



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
DEPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

# **DIAGNOSTICO Y ESTADO AMBIENTAL DE LAS AGUAS NATURALES DE LA COMUNA DE QUILLON, REGION DEL ÑUBLE.**

**INFORME FINAL**

**REALIZADO POR:**

**INGENIERIA, DISEÑO Y CONSULTORIA AMBIENTAL  
INDYCA SPA**

**S.I.T. Nº 460**

**SANTIAGO, NOVIEMBRE 2020**

## **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

Ministro de Obras Públicas  
Ingeniero Comercial Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas  
Ingeniero Comercial Oscar Cristi Marfil

Jefe (S) Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos  
Ingeniero Civil Hidráulico Alvaro Maurin Zepeda

Inspector Fiscal  
Ingeniero Ambiental Heriberto Moya Gutierrez

## **INDYCA SPA**

Gerente de Proyecto  
Ingeniero Alejandro Cancino Esparza  
Ingeniero Ambiental  
Magíster en Manejo de Recursos Naturales

Jefe de Proyecto  
Ingeniero Daniel Zunino Mardones  
Ingeniero en Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Magíster en Gestión y Planificación Ambiental

Cartografía  
Christopher Ramos Mella  
Profesor de Ciencias Naturales y Biología  
Magíster en Manejo de Recursos Naturales

## INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	7
2. INTRODUCCION.....	8
3. OBJETIVO GENERAL.....	9
3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	9
4. METODOLOGIA.....	10
4.1 DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS A REALIZAR EN TERRENO.....	12
4.1.1 METODOLOGIA DE MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS.....	12
4.1.2 METODOLOGÍA DE MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES.....	14
4.1.3 METODOLOGIA DE MUESTREO PARA FITOPLANCTON.....	16
4.2 ANALISIS QUIMICOS EN LABORATORIO.....	17
4.3 METODOLOGIA DE ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	18
4.3.1 ANÁLISIS PARA AGUAS SUBTERRANEAS.....	18
4.3.2 ANÁLISIS PARA AGUAS SUPERFICIALES.....	18
4.3.3 ANÁLISIS PARA FITOPLANCTON.....	19
5. RESULTADOS.....	21
5.1 RESULTADOS PARA AGUAS SUBTERRANEAS.....	21
5.2 RESULTADOS PARA AGUAS SUPERFICIALES.....	24
5.3 RESULTADOS PARA FITOPLANCTON.....	29
6. ANALISIS Y DISCUSIONES.....	33
6.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	33
6.1.1 PARÁMETROS MEDIDO EN TERRENO.....	33
6.1.2 PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO.....	36
6.2 AGUAS SUPERFICIALES.....	45
6.2.1 PARÁMETROS MEDIDOS EN TERRENO.....	45
6.2.2 PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO.....	53
6.3 FITOPLANCTON.....	57
6.3.1 MUESTRAS SUBSUPERFICIALES DE FITOPLANCTON.....	58
6.3.2 MUESTRAS ESTRATO PROFUNDO DE FITOPLANCTON.....	59
6.4 ANÁLISIS DE LA TROFÍA DE LA LAGUNA AVENDAÑO EN COMPARACIÓN CON LA METODOLOGÍA DE SMITH.....	60

6.5.1 OBJETIVOS.....	62
6.5.2 PARÁMETROS.....	62
6.5.3 FRECUENCIA DE MUESTREO.....	63
6.5.5 METODOLOGÍA .....	64
6.5.6 INFORMES Y ORGANISMOS .....	64
7. CONCLUSIONES .....	65
8. BIBLIOGRAFIA.....	67
9. ANEXOS.....	69

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pozos de monitoreo. Coordenadas UTM. Huso 18 H Sur WGS 84. ....	11
Tabla 2. Puntos de monitoreo. Coordenadas UTM. Huso 18 H Sur WGS 84. ....	11
Tabla 3. Metodologías de análisis de laboratorio .....	17
Tabla 4. Metodologías de análisis de laboratorio para parámetros extras.....	18
Tabla 5. Rango de valores de cada parámetro correspondiente a cada estado. Smith et al. 1999. ....	19
Tabla 6. Parámetros medidos en terreno .....	22
Tabla 7. Parámetros medidos en laboratorio .....	22
Tabla 8. Parámetros medidos en terreno .....	26
Tabla 9. Parámetros medidos en laboratorio .....	27
Tabla 10. Abundancia de fitoplancton (cél/ml).....	30
Tabla 11. Comparación de resultados con NCh 1333 y NCh 409 .....	36
Tabla 12. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.....	45
Tabla 13. Calidad del agua en relación con el % de saturación de oxígeno.....	47
Tabla 14. Clasificación de las aguas según la salinidad del agua de riego .....	51
Tabla 15. Resultados relación de Redfield.....	55
Tabla 16. Rango de valores de cada parámetro correspondiente a cada estado. Smith et al. 1999.....	60
Tabla 17. Resultados de los parámetros de interés .....	60
Tabla 18. Propuesta de parámetros para pozos .....	62
Tabla 19. Propuesta de parámetros para la Laguna Avendaño .....	63

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los pozos de monitoreo de aguas subterráneas.....	10
Figura 2. Ubicación de los puntos de monitoreo en la laguna Avendaño. ....	11
Figura 3. Multiparamétrico portátil marca Hanna Instruments. ....	13
Figura 4. Esquema para medición del nivel de agua en el acuífero .....	14
Figura 5. Turbidímetro marca Hanna Instruments.....	15
Figura 6. Botella Van Dorn y Disco de Secchi desinfectados. ....	16
Figura 7. Muestreo de agua subterránea en Pozo 4, ESSBIO Malla 1.....	21
Figura 8. Medición de profundidad en Pozo 4, ESSBIO Malla 1. ....	21
Figura 9. Laguna Avendaño, condiciones muestreo durante la mañana. ....	24
Figura 10. Laguna Avendaño, condiciones de muestreo durante la tarde. ....	25
Figura 11. Detalle <i>Aphanocapsa</i> 20x (A), <i>Asterionella</i> 20x (B), <i>Aulacoseira</i> 20x (C), <i>Ceratium</i> 20x (D), <i>Closteriopsis</i> 20x (E), <i>Closterium</i> 20x (F), <i>Cymbella</i> 20X y <i>Dictyosphaerium</i> 20x (H) .....	31

Figura 12. Detalle <i>Dinobryon</i> 20x (A), <i>Epithemia</i> 20x (B), <i>Fragilaria</i> 20x (C), <i>Microcystis</i> 20x (D), <i>Monoraphidium</i> 20x (E), <i>Peridinium</i> 20x (F), <i>Scenedesmus</i> 20X (G) y <i>Ulnaria</i> 20x (H) .....	32
--	----

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. pH .....	33
Gráfico 2. Potencial óxido-reducción.....	34
Gráfico 3. Conductividad eléctrica.....	35
Gráfico 4. Temperatura.....	35
Gráfico 5. Manganeseo.....	37
Gráfico 6. Hierro .....	38
Gráfico 7. Fosfatos .....	38
Gráfico 8. Sílice total.....	39
Gráfico 9. Calcio .....	40
Gráfico 10. Potasio .....	40
Gráfico 11. Sodio .....	41
Gráfico 12. Bicarbonatos .....	42
Gráfico 13. Nitrógeno amoniacal.....	43
Gráfico 14. Nitrato.....	43
Gráfico 15. Magnesio.....	44
Gráfico 16. Oxígeno disuelto.....	46
Gráfico 17. Saturación de oxígeno.....	47
Gráfico 18. Transparencia .....	48
Gráfico 19. Turbidez .....	49
Gráfico 20. pH terreno .....	49
Gráfico 21. pH laboratorio.....	50
Gráfico 22. Potencial óxido-reducción.....	51
Gráfico 23. Conductividad eléctrica.....	52
Gráfico 24. Temperatura.....	52
Gráfico 25. Nitrógeno total .....	53
Gráfico 26. Fosfatos.....	54
Gráfico 27. Fósforo total .....	54
Gráfico 28. Resultados de relación de Redfield .....	55
Gráfico 29. Coliformes fecales .....	56
Gráfico 30. Clorofila "a".....	57

## 1. RESUMEN

El estudio Diagnóstico y estado ambiental de las aguas naturales de la comuna de Quillón, región del Ñuble, comprendió la caracterización de un total de 6 pozos ubicados en las cercanías de la Laguna Avendaño, y 10 puntos de monitoreo de agua en la Laguna Avendaño en 2 profundidades.

A los 6 pozos, se le realizaron 26 ensayos de laboratorio solicitados, más 13 ensayos adicionales, teniendo un total de 39 analitos cuantificados por muestra en laboratorio. A ello se le suma lo caracterizado en terreno, que son 6 parámetros.

A las 20 muestras de agua de la laguna, se le realizaron 6 ensayos en laboratorio más 8 parámetros en terreno y también la caracterización de fitoplancton.

Considerando que no existen antecedentes para la zona sobre estudios en base al agua subterránea, la presente caracterización servirá como línea base para futuros estudios.

Teniendo en cuenta las fundamentaciones físico-químicas obtenidas para ésta componente, las aguas subterráneas cumplirían de manera referencial con la NCh 1333 Requisitos de calidad del agua para diferentes usos; en específico el uso para riego y la NCh 409 Requisitos para agua potable.

Por otro lado, la Laguna Avendaño ha sido analizada en función de la NCh 1333 Requisitos de calidad de agua para diferentes usos, en específico su uso para Vida Acuática; y se clasificó su estado trófico según Schmidt.

Los resultados para esta componente son variables, sin embargo, se observa un estado de las aguas libre de contaminación.

## 2. INTRODUCCION

La Dirección General de Agua (DGA), de acuerdo con las disposiciones establecidas en el art. 129, bis 3, del Código de Aguas, es el organismo del Estado encargado de establecer y operar la red de estaciones de control de calidad, cantidad y niveles de las aguas tanto superficiales como subterráneas en cada cuenca u hoya hidrográfica.

Actualmente, existe la necesidad de avanzar en el conocimiento del estado de la calidad de las aguas subterráneas, cuyos antecedentes resultan fundamentales, por ejemplo, para las siguientes herramientas de gestión del recurso:

- Determinar la condición natural de calidad de agua en los acuíferos, cuyo antecedente es necesario para aplicar la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas (D.S. MINSEGPRES 46/2002).
- Como antecedente para la evaluación de proyectos en el marco del SEIA.
- Como línea base para proyectos de recarga artificial de acuíferos y futuras Normas Secundarias de Calidad Ambiental, que consideren la componente ambiental aguas subterráneas.

Considerando las necesidades señaladas y la importancia que tienen las aguas subterráneas para múltiples usos, la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (DGA, 2012) estableció como “objetivo prioritario prevenir la contaminación difusa de las aguas superficiales y subterráneas”, siendo el mejoramiento de la red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas una de las medidas necesarias para avanzar en materia de prevención y detección temprana de sustancias contaminantes en los acuíferos.

Actualmente la DGA cuenta con un programa de monitoreo de calidad de aguas subterráneas que requiere ser reforzado en atención al logro de los objetivos anteriormente expuestos. Acorde con los objetivos de la red, se estima necesario ampliar el número de puntos y mejorar el conocimiento de los pozos donde se realiza el seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas. Este énfasis resulta aún más relevante en aquellos sectores acuíferos que tienen alguna limitación de explotación de extracción decretada por la DGA, ello por considerarse el agua como recurso escaso que debe protegerse en cantidad y calidad.

La Laguna Avendaño se ubica en la comuna de Quillón, región del Ñuble y recibe aportes de napas subterráneas, debido a la ausencia de cursos superficiales que desemboquen en ella. Tiene una extensión de 2,7 km, un ancho de 800 metros, y una profundidad máxima de 21 metros. Esta laguna es uno de los principales cuerpos de agua de la Región del Ñuble y uno de los polos turísticos de la región, por lo que la laguna está sometida a una alta presión antrópica.

Considerando lo anterior se requiere de un diagnóstico de la calidad de las aguas de la laguna y de pozos alrededor de ella.

El presente informe incluye la toma de muestras de agua en terreno y el análisis químico en laboratorio, para detectar 39 analitos en laboratorio, más 4 parámetros en terreno para 6 pozos de muestreo, con sus respectivas profundidades.



Además, se muestrearán 10 puntos en la Laguna Avendaño, con 6 parámetros analizados en laboratorio y 6 parámetros en terreno, lo anterior a 2 profundidades en cada punto de muestreo (Subsuperficial y estrato profundo).

### **3. OBJETIVO GENERAL**

Generar un diagnóstico de la calidad de las aguas mediante datos útiles y confiables acerca del estado químico y limnológico de las aguas subterráneas y de la Laguna Avendaño en la comuna de Quillón, Región del Ñuble.

#### **3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Ubicar estaciones de monitoreo en un mapa
- Informar los resultados de los análisis de laboratorio
- Informar los resultados de las variables de terreno
- Análisis comparativo referencial con la norma de calidad de aguas asociada mediante estadígrafos
- Análisis de la trofía de la laguna Avendaño en comparación con la metodología de Smith
- Propuesta de seguimiento de calidad de aguas de la Laguna Avendaño y acuíferos

## 4. METODOLOGIA

A continuación, se describe la metodología utilizada para caracterizar cada ítem de monitoreo y control.

### a) Descripción del área de estudio

El área de estudio corresponde a la comuna de Quillón en la región del Ñuble, específicamente se trata del muestreo de 6 pozos de aguas subterráneas distribuidos en la comuna de Quillón, y el muestreo en 10 puntos de monitoreo en la Laguna Avendaño en 2 profundidades.

La Laguna Avendaño se ubica en la comuna de Quillón, región del Ñuble, tiene una extensión de 2,7 km, un ancho de 800 metros, y una profundidad máxima de 21 metros. Debido a la ausencia de cursos superficiales que desemboquen en ella, recibe aportes de napas subterráneas y de aquellas precipitaciones registradas durante los meses de invierno. Esta laguna es uno de los principales cuerpos de agua de la Región del Ñuble y uno de los polos turísticos de la región, por lo que la está sometida a una alta presión antrópica.

