica y LIT-Sur (cumplimiento). Mientras que en las estaciones LIT-Pucón se observó incumplimiento durante los últimos periodos (2020-2021 y 2021-2022) y en LIT-La Poza, se observa incumplimiento en periodos anteriores 2019-2020 y 2020-2021.
 - Saturación de Oxígeno en la columna de agua: Se observa que los resultados han presentado variaciones que van desde evaluación referencial en el periodo 2014-2015 al cumplimiento normativo en todas las estaciones de la Red de Control desde dicho periodo a la actualidad (PEL-CE, LIT-Pucón, LIT-Norte, LIT-Sur, LIT-Villarrica y LIT-La Poza).
 - Clorofila: Tanto según promedios como para máximos todas las estaciones de control han presentado incumplimiento en el inicio del análisis histórico (años 2014-2015 y 2015-2016). En los periodos posteriores hasta ahora, en cambio, se ha registrado cumplimiento en todas las estaciones de la Red de Control.
 - Fósforo Disuelto: Se observa que el criterio de evaluación de promedios ha presentado en general cumplimientos normativos en las estaciones PEL-CE, LIT-Pucón y LIT-La Poza, mientras que en el resto de las estaciones se presentan periodos con evaluación referencial. Respecto del criterio de evaluación de máximos, se observan cambios que van desde incumplimientos a cumplimientos normativos en las estaciones LIT-La Poza, PEL-CE, LIT-Villarrica y LIT-Sur. Se observa que cuatro estaciones presentan evaluación de tipo referencial (PEL-CE, LIT-Norte, LIT-Sur y LIT-Villarrica). En resumen, la única estación de la red de Control que presenta cumplimiento durante todo el periodo en ambos criterios es LIT-Pucón.
 - Fósforo Total: Se observa que, tanto en el criterio de promedios como de máximos, los resultados han presentado variaciones que van desde evaluación referencial a cumplimiento normativo en las estaciones de la Red de Control LIT-Pucón, LIT-Norte, LIT-Sur, LIT-La Poza y LIT-Villarrica. En el caso de la estación PEL-CE, se



observan variaciones que considera periodos con evaluación referencial e incumplimiento normativo durante todo el periodo histórico.

- Nitrógeno Disuelto y Total: Se mantiene presencia muy significativa de periodos cuya evaluación es de tipo referencial a causa de invalidaciones o por falta de información de las especies conformantes de los parámetros. En definitiva, para ambos parámetros, no es posible establecer una evaluación formal en cada una de las estaciones de la Red de Control.

10. CONCLUSIONES

La actividad de análisis y evaluación de la información que ha sido expuesta en el presente informe, consideró las campañas de monitoreo realizadas para la Red de Control por la DGA, durante el período comprendido entre el 01 de enero de 2022 y el 31 de diciembre de 2023, en el marco de la evaluación del cumplimiento normativo definido en la NSCA Lago Villarrica, y de las campañas realizadas por la DIRECTEMAR, en igual período para la Red de Observación.

A partir de la información recopilada en las campañas realizadas en el periodo bienal 2022-2023, en las 6 estaciones definidas como Red de Control y la validación de los datos, se determina la evaluación de cumplimiento normativo según se indica a continuación:

- a) Transparencia: se verificó **incumplimiento normativo** asociado al límite promedio bienal en las estaciones PEL-CE, LIT-Pucón y LIT-La Poza; **cumplimiento normativo** respecto del valor mínimo y del promedio bienal en las estaciones LIT-Norte, LIT-Sur, LIT-Villarrica (promedios en nivel de advertencia); y respecto del valor mínimo en PEL-CE, LIT-Pucón y LIT-La Poza.
- b) Saturación de Oxígeno: se verificó **cumplimiento normativo** respecto de los valores mínimos en todas las estaciones de la red de control (en nivel de advertencia en PEL-CE).
Respecto de la medición del parámetro en el fondo de la estación Centro PEL-CE, se verificó **cumplimiento normativo** a la condición de contar en esta estación con resultados por sobre el 50% del valor normativo en el fondo durante un año.
- c) Clorofila “a”: Se presenta **cumplimiento normativo** respecto de los valores máximo y promedio bienal en todas las estaciones de la red de control.
Adicionalmente, en los datos históricos 2014 a 2023 se observa superación del límite normativo solo durante el año 2015, lo cual permite establecer **cumplimiento** de la condición definida en el inciso tercero del artículo 7º de la NSCA Lago Villarrica, relativa al incumplimiento de los límites normativos promedio y/o máximo del parámetro Clorofila, durante 3 años consecutivos o en tres ocasiones durante 5 años.
- d) Fósforo Disuelto: Se presenta **cumplimiento normativo** respecto de los valores máximo y promedio bienal en todas las estaciones de la red de control.



- e) Fósforo Total: Se presenta **cumplimiento normativo** respecto de los valores máximo y promedio bienal en todas las estaciones de la red de control.
- f) Nitrógeno Disuelto: Debido a que el parámetro se encuentra conformado por las especies nitrogenadas N-nitrato, N-nitrito y N-amoniacial, y estableciéndose la inexistencia de datos de una o más de las especies antes señaladas en todas las estaciones de la red de control, durante las campañas de 2022 y la invalidación de estos durante las campañas de 2023, los resultados obtenidos (valor máximo y promedio bienal), fueron evaluados **referencialmente**. Al respecto, se presenta **incumplimiento normativo referencial** para el valor máximo y promedio bienal en todas las estaciones de la red de control.
- g) Nitrógeno Total: Se presenta **incumplimiento normativo** respecto de los valores máximo y promedio bienal en todas las estaciones de la red de control.

En conclusión, se establece el incumplimiento de las NSCA Lago Villarrica en el periodo bienal 2022-2023 por: Transparencia en las estaciones PEL-CE, LIT-Pucón y LIT-La Poza; y Nitrógeno Total en las estaciones PEL-CE, LIT-Pucón; LIT-Norte, LIT-Sur, LIT-Villarrica y LIT-La Poza.



11. ANEXOS

Nº Anexo	Nombre Anexo
1	Oficio ORD. DGA N° 14, de 31 de marzo de 2023/Minuta DCPRH N° 14 DGA 2023.
2	Oficio ORD. DGA N° 16, del 28 de marzo de 2023/Minuta DCPRH N° 09 DGA 2024.
3	Oficio D.G.T.M. Y M.M. ORD. N° 12.600/05/695/S.M.A., de 23 de mayo de 2023.
4	Oficio D.G.T.M. Y M.M. ORD. N° 12.600/05/487/S.M.A., de 10 de abril de 2024.
5	Oficio ORD. SMA N° 2.941, de 19 de diciembre de 2024 y copia de correos electrónicos DGA en respuesta
6	Resumen de datos Red de Control período 2022-2023
7	Resumen de datos Red de Observación período 2022-2023
8	Registro y análisis histórico de la Calidad de las Aguas en Red de Control periodo 2014-2023