### b) Ubicación de los puntos de muestreo

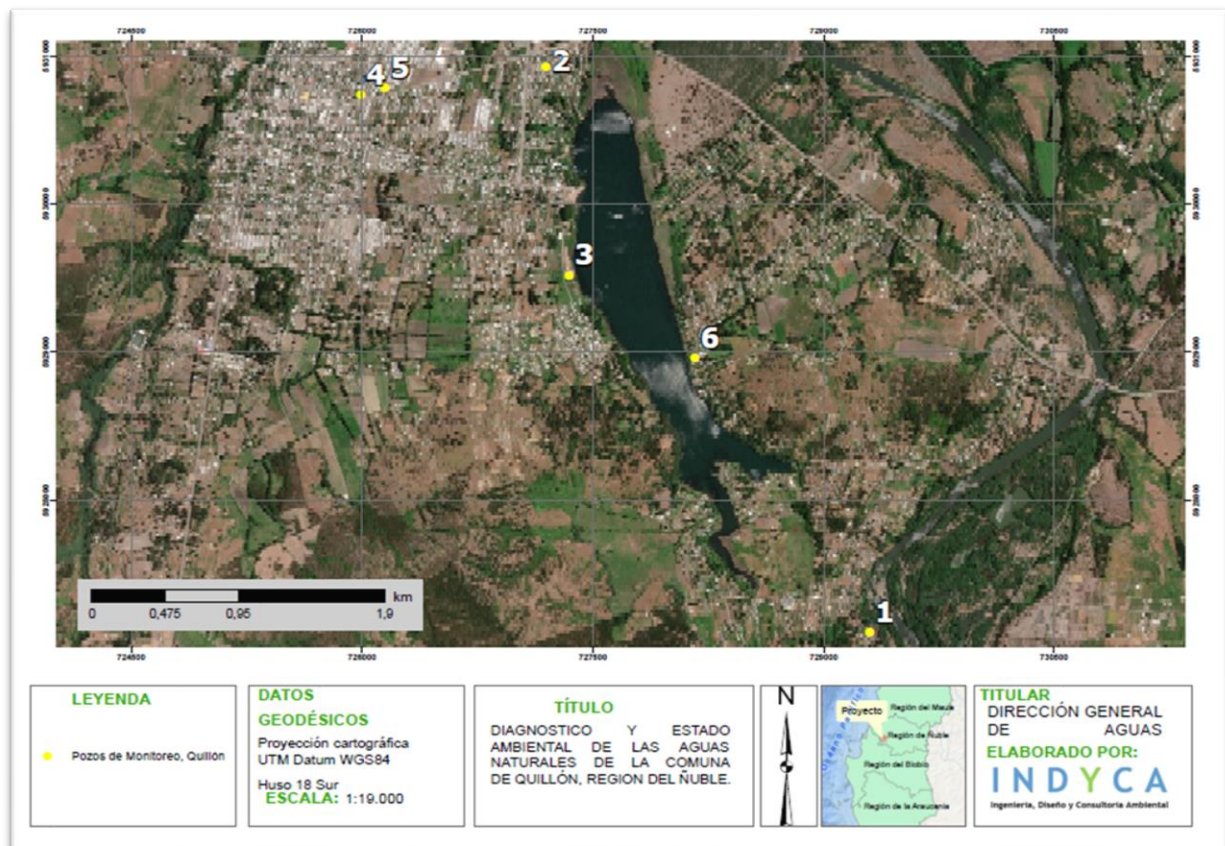
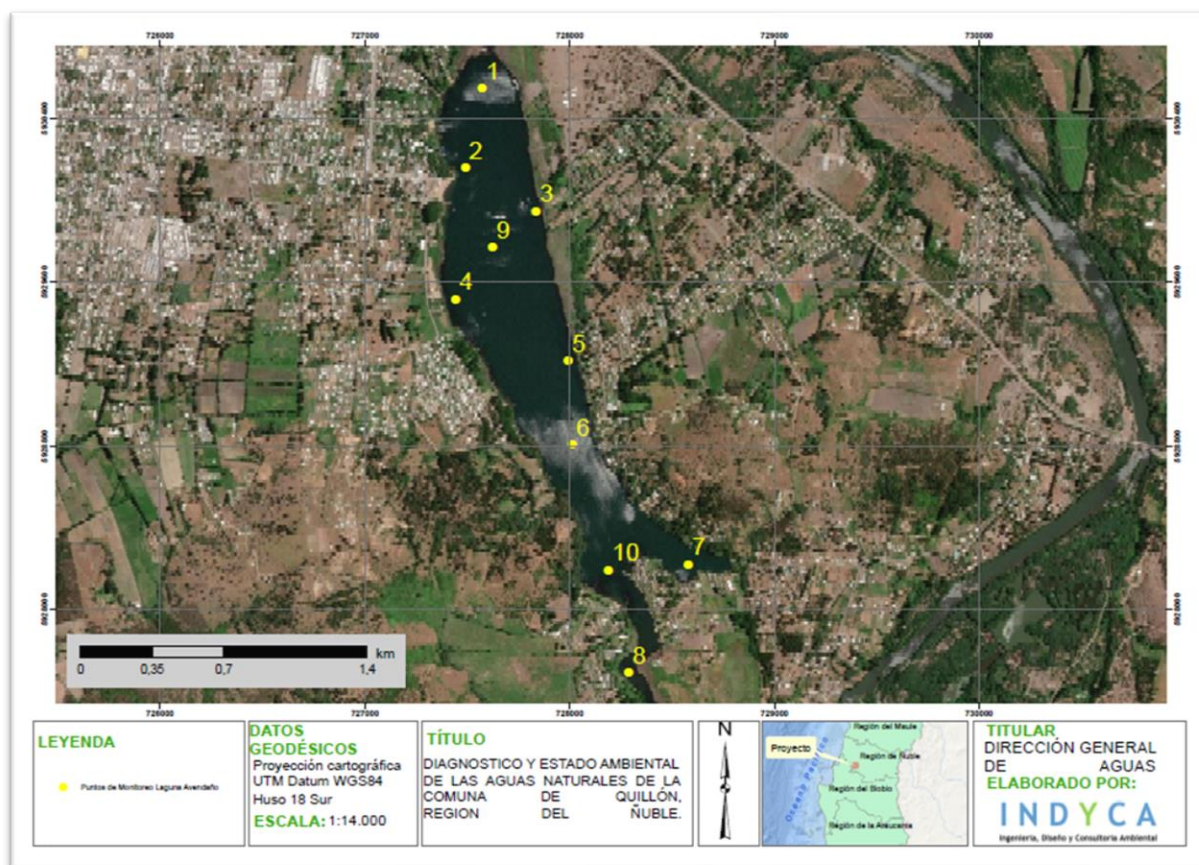


FIGURA 1. UBICACIÓN DE LOS POZOS DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

**TABLA 1. POZOS DE MONITOREO. COORDENADAS UTM. HUSO 18 H SUR WGS 84.**

Punto	Nombre pozo	Este	Norte
1	APR Chillancito de Quillon	727195	5930927
2	APR Villa Tenesse	729298	5927107
3	Cendyr Náutico	727343	5929520
4	ESSBIO Malla 1	725990	5930736
5	ESSBIO Malla 3 Municipal	726148	5930785
6	Puntera Parcela Quillón	728161	5928964



**FIGURA 2. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO EN LA LAGUNA AVENDAÑO.**

**TABLA 2. PUNTOS DE MONITOREO. COORDENADAS UTM. HUSO 18 H SUR WGS 84.**

Punto	Este	Norte	Profundidad de muestreo (Subsuperficial, m)	Profundidad de muestreo (Estrato profundo, m)
1	727571	5930542	0,15	3
2	727489	5930154	0,15	3
3	727833	5929944	0,15	1

4	727442	5929515	0,15	0,8
5	727990	5929215	0,15	7
6	728012	5928807	0,15	21
7	728577	5928221	0,15	4
8	728287	5927690	0,15	4
9	727621	5929769	0,15	18
10	728187	5928193	0,15	1,2

#### 4.1 Descripción de los trabajos a realizar en terreno

##### 4.1.1 Metodología de muestreo para aguas subterráneas

Corresponde a los procedimientos establecidos en la NCh 411/11 Parte 11. Guía para el muestreo de aguas subterráneas”.

El procedimiento utilizado para la extracción de las muestras es el definido como “Sistema de Monitoreo Manual” conforme al método definido por el “Standard Methods for the examination of water and wastewater”, y acorde con las normas NCh 411/11. Of 98. Esta labor debe ser realizada por un operador experimentado. A continuación, se describen las distintas etapas del proceso de muestreo:

a) Toma de muestra de pozo con bomba instalada.

Para extraer una muestra representativa se sigue el siguiente procedimiento:

- La bomba de pozo debe operar a lo menos 3 minutos antes de tomar la muestra la llave de la cual se extraerá la muestra debe permanecer entregando agua a lo menos 1 minuto.

De contar el pozo con algún tipo de tratamiento de desinfección, la muestra es tomada antes de este tratamiento, para contar con la caracterización del acuífero.

- Se debe utilizar un contenedor o bidón que se encuentre limpio, sin residuos, de tipo desechable.

- Se debe utilizar un contenedor lo suficientemente grande, para recolectar de una sola vez el agua necesaria para todos los frascos. También se puede llenar cada frasco de forma directa.

- Antes de tomar la muestra el contenedor o bidón debe ser ambientado por medio de tres enjuagues.

- Para el muestreo bacteriológico el frasco debe abrir al momento de llenado, y cerrar inmediatamente.

- En forma similar se obtiene la muestra, para realizar en terreno las mediciones correspondientes.

Las mediciones en terreno son: pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, ORP, oxígeno disuelto y % saturación de oxígeno.

El equipo a utilizar en terreno corresponde a: El HI98194, el cual es un medidor Multiparamétrico portátil impermeable con registro que monitorea hasta 12 parámetros de calidad del agua los cuales son 6 medidos y 6 calculados. La sonda multisensor con microprocesador permite la medición de parámetros claves como pH, ORP, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura. La sonda transmite lecturas digitalmente al medidor, donde se pueden exhibir y registrar puntos de datos. El uso de la comunicación digital permite una transferencia de datos libre de ruidos de hasta 100 metros de longitud.



**FIGURA 3. MULTIPARAMÉTRICO PORTÁTIL MARCA HANNA INSTRUMENTS.**

Las muestras por enviar a laboratorio son recolectadas y almacenadas en envases con preservante y a una temperatura adecuada (mantención de cadena de frío), más un envase en blanco que sirve de control de temperatura. Las muestras son enviadas al Laboratorio Hidrolab en cajas de plumavit, con la identificación correspondiente. Estas deben llegar al laboratorio antes de 24 horas de realizado el muestreo para los parámetros críticos.

Finalmente se mide la profundidad de la napa subterránea mediante un pozometro. El nivel de agua en el acuífero se mide, según la profundidad del agua bajo la superficie ( $h_2$ ) y la altura de referencia al suelo ( $h_1$ ), de acuerdo al siguiente esquema.

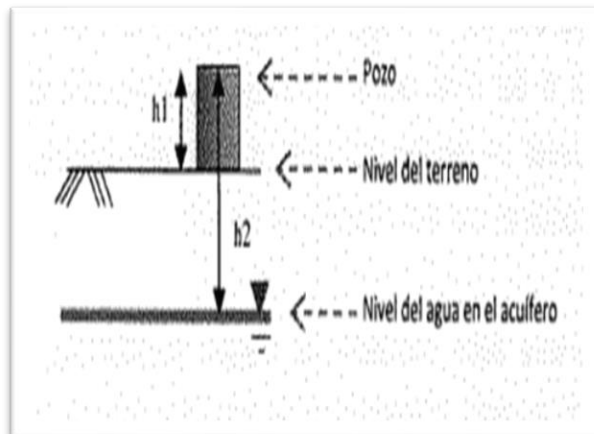


FIGURA 4. ESQUEMA PARA MEDICIÓN DEL NIVEL DE AGUA EN EL ACUÍFERO

#### 4.1.2 Metodología de muestreo para aguas superficiales

Corresponde a los procedimientos establecidos en la NCh 411/4 Parte 4. Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales”.

El procedimiento utilizado para la extracción de las muestras es el definido como “sistema de monitoreo manual” conforme al método definido por el “Standard Methods for the examination of wáter and wastewwater” y acorde con la norma NCh 411/4 Of 98. Esta labor debe ser realizada por un operador experimentado y siempre acompañado de un ayudante. En ningún caso, ambos hidromensores deben estar dentro del agua al mismo tiempo. A continuación, se describen las distintas etapas del proceso de muestreo:

Para extraer una muestra representativa se sigue el siguiente procedimiento:

- Se debe utilizar un contenedor o bidón que se encuentre limpio, sin residuos de tipo desechable.
- Se debe utilizar un contenedor lo suficientemente grande para recolectar de una sola vez el agua necesaria para todos los frascos.
- Antes de tomar la muestra el contenedor o bidón debe ser ambientado por medio de tres enjuagues.
- En el punto elegido se sumerge rápidamente el frasco debajo de la superficie del agua (15 cm en lo posible).
- Para evitar recolectar material flotante, se dirige la boca del frasco en sentido contrario al de la corriente, para así prevenir el contacto de las aguas con las manos.

- Para el muestreo bacteriológico el frasco se debe abrir al momento del llenado, tomarlo de la base y sumergirla, con el cuello hacia abajo, luego inclinar la botella en dirección al flujo del escurrimiento, sacar y cerrar inmediatamente.
- En forma homologa se obtiene la muestra, para realizar en terreno las mediciones correspondientes.

Las mediciones en terreno son: pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, turbiedad, transparencia, ORP y % saturación de oxígeno.

El equipo a utilizar en terreno corresponde a: El HI98194, el cual es un medidor Multiparamétrico portátil impermeable con registro que monitorea hasta 12 parámetros de calidad del agua los cuales son 6 medidos y 6 calculados. La sonda multisensor con microprocesador permite la medición de parámetros claves como pH, ORP, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura. La sonda transmite lecturas digitalmente al medidor, donde se pueden exhibir y registrar puntos de datos. El uso de la comunicación digital permite una transferencia de datos libre de ruidos de hasta 100 metros de longitud.

La turbiedad se mide con turbidímetro HI93703 marca Hanna Instruments y la transparencia mediante Disco Secchi de 20 cm de diámetro.



FIGURA 5. TURBIDÍMETRO MARCA HANNA INSTRUMENTS

Las muestras por enviar a laboratorio son recolectadas y almacenadas en envases con preservante y a una temperatura adecuada (mantención de cadena de frío), más un envase en blanco que sirve de control de temperatura. Las muestras son enviadas al Laboratorio Hidrolab en cajas de plumavit, con la identificación correspondiente. Estas deben llegar al laboratorio antes de 24 horas de realizado el muestreo para los parámetros críticos.

Las muestras en profundidad se obtienen a través de botella Van Dorn.



FIGURA 6. BOTELLA VAN DORN Y DISCO DE SECCHI DESINFECTADOS.

#### 4.1.3 Metodología de muestreo para fitoplancton

Para evaluar cualitativa y cuantitativamente las microalgas que se encuentran en la columna de agua (fitoplancton), en cada estación se obtuvieron dos muestras de agua de 1.000 mL, la primera muestra se obtuvo subsuperficialmente y la segunda muestra de agua del estrato profundo mediante una Botella Van Dorn.

Las muestras fueron fijadas *in situ* para su posterior traslado al Laboratorio, donde fueron analizadas y cuantificadas en una cámara Neubauer. Para la identificación se utilizó los trabajos de Rivera (1983), Parra *et al.* (1982), Parra y Bicudo (1998), Krammer y Lange-Bertalot (1986-1991), Simonsen (1987), Round y Bukhtiyarova (1996), Rumrich *et al.* (2000), Lange-Bertalot (2001) y Lange-Bertalot *et al.* (2017).



## 4.2 Análisis químicos en laboratorio

A continuación, se explicitan las metodologías de análisis para cada parámetro.

TABLA 3. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

N°	Analito	Metodología	Norma	Cuerpo de agua
1	Cloruro	Método Cromatografía Iónica	SM-450 CLB	Subterránea
2	Sodio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
3	Potasio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
4	Calcio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
5	Magnesio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
6	Nitrato	Método Cromatografía Iónica	SM-4500 BNO3	Subterránea
7	Amonio	Electrodo ión selectivo	SM-4500 NH3D	Subterránea
8	Sulfato	Método Cromatografía Iónica	SM-45 SO4C	Subterránea
9	Bicarbonato	Método de titulación	SM-2320 B	Subterránea
10	Fosfato	Método Cromatografía Iónica	SM-4500 D	Subterránea
11	Alcanidad total	Método de titulación	SM-2320 B	Subterránea
12	Sólidos disueltos totales	Gravimétrico	SM-2540 C	Subterránea
13	Arsénico	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
14	Hierro	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
15	Mercurio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
16	Plomo	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
17	Cobre	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
18	Plata	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
19	Zinc	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
20	Molibdeno	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
21	Cadmio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
22	Niquel	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
23	Cobalto	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
24	Manganeso	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
25	Selenio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
26	Aluminio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
27	Nitrógeno total	Cálculo teórico	SM-4500 NA	Laguna
28	Fósforo total	Método cloruro estanoso	SM-4500 PD	Laguna
29	Fosfato	Método cloruro estanoso	SM-4500 D	Laguna
30	Clorofila	Método colorimétrico	SM-1020 HC	Laguna
31	Fitoplancton	Análisis de células en cámara Neubauer	Neubauer	Laguna
32	Coliformes fecales	Tubos múltiples EC	SM-9221 E	Laguna

## Parámetros extras:

TABLA 4. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA PARÁMETROS EXTRAS

N°	Analito	Metodología	Norma	Cuerpo de agua
1	Antimonio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
2	Bario	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
3	Berilio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
4	Bismuto	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
5	Boro	ICP MS	SM-3120 B	Subterránea
6	Cromo	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
7	Estaño	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
8	Estroncio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
9	Litio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
10	Silicio	ICP MS	SM-3120 B	Subterránea
11	Vanadio	ICP MS	SM-3125 B	Subterránea
12	pH	-	SM-4500 HB	Subterránea y laguna
13	Conductividad	-	SM-2510 B	Subterránea y laguna

### 4.3 Metodología de análisis de los resultados

#### 4.3.1 Análisis para aguas subterráneas

Se analizarán los resultados obtenidos en las 6 muestras de aguas subterráneas de manera referencial de acuerdo con la norma NCh 1.333 Requisitos de calidad de agua para diferentes usos, en específico para su Uso en Riego y la NCh 409 Requisitos para agua potable.

Además, se definen rangos teóricos de calidad de agua para los parámetros no normados en la NCh 1333 y NCh 409.

#### 4.3.2 Análisis para aguas superficiales

Los resultados obtenidos de los parámetros oxígeno disuelto, pH y turbiedad en la campaña de muestreo fueron comparados de manera referencial respecto de los límites permisibles para Vida acuática y Recreación con contacto directo de la Norma NCh 1.333 Of78 modificada en 1987, Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.

Además, se definen rangos teóricos de calidad de agua para los parámetros no normados en la NCh 1333.

El estado trófico de las aguas en estudio fue clasificado según los resultados obtenidos en los parámetros fósforo total, nitrógeno total, clorofila "a", y transparencia (disco Secchi) de acuerdo con lo señalado por Smith et al. (1999). En la tabla continuación se entrega esta clasificación.

**TABLA 5. RANGO DE VALORES DE CADA PARÁMETRO CORRESPONDIENTE A CADA ESTADO. SMITH ET AL. 1999.**

Condición trófica	Fósforo total (ug/L)	Nitrógeno total (ug/L)	Clorofila "a" (ug/L)	Transparencia (m)
<b>Oligotrofia</b>	<10	<350	<3,5	>4
<b>Mesotrofia</b>	10 - 30	350 - 650	3,5 - 9	2 - 4
<b>Eutrofia</b>	30 - 100	650 - 1200	9 - 25	1 - 2
<b>Hipereutrofia</b>	>100	>1200	>25	>1

Como aproximación a la determinación del nutriente limitante se utilizó la relación de Redfield (Redfield, 1958 y Redfield et al., 1963), la cual indica que la proporción molar de nitrógeno y fósforo en la biomasa de fitoplancton es 16:1, lo cual en masa es 7,2:1 gramos. Por lo tanto, si la relación N:P es superior a 7,2 el nutriente limitante es el fósforo, caso contrario es el nitrógeno.

#### 4.3.3 Análisis para fitoplancton

Con los resultados de laboratorio se realizó un análisis comunitario, estimándose los siguientes índices ecológicos:

- Riqueza (S): Se estimó la cantidad de diferentes especies o taxa presentes en cada ensamble biológico, para cada estación de muestreo, el cual es obtenido por un censo de la comunidad del ensamble biológico analizado.
- Índice de diversidad Shannon – Wiener (H'): Este índice mide la incertidumbre de una población. De este modo, una elevada diversidad implica una alta incertidumbre. El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y el logaritmo natural (S), tendiendo a cero en comunidades poco diversas. La fórmula aplicada para determinar este índice es:

$$H' = -\sum_{i=1}^S (p_i) \ln(p_i) \quad (\text{nats/ind})$$

Dónde:

S: número de especies

pi: proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i):  $n_i/N$

$n_i$ : número de individuos de la especie i

N: número de todos los individuos de todas las especies

- Índice de dominancia de Simpson (D): Representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. La fórmula para el índice de Simpson es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Dónde:

S es el número de especies

N es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)

n es el número de ejemplares por especie

- Índice de equidad de Pielou (J): La equidad es la medida de la distribución de la abundancia de las especies, su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes. En este estudio se utilizó la siguiente fórmula:

$$J = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Donde  $H'$  es el valor del índice de Shannon – Wiener, y  $H'_{\max}$  es el valor máximo de este índice dado por el logaritmo natural de (S), donde “S” es la riqueza de taxa o riqueza de especies (Krebs, 1999).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Resultados para aguas subterráneas

En las tablas a continuación se presentan los resultados de los parámetros registrados en terreno y se compilan los resultados de los análisis realizados en laboratorio, en el Anexo 2 se entregan los informes de ensayo del laboratorio de análisis.

Se desarrolló el muestreo y medición en terreno el día 16 de septiembre de 2020 en los 6 pozos escogidos en la comuna de Quillón.



FIGURA 7. MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN POZO 4, ESSBIO MALLA 1.



FIGURA 8. MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD EN POZO 4, ESSBIO MALLA 1.

De la medición en terreno se desprenden los siguientes resultados:

TABLA 6. PARÁMETROS MEDIDOS EN TERRENO

ESTACIONES	Pozo 1 APR Chillancito de Quillón	Pozo 2 APR Villa Tennessee	Pozo 3 Cendyr Náutico	Pozo 4 ESSBIO Malla 1	Pozo 5 ESSBIO Malla 3 Municipal	Pozo 6 Puntera Parcela Quillón
pH	7,1	6,05	6,21	6,69	6,83	6,2
ORP (mV)	59,7	198	318	89,8	22,2	290,4
Saturación de Oxígeno (%)	40	11	15	31,3	57,6	72,8
OD (mg/L)	3,7	0,99	1,2	2,97	5,32	6,98
CE (uS/cm)	515	138	219	316	266	322
Temperatura (°C)	16,59	17,25	15,69	17,14	17,98	16,57
Profundidad (m)	8,5	9,9	Sin acceso*	5,7	5	Sin acceso*

Sin acceso: No hay forma de introducir la sonda del pozometro al pozo, por las construcciones propias de dichos pozos.

Los parámetros a analizar en laboratorio se enviaron a la empresa Hidrolab, cuyos resultados son los siguientes:

TABLA 7. PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO

ESTACIONES	Pozo 1 APR Chillancito de Quillón	Pozo 2 APR Villa Tennessee	Pozo 3 Cendyr Náutico	Pozo 4 ESSBIO Malla 1	Pozo 5 ESSBIO Malla 3 Municipal	Pozo 6 Puntera Parcela Quillón	LD
Boro (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
Cloruros (mg/L)	90,3	5,07	15,2	16,8	11,2	14,6	0,5
Fosfatos (mg/L)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,003
Nitrógeno amoniacoal (mg/L)	0,27	0,22	0,13	0,23	0,41	0,21	0,1
Nitrato (mg/L)	0,1	<0,1	6,28	2,12	1,48	0,1	0,1
Ph	7,52	6,87	7,02	7,42	7,51	7,01	-
Sílice total (mg/L)	38,7	58,5	54,8	47,4	54,5	57,7	0,1
Sulfato (mg/L)	<5	<5	8,64	27,2	16,5	13,7	5
Plata (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Aluminio (mg/L)	0,053	0,044	0,038	<0,01	0,034	0,022	0,01
Arsénico (mg/L)	0,007	<0,0005	<0,0005	0,001	0,003	<0,0005	0,0005
Bario (mg/L)	0,112	0,039	0,015	0,013	0,014	0,013	0,01

Berilio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Bismuto (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Calcio (mg/L)	19,7	11,4	13,1	16,1	16	23,6	0,01
Cadmio (mg/L)	<0,0005	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Cobalto (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Cromo (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Cobre (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Hierro (mg/L)	1,31	0,174	0,042	0,275	2,04	0,029	0,0005
Mercurio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Potasio (mg/L)	2,5	1,84	3,8	3,87	4,06	2,61	0,01
Litio (mg/L)	0,006	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Magnesio (mg/L)	3,967	4,5	15,2	25,3	22,1	27,2	0,01
Manganeso (mg/L)	0,179	0,002	0,013	0,25	0,576	0,004	0,0003
Molibdeno (mg/L)	0,01	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Sodio (mg/L)	98,3	12,6	11	17,8	14,4	12	0,05
Níquel (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Plomo (mg/L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Antimonio (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Selenio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Estaño (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Estroncio (mg/L)	0,126	0,118	0,091	0,09	0,095	0,126	0,01
Vanadio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	0,01	0,012	<0,0005	0,01	0,0005
Cinc (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,002	<0,0005	<0,0005	0,0005
Alcalinidad (mg/L)	148	72,7	69,8	121	116	161	1
Bicarbonatos (mg/L)	148	72,7	69,8	121	116	161	1
Conductividad (uS/cm)	564	149	239	343	286	349	1
Sólidos disueltos totales (mg/L)	386	103	124	163	138	161	3

## 5.2 Resultados para aguas superficiales

En las tablas a continuación se presentan los resultados de los parámetros registrados en terreno y se compilan los resultados de los análisis realizados en laboratorio, en el Anexo 2 se entregan los informes de ensayo del laboratorio de análisis.

Se desarrolló el muestreo y medición en terreno el día 15 de septiembre de 2020 en los 10 puntos escogidos en la Laguna Avendaño.

Durante el día de muestreo se presentó viento moderado en la mañana a calmo después del medio día.



FIGURA 9. LAGUNA AVENDAÑO, CONDICIONES MUESTREO DURANTE LA MAÑANA.





FIGURA 10. LAGUNA AVENDAÑO, CONDICIONES DE MUESTREO DURANTE LA TARDE.

La profundidad total de las estaciones muestreadas se encontró entre 1,5 y 23 metros. La transparencia registrada mediante un disco Secchi se registró entre 1 y 3 metros. El pH se registró en rangos levemente alcalinos, entre 7,24 y 8,62 de acuerdo en lo registrado en terreno y entre 7,26 y 8,47 de acuerdo con los resultados de laboratorio.

La menor concentración de oxígeno disuelto se registró en la estación 6 en la muestra correspondiente al estrato profundo con 6,53 mg/L, mientras la mayor concentración se registró en la estación 3 estrato profundo con 10,64 mg/L. La concentración de oxígeno disuelto promedio considerando las 10 estaciones y ambas muestras (superficial y de estrato profundo) fue 9,08 mg/L con una desviación estándar de 1,37 mg/L.

La conductividad específica registrada en terreno en promedio fue 131,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una desviación estándar de 5,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la conductividad específica registrada en laboratorio en promedio fue de 151,65  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una desviación estándar de 9,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La temperatura de las muestras en terreno fluctuó entre 12,6 y 15,6°C. La turbidez o turbiedad medida en terreno fluctuó entre 0 y 5,2 NTU.

De los parámetros analizados en laboratorio, el fosfato, fósforo total, y coliformes fecales se encontraron bajo el límite de detección (LD) del método analítico del laboratorio para las 20 muestras. El nitrato y el nitrito se registraron en una muestra sobre el LD con concentraciones de 0,1 y 0,006 mg/L respectivamente. El nitrógeno Kjeldahl en promedio fue de 1,02 mg/L con una desviación estándar de 0,30 mg/L esto considerando las 20 muestras. La clorofila "a" se registró sobre el LD en tres muestras con concentraciones entre 11,2 y 11,9 mg/m<sup>3</sup> equivalente a ug/L, el resto de las muestras se encontraron bajo el LD.

TABLA 8. PARÁMETROS MEDIDOS EN TERRENO

ESTACIONES	1 S	1 P	2 S	2 P	3 S	3 P	4 S	4 P	5 S	5 P	6 S	6 P	7 S	7 P	8 S	8 P	9 S	9 P	10 S	10 P
Profundidad total (m)	-	3,5	-	3,5	-	2	-	1,5	-	8	-	23	-	5	-	5	-	20	-	3
Profundidad de muestreo (m)	-	3	-	3	-	1	-	0,8	-	7	-	21	-	4	-	4	-	18	-	1,2
Transparencia (m)	-	3	-	3	-	1	-	1	-	2,5	-	2	-	3	-	3	-	2,5	-	1,5
pH	7,6	7,7	7,6	7,7	8,08	8	7,8	7,53	7,84	7,4	7,72	7,24	7,86	7,88	8,62	8,56	7,69	7,46	8,19	7,98
ORP (mV)	249,2	247,5	184,3	208,4	228	230,6	212,9	235,7	302,1	297,1	265,5	281,6	227,6	212,1	242,6	240	182,8	187,5	264,6	271
Saturación de Oxígeno (%)	87,2	88,3	67,2	65,3	106	102,5	97,7	67,8	96	78,9	98,8	65,1	99,6	92,1	110,2	112,1	92,1	81	103,8	93,1
OD (mg/L)	9,06	9,18	7	6,83	10,5	10,64	9,95	6,76	9,84	8,17	10,16	6,53	9,91	9,11	10,56	10,38	9,48	8,25	10,2	9,18
CE (uS/cm)	131	132	130	132	132	131	132	133	131	134	132	134	132	131	128	128	132	134	146	115
Temperatura (°C)	12,93	12,92	12,82	12,81	13,7	13,45	13,4	12,6	13,46	12,9	13,25	13	14,34	14,71	15,6	15,31	13,1	12,74	14,25	13,92
Turbidez (NTU)	0	1,27	0	2,69	0	0	0	0	0,22	1,91	0	5,2	0	0,23	0	0,08	0	0	0	0

TABLA 9. PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO

ESTACIONES	1 S	1 P	2 S	2 P	3 S	3 P	4 S	4 S	5 S	5 P	LD
Fosfatos (mg/L)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,003
Nitrato (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Nitrito (mg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002
Nitrógeno Kjeldahl (mg/L)	1,38	1,31	1,44	1,15	1,1	1,2	0,88	0,807	0,944	0,77	0,1
Nitrógeno total (mg/L)	1,38	1,31	1,44	1,15	1,1	1,2	0,88	0,807	0,944	0,77	0,1
pH	7,73	7,68	7,87	7,68	7,89	8,18	7,9	7,92	7,8	7,48	-
Fósforo total (mg/L)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,003
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	1,8
Clorofila <sup>a</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	<10	<10	<10	<10	11,3	11,2	<10	11,9	<10	<10	10
Conductividad (uS/cm)	146	150	147	148	146	147	147	147	147	149	1

ESTACIONES	6 S	6 P	7 S	7 P	8 S	8 P	9 S	9 P	10 S	10 P	LD
------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	----

<b>Fosfatos (mg/L)</b>	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,003
<b>Nitrato (mg/L)</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	<0,01	<0,01	0,01
<b>Nitrito (mg/L)</b>	<0,002	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002
<b>Nitrógeno Kjeldahl (mg/L)</b>	0,839	0,897	0,817	0,915	0,966	0,846	1,01	1,23	0,925	0,876		0,1
<b>Nitrógeno total (mg/L)</b>	0,839	0,903	0,817	0,915	0,966	0,846	1,01	1,33	0,925	0,876		0,1
<b>pH</b>	7,87	7,37	7,92	7,66	8,47	8,35	7,85	7,26	8,27	7,95		-
<b>Fósforo total (mg/L)</b>	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,003
<b>Coliformes fecales (NMP/100 mL)</b>	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	1,8
<b>Clorofila <sup>a</sup> (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10
<b>Conductividad (uS/cm)</b>	147	149	146	148	174	173	147	146	165	164		1

### 5.3 Resultados para fitoplancton

En la Tabla 10 se entregan los resultados de laboratorio de la campaña de terreno de septiembre de 2020. Contemplando las diez estaciones de muestreo del Proyecto, y las muestras subsuperficiales y las del estrato profundo, se registró un total de 25 taxa de especies fitoplanctónicas. En dichas estaciones y muestras, se registraron nueve Clases, siendo las que presentaron mayor riqueza, la clase Bacillariophyceae con nueve taxa, la clase Cyanophyceae con cuatro clases, y las clases Chlorophyceae y Zygnematoephyceae ambas con tres taxa. La clase Dinophyceae se presentó con dos taxa. Las clases Coscinodiscophyceae, Crysoephyceae, Trebouxiophyceae y Oocystaceae presentaron un taxón cada una. La abundancia total estimada presentó el valor más elevado en la estación/muestra 5S (estación 5 muestra superficial) con 268,1 cél/ml, mientras que el menor valor se registró en la estación/muestra 8S con 17,5 cél/ml.

Los géneros más abundantes fueron *Fragilaria* con 186,1 cél/ml (en 5S), seguido de *Monoraphidium* con 31,1 cél/ml (en 2S) y *Closteriopsis* con 29,8 cél/ml (en 2S). En la Figura 11 se presentan observaciones de campo visual en laboratorio de *Aphanocapsa*, *Asterionella*, *Aulacoseira*, *Ceratium*, *Closteriopsis*, *Closterium*, *Cymbella* y *Dictyosphaerium*. En la Figura 12, presentan observaciones de campo visual en laboratorio de *Dinobryon*, *Epithemia*, *Fragilaria*, *Microcystis*, *Monoraphidium*, *Peridinium*, *Scenedesmus* y *Ulnaria*.

Clase	Taxa	Estaciones de muestreo																			
		1S	1P	2S	2P	3S	3P	4S	4P	5S	5P	6S	6P	7S	7P	8S	8P	9S	9P	10S	10P
Bacillariophyceae	<i>Asterionella</i>		2,8	16,9	7,4	3,7		5,0	3,3	4,2	6,9			9,1	8,9	0,8	5,6	2,5	15,6		
Bacillariophyceae	<i>Cymbella</i>	0,9	1,9		3,0			6,7	4,4	4,2	2,7			2,6	5,9	0,8	3,7				
Bacillariophyceae	<i>Cyclotella</i>		7,4																		
Bacillariophyceae	<i>Epithemia</i>		3,7											3,9	7,4						
Bacillariophyceae	<i>Fragilaria</i>	11,1	91,7		158,5	33,3	62,0	91,7	94,4	186,1	160,3	70,0	78,9	76,5	71,1	5,0	13,9	23,3	124,4		
Bacillariophyceae	<i>Navicula</i>	1,9	0,9													0,6	3,7				
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia</i>	9,3		1,3																	
Bacillariophyceae	<i>Pennada</i>	3,7	3,7	2,6						13,9	16,4	1,1	3,3							3,3	5,6
Bacillariophyceae	<i>Ulnaria</i>	2,8	3,7	5,2	3,0	6,5	8,3		3,3	4,2	6,9			5,2	8,9	1,1	5,6	1,1	6,5	3,3	6,7
Cyanophyceae	<i>Aphanocapsa</i>		8,3													0,8	4,6	1,7	14,3		
Cyanophyceae	<i>Sphaerocystis</i>							13,3		5,6	9,6					2,2	10,2				
Cyanophyceae	<i>Microcystis</i>	12,0	0,9	6,5										14,3	23,7	3,9	14,8				
Cyanophyceae	<i>Scenedesmus</i>		0,9											3,9	3,0						
Chlorophyceae	<i>Monoraphidium</i>	7,4	0,9	31,1	22,2	5,6	17,6	5,0	18,9	16,7	12,3	3,3	5,6	16,9	22,2						
Chlorophyceae	<i>Chlamydomona</i>							10,0		9,7	11,0	6,7	8,9	9,1	13,3					5,8	10,0
Chlorophyceae	<i>Coelastrum</i>									1,4	4,1										
Zygnematophyceae	<i>Staurastrum</i>		1,9											1,3	4,4						
Zygnematophyceae	<i>Mougeotia</i>													1,3	4,4						
Zygnematophyceae	<i>Closterium</i>						0,9														
Dinophyceae	<i>Ceratium</i>		2,8	2,6		4,6	3,7	8,3				3,3	5,6	7,8	7,4	0,8	3,7	1,1	9,1	3,3	5,6
Dinophyceae	<i>Peridinium</i>					2,8	18,5	3,3		5,6	8,2	2,2	3,3			0,8	1,9			5,0	8,9
Trebouxiophyceae	<i>Dictyosphaerium</i>	0,9		1,3				3,3													
Coccinodiscophyceae	<i>Aulacoseira</i>							3,3	1,1												
Crysofitophyceae	<i>Dinobryon</i>	1,9		2,6		2,8	5,6	6,7	7,8	16,7	15,1	3,3	4,4	5,2	8,9	0,6	3,7	0,8	2,6		
Oocystaceae	<i>Closteriopsis</i>	3,7		29,8	8,9	13,0		10,0													
<b>Densidad total (cél/ml)</b>		<b>55,6</b>	<b>131,5</b>	<b>99,8</b>	<b>203,0</b>	<b>72,2</b>	<b>116,7</b>	<b>166,7</b>	<b>133,3</b>	<b>268,1</b>	<b>253,5</b>	<b>90,0</b>	<b>110,0</b>	<b>156,9</b>	<b>189,6</b>	<b>17,5</b>	<b>71,3</b>	<b>30,6</b>	<b>172,4</b>	<b>20,8</b>	<b>36,7</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>11</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Diversidad de Shannon – Wiener (H')</b>		<b>2,10</b>	<b>1,31</b>	<b>1,75</b>	<b>0,82</b>	<b>1,66</b>	<b>1,39</b>	<b>1,72</b>	<b>1,02</b>	<b>1,26</b>	<b>1,46</b>	<b>0,90</b>	<b>1,08</b>	<b>1,84</b>	<b>2,10</b>	<b>2,07</b>	<b>2,21</b>	<b>0,91</b>	<b>1,00</b>	<b>1,58</b>	<b>1,58</b>
<b>Dominancia de Simpson (D)</b>		<b>0,15</b>	<b>0,50</b>	<b>0,22</b>	<b>0,63</b>	<b>0,27</b>	<b>0,34</b>	<b>0,33</b>	<b>0,53</b>	<b>0,49</b>	<b>0,42</b>	<b>0,62</b>	<b>0,53</b>	<b>0,27</b>	<b>0,19</b>	<b>0,17</b>	<b>0,13</b>	<b>0,60</b>	<b>0,54</b>	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>
<b>Equidad de Pielou (J)</b>		<b>0,87</b>	<b>0,50</b>	<b>0,76</b>	<b>0,46</b>	<b>0,80</b>	<b>0,72</b>	<b>0,69</b>	<b>0,53</b>	<b>0,52</b>	<b>0,61</b>	<b>0,46</b>	<b>0,56</b>	<b>0,72</b>	<b>0,82</b>	<b>0,86</b>	<b>0,92</b>	<b>0,51</b>	<b>0,56</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>

TABLA 10. ABUNDANCIA DE FITOPLANCTON (CÉL/ML)

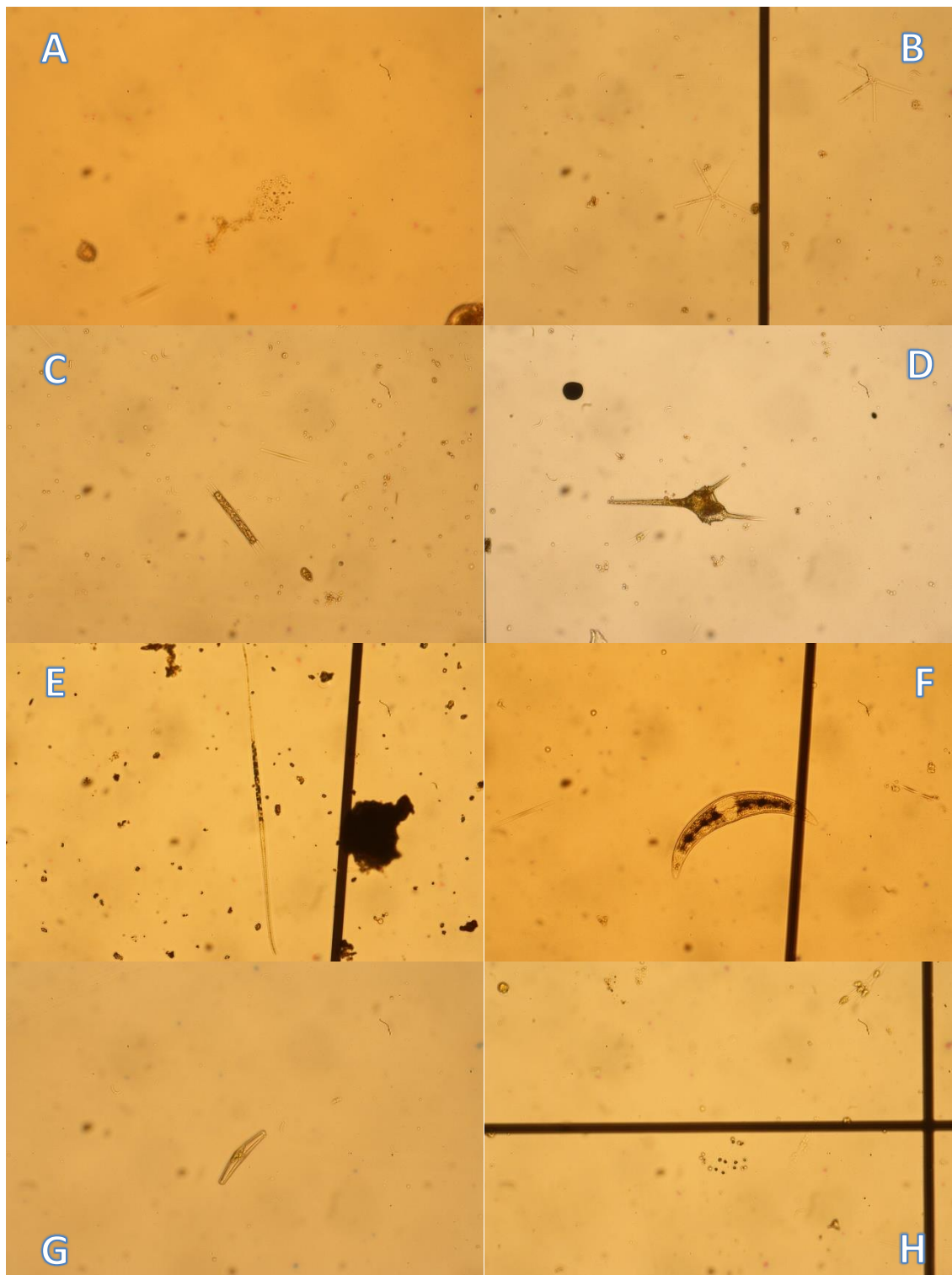


FIGURA 11. DETALLE *APHANOCAPSA* 20x (A), *ASTERIONELLA* 20x (B), *AULACOSEIRA* 20x (C), *CERATIUM* 20x (D), *CLOSTERIOPSIS* 20x (E), *CLOSTERIUM* 20x (F), *CYMBELLA* 20x Y *DICTYOSPHAERIUM* 20x (H)

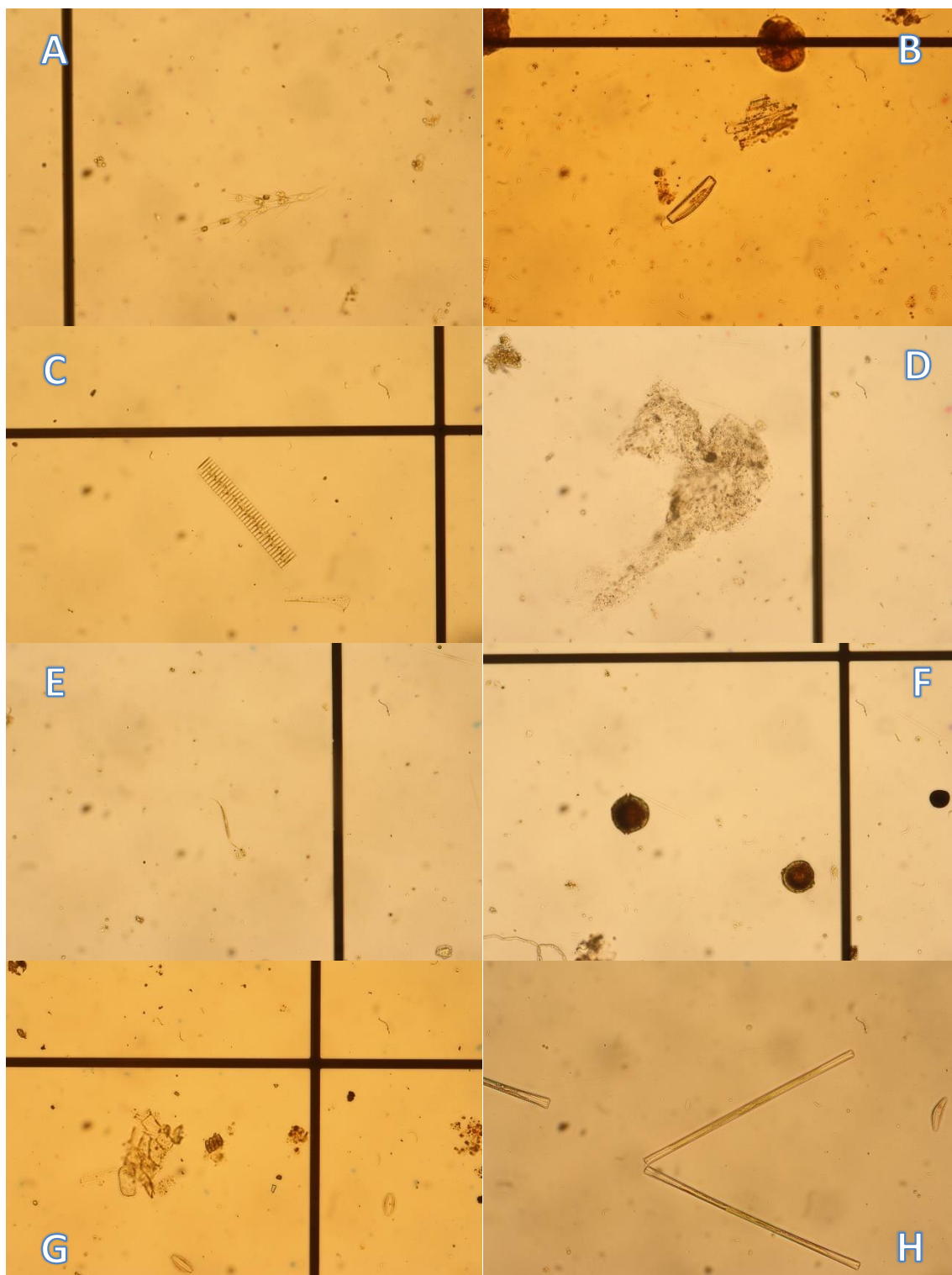


FIGURA 12. DETALLE *DINOBRYON* 20X (A), *EPITHEMIA* 20X (B), *FRAGILARIA* 20X (C), *MICROCYSTIS* 20X (D), *MONORAPHIDIUM* 20X (E), *PERIDIUM* 20X (F), *SCENEDESMUS* 20X (G) Y *ULNARIA* 20X (H)



## 6. ANALISIS Y DISCUSIONES

### 6.1 Aguas subterráneas

A continuación, se analizan los resultados obtenidos en las 6 muestras de aguas subterráneas de acuerdo con la norma NCh 1.333 Requisitos de calidad de agua para diferentes usos, en específico para su Uso en Riego y la NCh 409 Requisitos para agua potable.

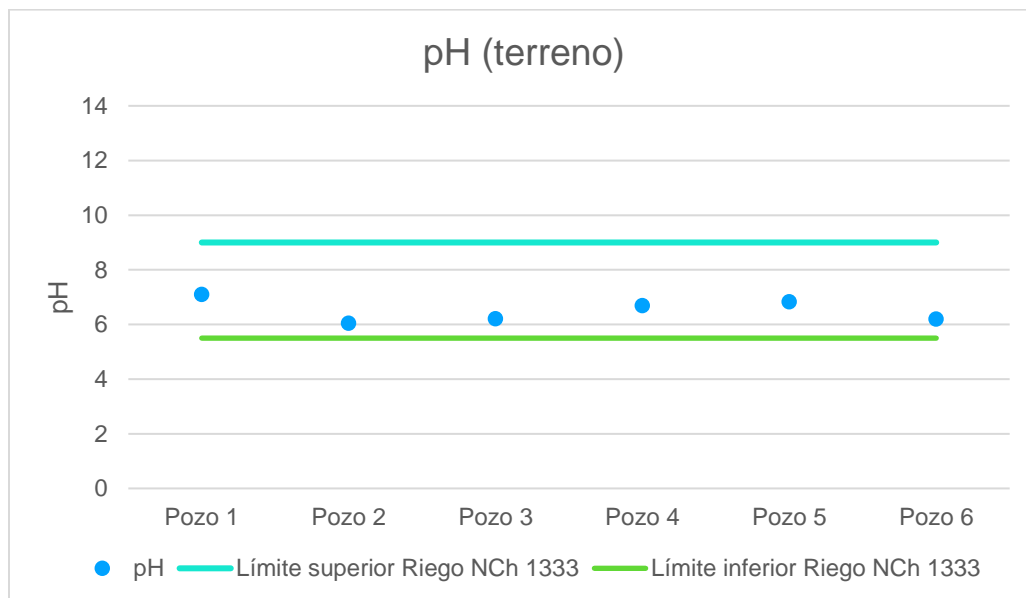
Además, se definen rangos teóricos de calidad de agua para los parámetros no normados en la NCh 1333 y NCh 409.

#### 6.1.1 Parámetros medidos en terreno

En aguas naturales y residuales el valor de pH define si las condiciones de esta son ácidas o básicas. Un pH menor de 7.0 indica acidez en el agua cuanto menor sea el valor del pH mayor es la concentración de iones de hidrógeno y mayor es la acidez. Por encima de un pH de 7.0 se tienen condiciones básicas en el agua. La concentración de iones de hidrógeno es baja y se dice que el agua es alcalina. Cuando el pH es de 7.0 se dice que el pH es neutro y el agua no tiene características ácidas ni alcalinas. En las aguas naturales, el valor de pH está en el rango de 6.0 a 8.0 unidades de pH, y estos valores son los más adecuados para la actividad biológica de los ecosistemas (Rocha, 2010).

Los resultados para los 6 pozos fluctúan entre 6,05 a 7,1 (6,87 a 7,52 en laboratorio), lo que representa valores adecuados para la actividad biológica y se cumple con la norma NCh 1333 para el uso en riego y la NCh 409 Requisitos para agua potable.

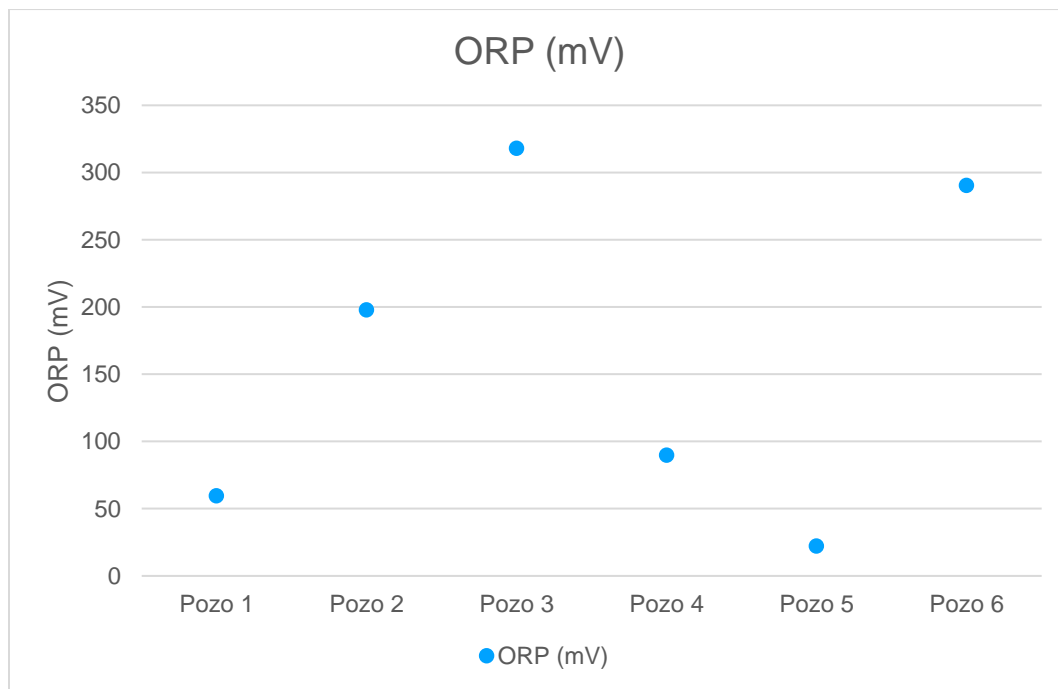
GRÁFICO 1. PH



El potencial redox del agua mide la predisposición que tienen algunos componentes para oxidarse o reducirse en relación al medio en que se encuentran (Lohn, 1998).

Los valores de ORP indicarían que para el periodo subsisten condiciones reductoras en el acuífero en los pozos 1, 2, 4 y 5 debido, entre otros factores, al desplazamiento (natural o inducido) del agua subterránea y a la cantidad y calidad de los aportes externos (efluentes y disposición de residuos industriales, excedentes del riego, aportes de fertilizantes, otros compuestos y nutrientes) (Lohn, 1998).

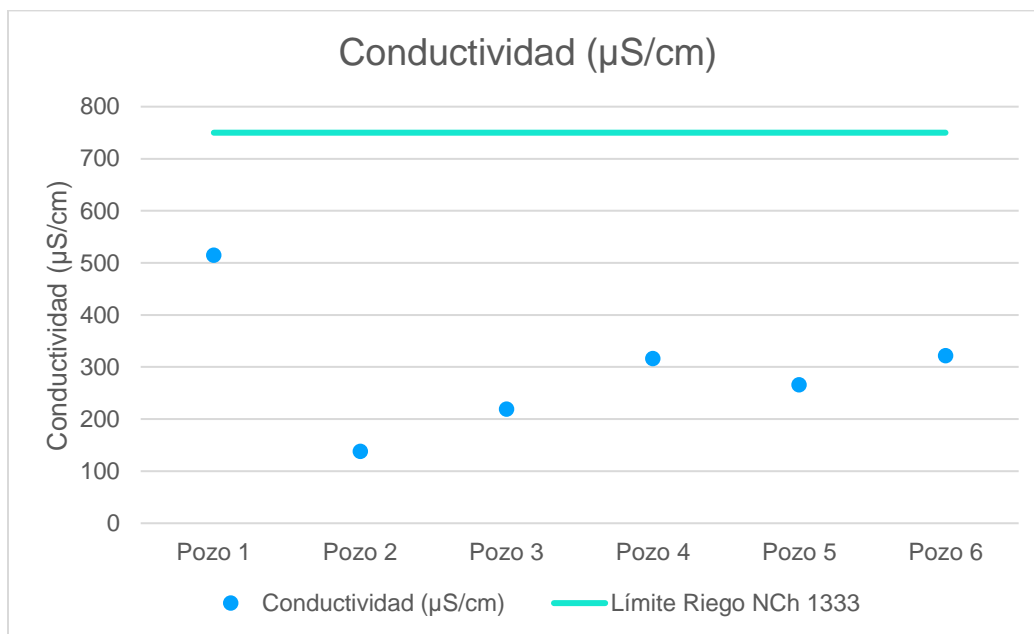
**GRÁFICO 2. POTENCIAL ÓXIDO-REDUCCIÓN**



La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, por lo tanto, es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua, proviene de un ácido, una base o una sal disociada en iones. La conductividad y la dureza de las aguas también son 2 parámetros cuyos valores están, en general bastante relacionados, ya que las sales de calcio y magnesio son las más abundantes en la naturaleza y, en ausencia de aportes ajenos al sustrato por el que discurren, la conductividad de las aguas se debe a la concentración de las sales de estos cationes en las mismas. La conductividad y la dureza reflejan a su vez, el grado de mineralización de las aguas y su productividad potencial (Rocha, 2010).

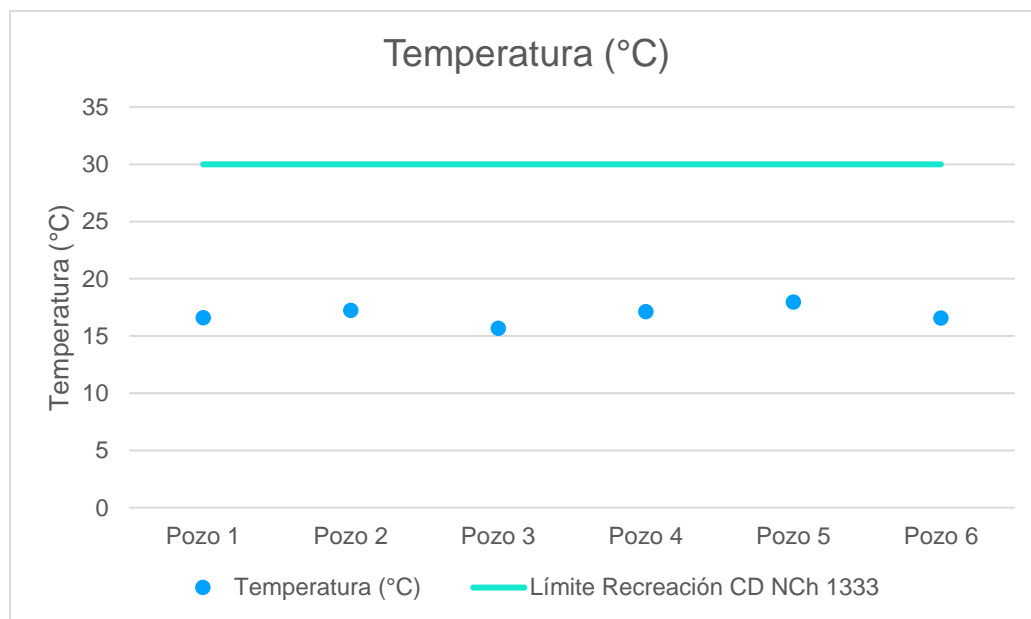
El agua de los pozos de monitoreo cumpliría con la norma, ya que en ninguna estación se supera el límite de 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , según la NCh 1333 en el uso para riego.

GRÁFICO 3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



La temperatura se mantiene estable en los 6 pozos de monitoreo entre los 15,69°C y los 17,98°C, muy por debajo de los 30°C establecidos en la NCh 1333, para su uso en riego.

GRÁFICO 4. TEMPERATURA



### 6.1.2 Parámetros medidos en laboratorio

La totalidad de las muestras cumplen con lo indicado en la norma NCh 1333, a excepción de los pozos 4 y 5 que sobrepasan la norma para el parámetro Manganeseo.

Para el caso de la NCh 409, se cumple con lo indicado en la norma a excepción de los parámetros Manganeseo y Hierro. El manganeso sobrepasa la norma en los pozos 1,4 y 5. El hierro sobrepasa la norma en los pozos 1 y 5.

En la siguiente tabla se evidencian los límites y concentraciones obtenidas de cada parámetro en relación con la NCh 1333 y la NCh 409.

TABLA 11. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON NCh 1333 Y NCh 409

ESTACIONES	Pozo 1 APR Chillancito de Quillón	Pozo 2 APR Villa Tennessee	Pozo 3 Cendyr Náutico	Pozo 4 ESSBIO Malla 1	Pozo 5 ESSBIO Malla 3 Municipal	Pozo 6 Puntera Parcela Quillón	Límite NCh 1333. RIEGO.	Límite NCh 409
Boro (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,75	-
Cloruros (mg/L)	90,3	5,07	15,2	16,8	11,2	14,6	200	400
pH	7,52	6,87	7,02	7,42	7,51	7,01	5,5 - 9	6,5 - 8,5
Sulfato (mg/L)	<5	<5	8,64	27,2	16,5	13,7	250	500
Plata (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,2	-
Aluminio (mg/L)	0,053	0,044	0,038	<0,01	0,034	0,022	5	-
Arsénico (mg/L)	0,007	<0,0005	<0,0005	0,001	0,003	<0,0005	0,1	0,01
Bario (mg/L)	0,112	0,039	0,015	0,013	0,014	0,013	4	-
Berilio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,1	-
Cadmio (mg/L)	<0,0005	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,01	0,01
Cobalto (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,05	-
Cromo (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,1	0,05
Cobre (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,2	2
Hierro (mg/L)	1,31	0,174	0,042	0,275	2,04	0,029	5	0,3
Mercurio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	0,001
Litio (mg/L)	0,006	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	2,5	-
Manganeseo (mg/L)	0,179	0,002	0,013	0,25	0,576	0,004	0,2	0,1

Molibdeno (mg/L)	0,01	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,01	-
*Sodio porcentual (%)	0,79	0,42	0,26	0,28	0,25	0,18	35%	-
Níquel (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,2	-
Plomo (mg/L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	5	0,05
Selenio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,02	0,01
Vanadio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	0,01	0,012	<0,0005	0,01	0,1	-
Cinc (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,002	<0,0005	<0,0005	2	3
Conductividad (uS/cm)	564	149	239	343	286	349	750	-
Sólidos disueltos totales (mg/L)	386	103	124	163	138	161	500	1500
Magnesio (mg/L)	3,967	4,5	15,2	25,3	22,1	27,2	-	125
Nitrato (mg/L)	0,1	<0,1	6,28	2,12	1,48	0,1	-	50
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0,27	0,22	0,13	0,23	0,41	0,21	-	1,5

\*Se utiliza la fórmula descrita en la NCh 1333:  $Na\% = (Na / (Na + Ca + Mg + K)) * 100$

GRÁFICO 5. MANGANESO

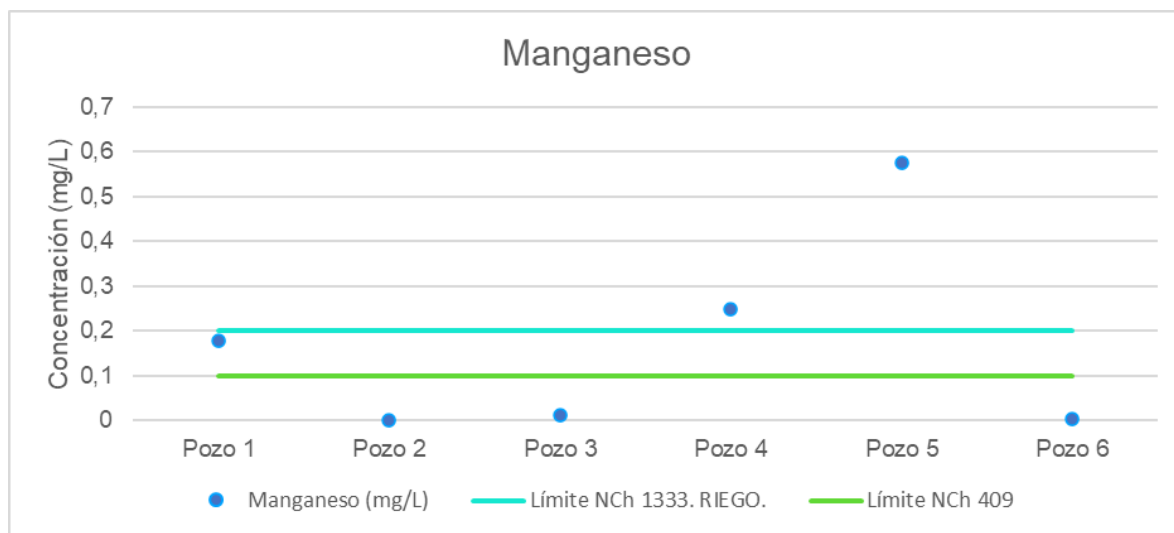
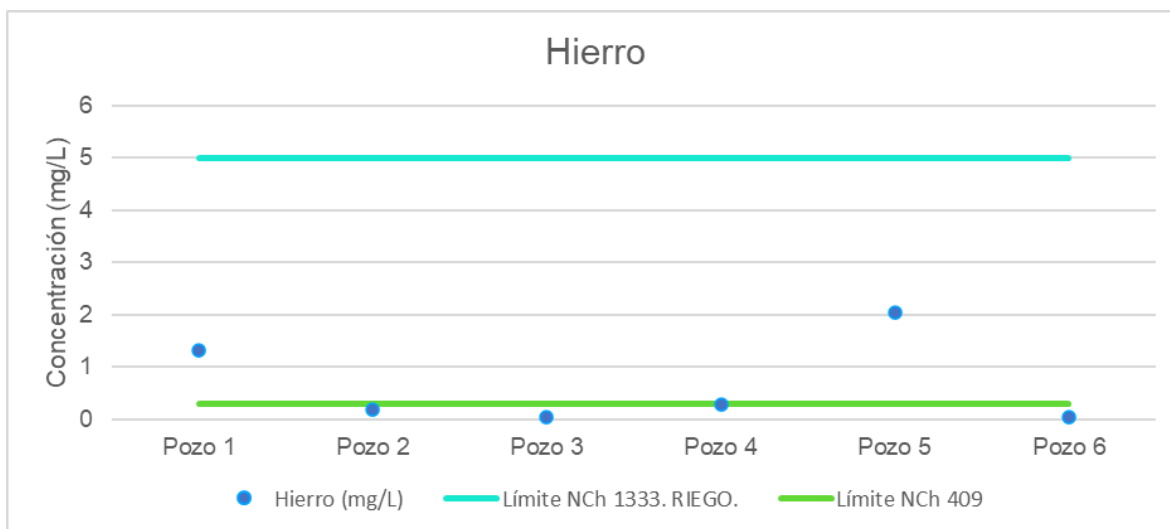


GRÁFICO 6. HIERRO

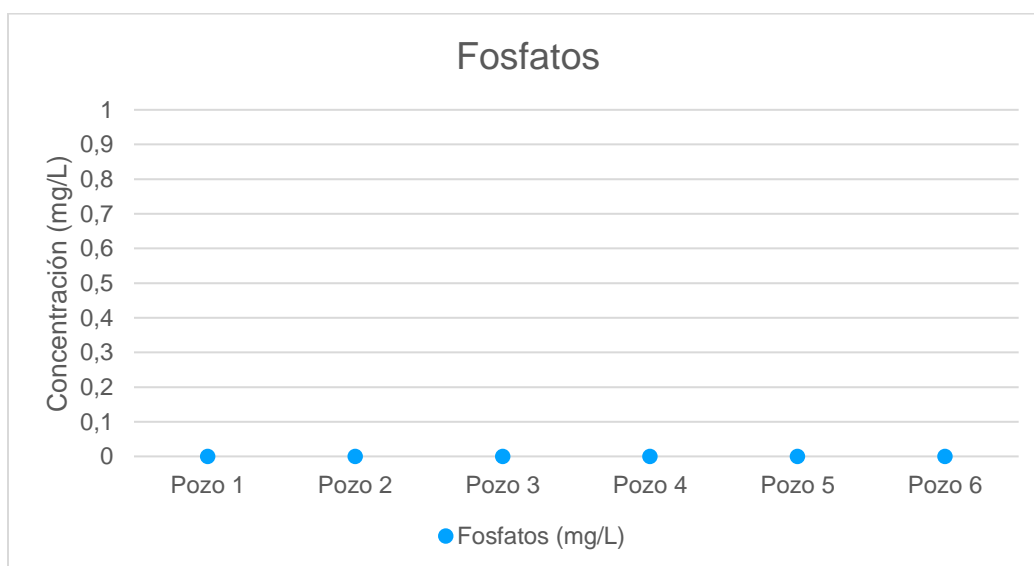


Otros parámetros de interés, pero que no están normados en la NCh 1333 se analizan a continuación:

Aunque el fósforo no presenta toxicidad en los seres vivos, la presencia de fosfatos en aguas potables indica la posibilidad de contaminación del acuífero por aguas contaminadas o aguas residuales (Rocha, 2010).

En los 6 pozos caracterizados, la presencia de fosfato es menor a 0,003 mg/L, por lo que la carga en el acuífero del parámetro es secundaria (Freeze et al, 1979).

GRÁFICO 7. FOSFATOS

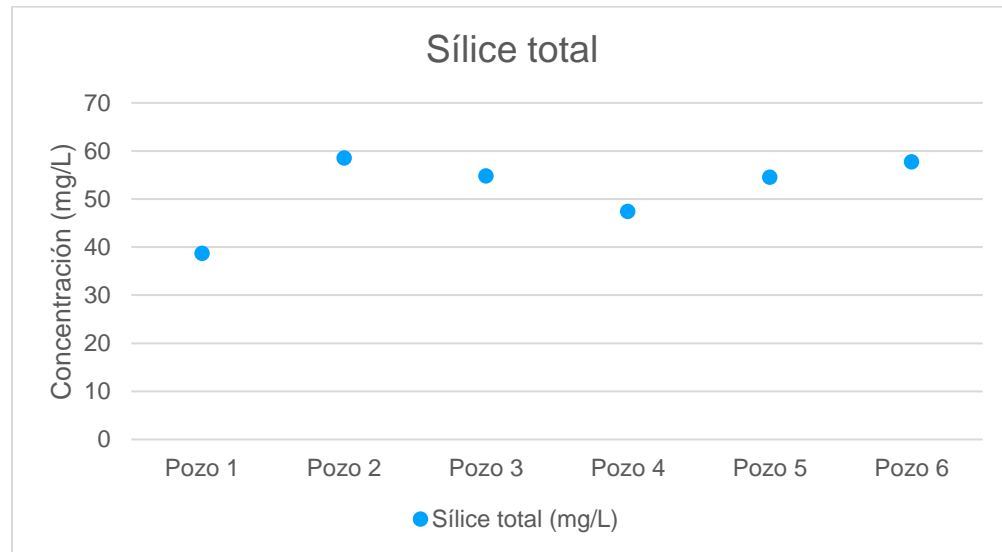


Por lo general la concentración de  $\text{SiO}_2$  en aguas subterráneas sobrepasa 3-8 mg/L (solubilidad del cuarzo a 25°C) pero en ocasiones puede aproximarse a 100 mg/L. El valor

medio, sin embargo, oscila entre 17 y 25 mg/L, valor en concordancia con los comúnmente encontrados en aguas subterráneas españolas (IGME, 2020).

La sílice total fluctúa entre 38,7 y 58,5 mg/L en la caracterización de los 6 pozos, encontrándose en rangos normales según la bibliografía citada.

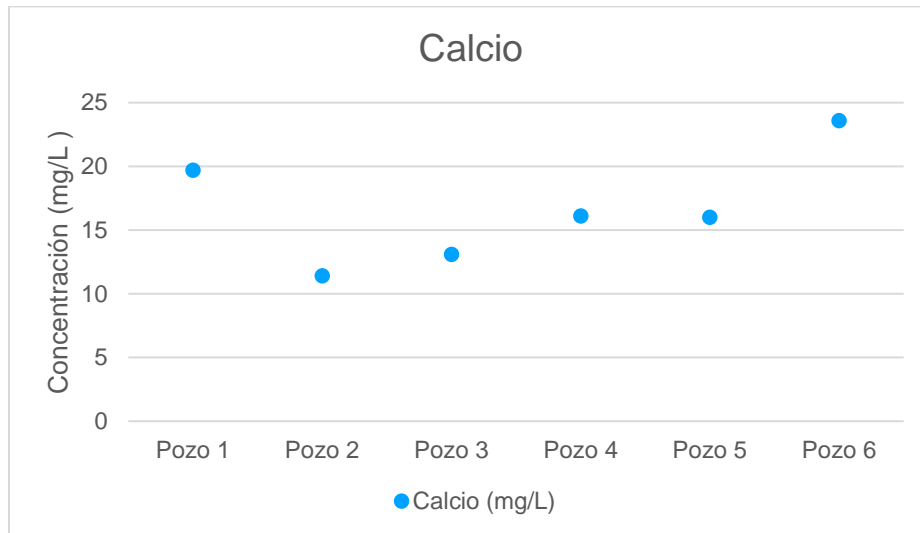
**GRÁFICO 8. SÍLICE TOTAL**



El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. La concentración de calcio varía ampliamente en las aguas subterráneas. Concentraciones entre 10 y 250 mg/L son frecuentes en aguas dulces (IGME, 2020).

El ión Calcio varía entre 11,4 y 23,6 mg/L en los pozos monitoreados, concentraciones poco significativas en relación con el rango descrito en la bibliografía.

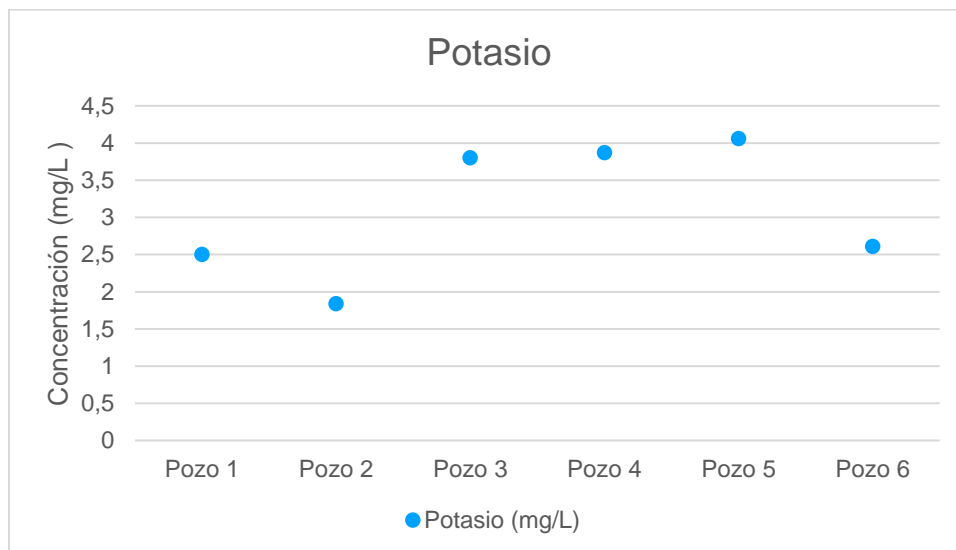
GRÁFICO 9. CALCIO



En aguas subterráneas el contenido de potasio no suele sobrepasar los 10 mg/L (IGME, 2020).

El ión potasio varía entre 1,84 y 4,06 mg/L para los pozos monitoreados no sobrepasando los 10 mg/L descritos en la bibliografía.

GRÁFICO 10. POTASIO



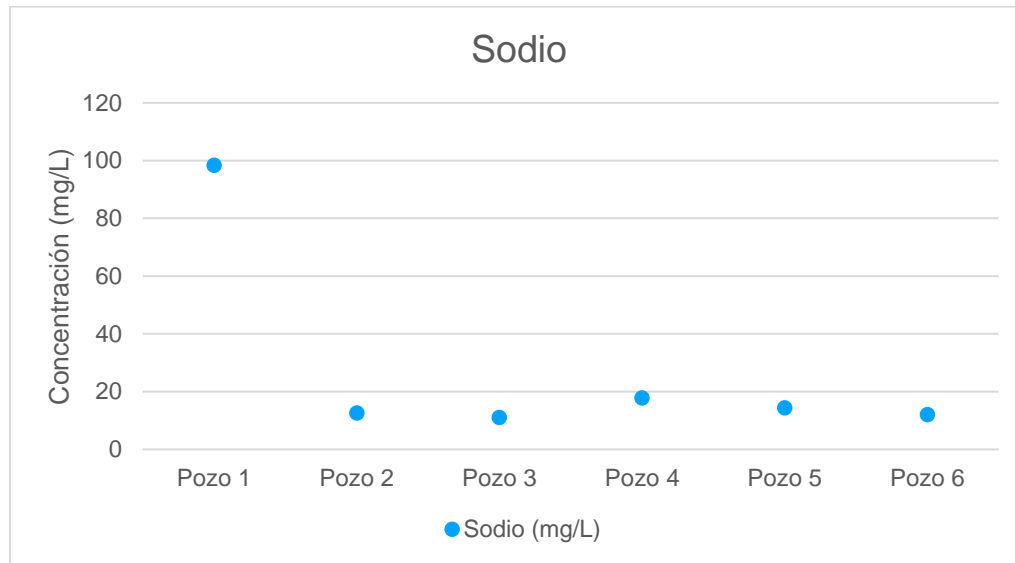
El sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita ( $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$ ) y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl. La presencia de sodio en cantidades elevadas es muy perjudicial para la agricultura ya que tiende a impermeabilizar los suelos, especialmente en



zonas de drenaje deficiente, la presencia de calcio y magnesio atenúa ese efecto. La concentración de sodio en aguas naturales es muy variable, pudiendo alcanzar hasta 120.000 mg/L en zonas evaporíticas; sin embargo, raramente sobrepasa 100 ó 150 mg/L en aguas dulces normales.

El ión sodio varía entre 11 y 98,3 mg/L para los pozos monitoreados no sobrepasando los 100 mg/L descritos en la bibliografía.

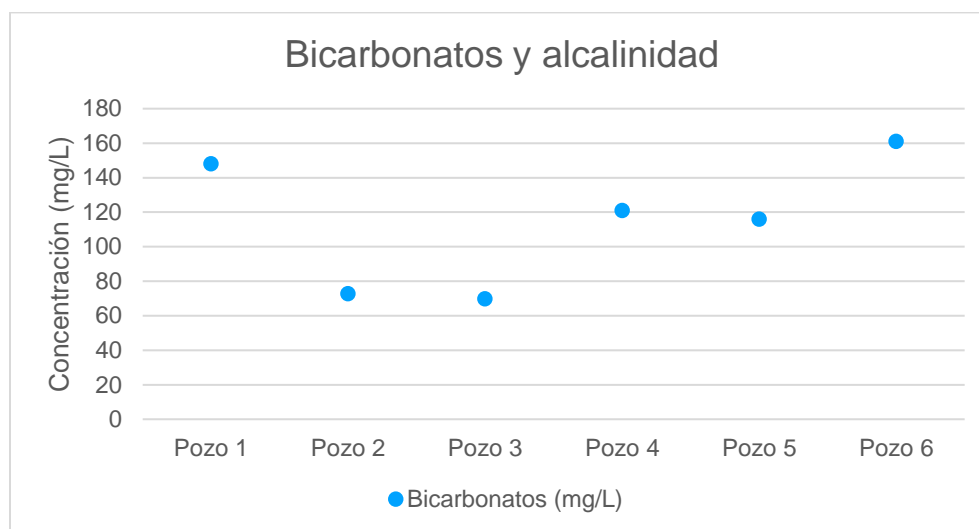
GRÁFICO 11. SODIO



Los bicarbonatos al igual que la alcalinidad ya que ambos están medidos como mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , presentan concentraciones que varían entre 50 y 400 mg/L en aguas con pH inferior a 8,3, donde la especie carbonatada dominante es el ión bicarbonato (IGME, 2020).

El ión bicarbonato varía entre 69,8 y 161 mg/L para los pozos monitoreados estando en el rango de los 50 a 400 mg/L descritos en la bibliografía.

GRÁFICO 12. BICARBONATOS



Además, se analizan los parámetros Amoniaco, Nitrato y Magnesio, que no están normados en la NCh 1.333, pero si en la NCh 409.

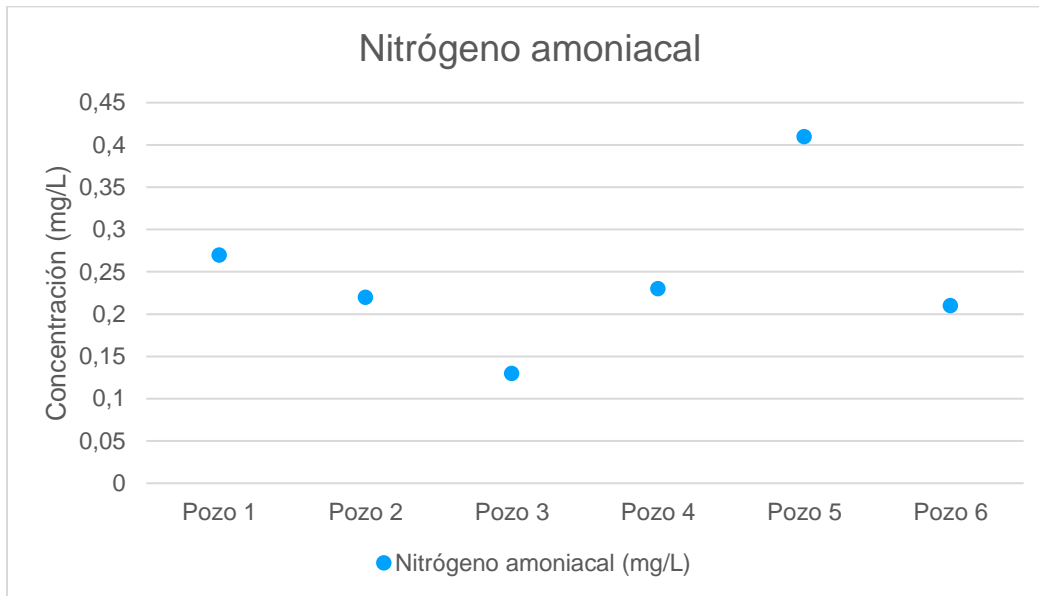
El nitrógeno puede aparecer en forma de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$  y por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en  $\text{N}_2$  (gas) y finalmente en  $\text{NO}_3^-$  que es la forma más usual y estable en que el nitrógeno se presenta en las aguas subterráneas. Los procesos de oxidación-reducción de las especies nitrogenadas en el agua están influenciados por fenómenos biológicos y en consecuencia, los productos finales dependerán del número y tipo de organismos que intervengan en ellos (IGME, 2020).

Generalmente el  $\text{NH}_4^+$  o el amoniac libre  $\text{NH}_3$  aparecen solo como trazas en aguas subterráneas naturales, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea (IGME, 2020).

Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana, su detección en cantidad significativa en el agua se considera como indicación de contaminación reciente probable (IGME, 2020).

La concentración del amoniac oscila entre 0,13 y 0,41 mg/L no siendo valores significativos que den indicios de contaminación en los 6 pozos monitoreados. La NCh 409 establece como límite máximo 1,5 mg/L.

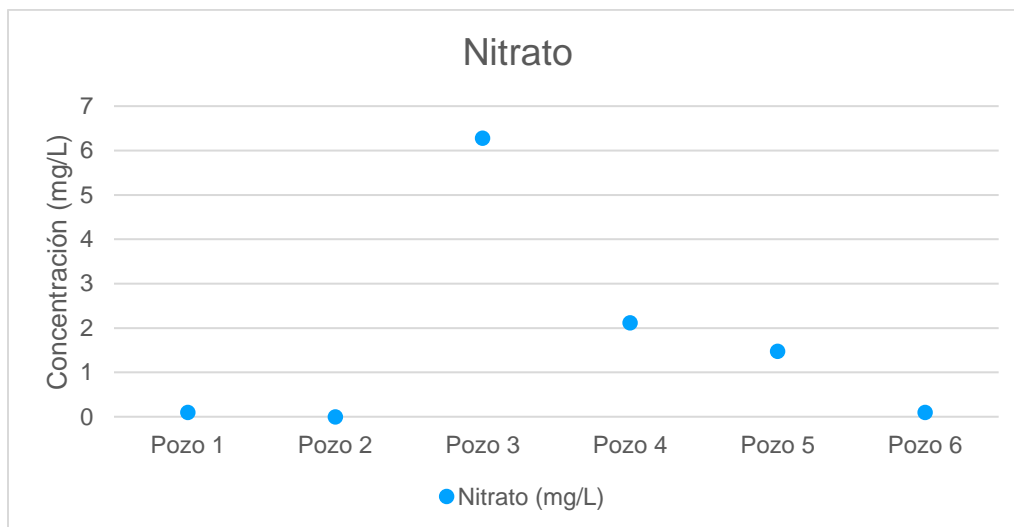
GRÁFICO 13. NITRÓGENO AMONICAL



Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, o bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no contaminadas varía ampliamente, aunque no suele sobrepasar los 10 mg/L (IGME, 2020).

Los resultados para este parámetro oscilan entre <0,1 a 6,28 mg/L lo que permite concluir que no hay contaminación de las aguas subterráneas por este parámetro. La NCh 409, limita este parámetro en 50 mg/L.

GRÁFICO 14. NITRATO

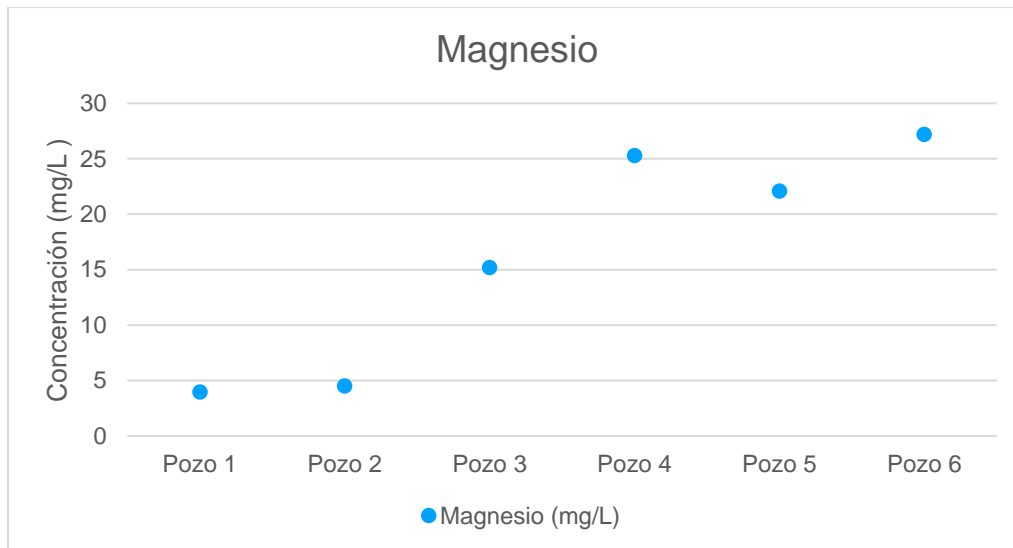


El magnesio en las aguas naturales procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos

ferromagnesianos, así como de agua marina. Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de magnesio en aguas subterráneas. En ellas el magnesio es retenido con preferencia al calcio en suelos y rocas. En aguas dulces naturales el contenido del ión magnesio no suele sobrepasar los 40 mg/L (IGME, 2020).

El ión magnesio varía entre 3,967 y 27,2 mg/L para los pozos monitoreados no sobrepasando los 40 mg/L descritos en la bibliografía. La NCh 409 limita este parámetro a 125 mg/L.

GRÁFICO 15. MAGNESIO



Los parámetros bismuto, antimonio, estaño y estroncio presentan resultados poco significativos, inclusive por debajo de los límites de detección, correspondiendo a constituyentes traza del agua subterránea.

## 6.2 Aguas superficiales

### 6.2.1 Parámetros medidos en terreno

El oxígeno disuelto en el agua es vital para la existencia de la mayoría de los organismos acuáticos. La concentración de OD en un ambiente acuático es un indicador importante de la calidad del agua ambiental. La diversidad de los organismos es mucho mayor a altas concentraciones de OD.

**TABLA 12. RANGOS DE CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO Y CONSECUENCIAS ECOSISTÉMICAS FRECUENTES**

OD (mg/L)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	Adecuada para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
8-12	Buena	Adecuada para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: Red MAPSA (2007).

Los factores que influyen en la concentración de OD: la temperatura, flujo de la corriente, presión del aire, plantas acuáticas, materia orgánica en descomposición y actividad humana.

Como resultado de la actividad de las plantas, los niveles de OD pueden fluctuar durante el día, elevándose a la largo de la mañana y alcanzando un máximo en la tarde. Por la noche cesa la fotosíntesis, pero las plantas y animales continúan respirando, causando una disminución de los niveles de OD.

Grandes fluctuaciones en los niveles de oxígeno disuelto en periodos cortos de tiempo pueden traer como resultado una multiplicación de algas. Como la población de algas crece con gran rapidez, los niveles de OD aumentan. Pronto las algas comienzan a morir y son descompuestas por bacterias aeróbicas, las que usan el oxígeno. A medida que mueren más algas, el requerimiento de oxígeno de la descomposición aeróbica aumenta, lo que resulta en una caída brusca de los niveles de oxígeno.

La temperatura es un factor importante en la capacidad del oxígeno para disolverse, ya que el oxígeno, al igual que todos los gases, tienen diferentes solubilidades a distintas temperaturas. Las aguas más frías tienen una mayor capacidad de oxígeno que las aguas más cálidas.

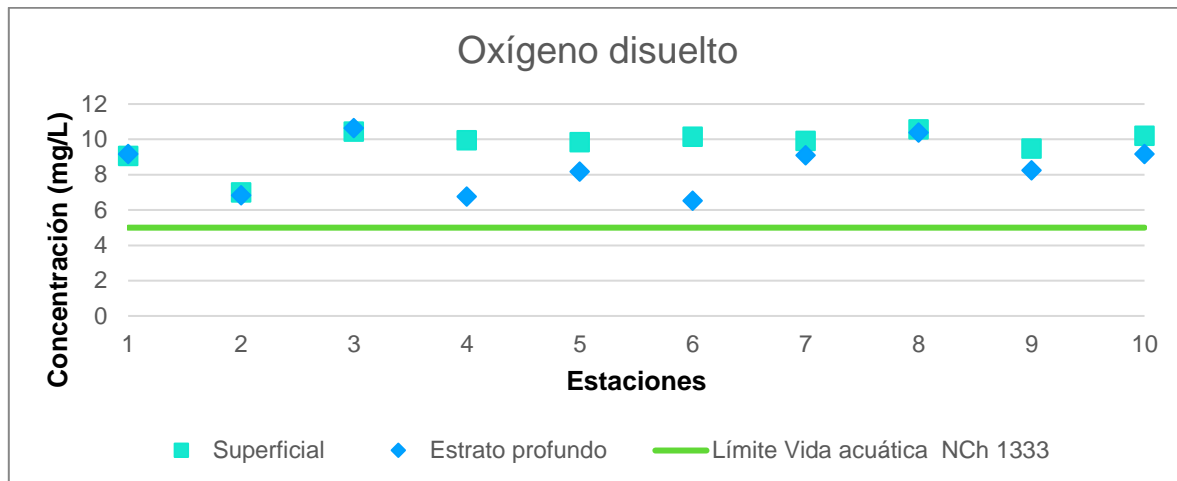
La temperatura en este estudio se mantiene estable entre los 12,6° y 15,6° en todas las estaciones y distintas profundidades.

De acuerdo con la NCh N°1333, todas las estaciones monitoreadas permitirían la Vida Acuática, que tiene como límite mínimo de 5 mg/L de oxígeno disuelto.

Sin embargo, en las estaciones N°4 y N°6 se registran las mayores diferencias de oxígeno disuelto en las 2 profundidades medidas, siendo la estación N°4 cercana a la orilla con una profundidad de muestreo de 0,8m y la estación N°6 con 21 m. Lo anterior atribuible a la presencia de macrófitas y algas en la estación N°4 y a la correspondiente profundidad en la estación N°6.

En general se tiene un rango de OD entre 6,54 y 10,64 mg/L lo que indicaría una condición entre aceptable y buena, adecuada para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.

GRÁFICO 16. OXÍGENO DISUELTO



El término porcentaje de saturación a menudo se usa para las comparaciones de la calidad del agua. El porcentaje de saturación es la lectura de oxígeno disuelto en mg/L dividido por el 100% del valor de oxígeno disuelto para el agua (a la misma temperatura y presión del aire). La forma en la que el porcentaje de saturación se relaciona con la calidad del agua se indica en la siguiente Tabla.

TABLA 13. CALIDAD DEL AGUA EN RELACIÓN CON EL % DE SATURACIÓN DE OXÍGENO

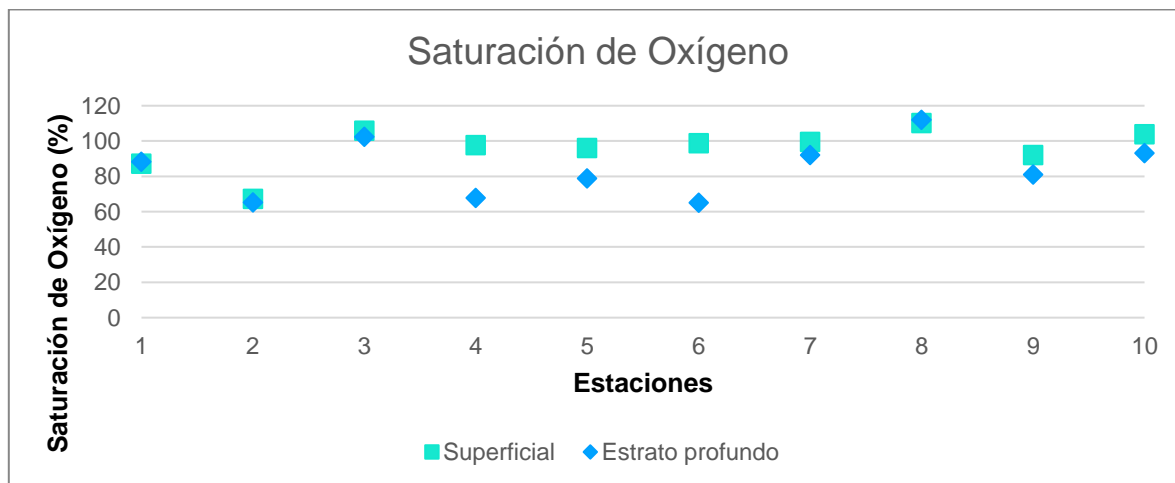
Nivel de OD	% de saturación de OD
Supersaturación	>101%
Excelente	90-100%
Adecuado	80-89%
Aceptable	60-79%
Pobre	<60%

Fuente: Sensores e instrumentación Guemisa.

En general se presentan buenos resultados de % de saturación de OD, sobre el 80% en la mayoría de las estaciones, sin embargo, en la estación N°2, 4 y 6 se reflejan resultados entre 60% y 70%, lo que es aceptable de todas maneras.

La estación N°2, se ubica en las inmediaciones de la playa, en zona de orilla, donde la influencia de plantas es importante; lo mismo sucede en la estación N°4; distinto es lo medido en la estación N°6, la cual presenta la mayor profundidad del estudio; sin embargo, el bajo porcentaje de saturación de oxígeno se da en la profundidad y no así en la superficie donde el dato es de 98,8%.

GRÁFICO 17. SATURACIÓN DE OXÍGENO



La claridad del agua es la primera propiedad percibida por los usuarios que está relacionada con 2 variables, la transparencia y la turbidez. En este caso, la transparencia fue estimada a través de la profundidad de visión del Disco Secchi en metros, que se define como la profundidad a la que el ojo humano deja de ver un disco metálico de 20 cm de diámetro, y que es un buen indicador de la profundidad a la que la luz del sol penetra en el agua. La turbidez viene determinada por la dispersión de la luz causada por la materia suspendida

en el agua, que es lo opuesto a la claridad y mide la dispersión de un rayo de luz en el agua a 90° de la luz incidente. (Delegido, J. et al. 2019).

De acuerdo con la determinación de transparencia, las estaciones 3, 4 y 10 estarían en condición eutrófica, mientras que las demás estaciones estarían en el rango mesotrófico, lo anterior según la clasificación de Smith. Sin embargo, hay que considerar que las estaciones 3 y 4 tienen profundidades totales entre 2 y 1,5 metros respectivamente, por lo que la proliferación de macrófitas y algas es importante al ser estaciones de orilla. No así la estación N°5 por ejemplo, que al estar igualmente cercana a la orilla presenta una profundidad total de 8 metros y transparencia de 2,5m.

La turbidez medida arrojó resultados de 0 NTU en todas las estaciones excepto en la estación N° 5 (0,22 NTU), estación cercana a la orilla, en lo que a muestras subsuperficiales se refiere, lo que resulta lógico dado la altura de la columna de agua a la cual se tomó la muestra (0,15 m). Situación distinta ocurre en las mediciones a distintas profundidades.

La estación N°5 incrementa la turbidez a 1,91 NTU en 7 metros de profundidad y una transparencia de 2,5 metros.

La máxima turbidez se da en la estación N°6, la que presenta una profundidad de muestreo de 21 metros, la más profunda del estudio. Sin embargo, la estación N°9, la segunda más profunda no presenta turbidez a los 18 metros de profundidad. Ambas estaciones se encuentran al centro del lago.

A pesar de la variabilidad de los datos de turbidez, en ninguna estación de monitoreo se sobrepasa la NCh N°1333, en su ítem de Recreación con Contacto Directo.

GRÁFICO 18. TRANSPARENCIA

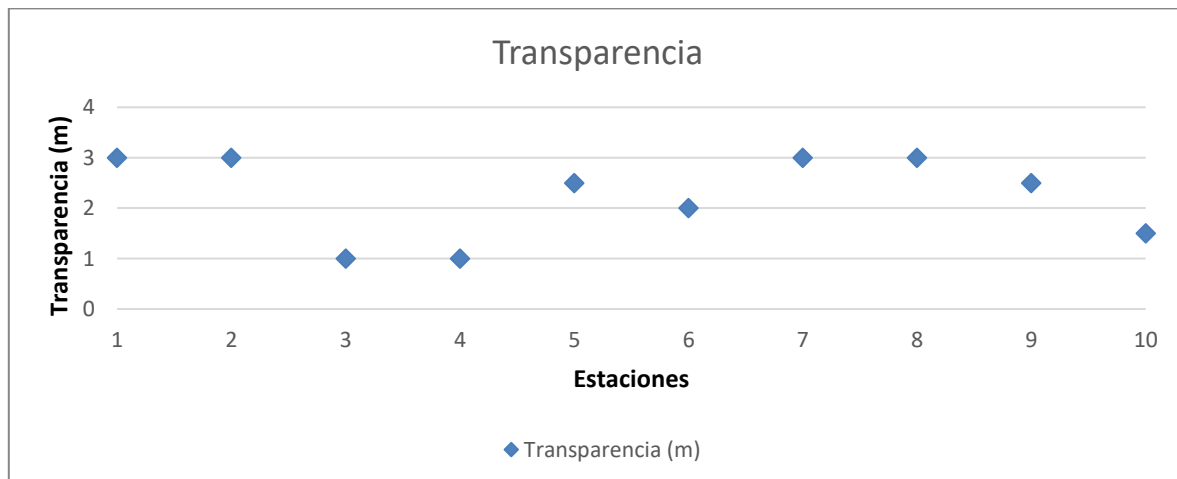
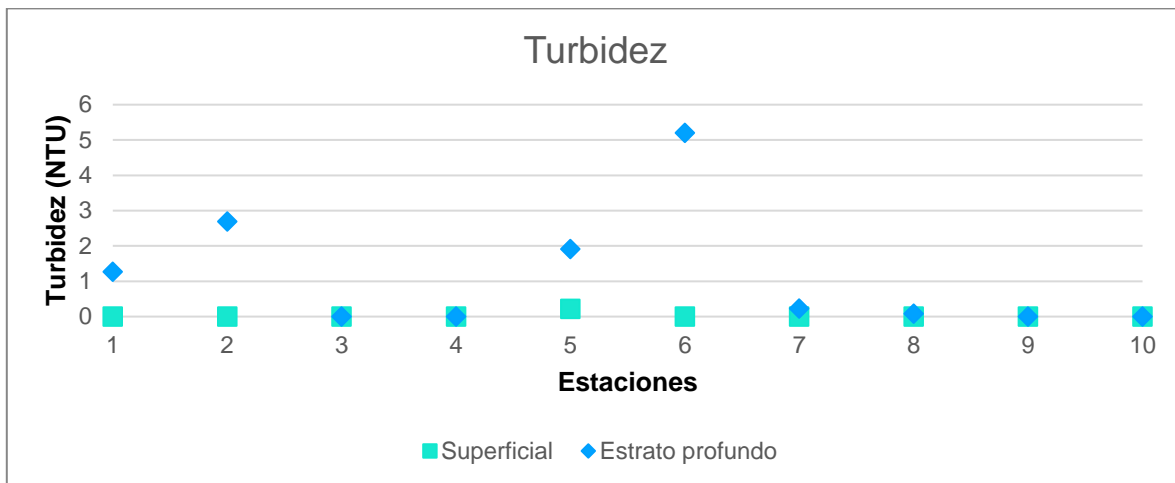




GRÁFICO 19. TURBIDEZ



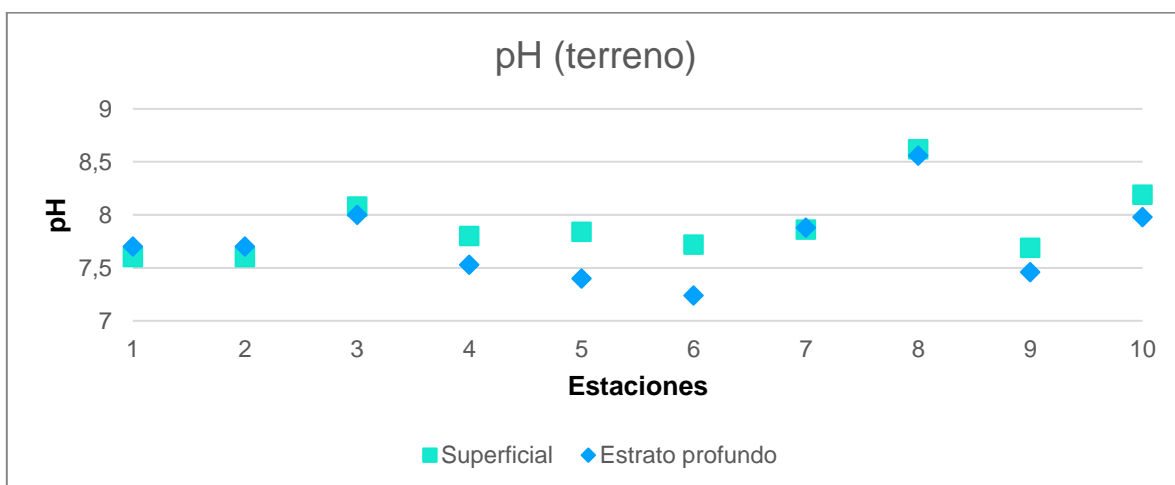
En aguas naturales y residuales el valor de pH define si las condiciones de esta son ácidas o básicas. Un pH menor de 7.0 indica acidez en el agua cuanto menor sea el valor del pH mayor es la concentración de iones de hidrógeno y mayor es la acidez.

Por encima de un pH de 7.0 se tienen condiciones básicas en el agua. La concentración de iones de hidrógeno es baja y se dice que el agua es alcalina.

Cuando el pH es de 7.0 se dice que el pH es neutro y el agua no tiene características ácidas ni alcalinas.

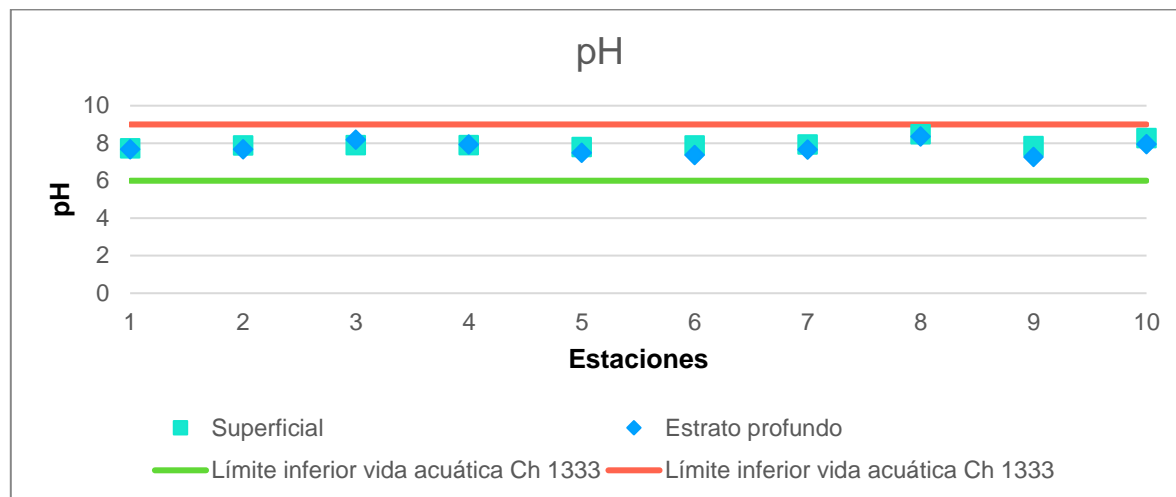
En las aguas naturales, el valor de pH está en el rango de 6.0 a 8.0 unidades de pH, y estos valores son los más adecuados para la actividad biológica de los ecosistemas. Esta situación se da en la mayoría de las estaciones de monitoreo a excepción de la estación N°8 donde el pH sobrepasa el rango de 8.0 unidades de pH, sin embargo es mínimo (8.62 en superficie y 8.56 a 4 metros de profundidad).

GRÁFICO 20. PH TERRENO



El pH, de acuerdo a los registros de terreno y de laboratorio, se encuentra en el rango de 6,0 a 9,0 unidades de pH para todas las estaciones y muestras. Este rango corresponde al señalado por la NCh 1333 para vida acuática. Además, el límite según el ítem de Recreación con contacto directo es más restrictivo (6,5 a 8,3) cumpliéndose igualmente la norma, a excepción de la estación N°8.

GRÁFICO 21. PH LABORATORIO

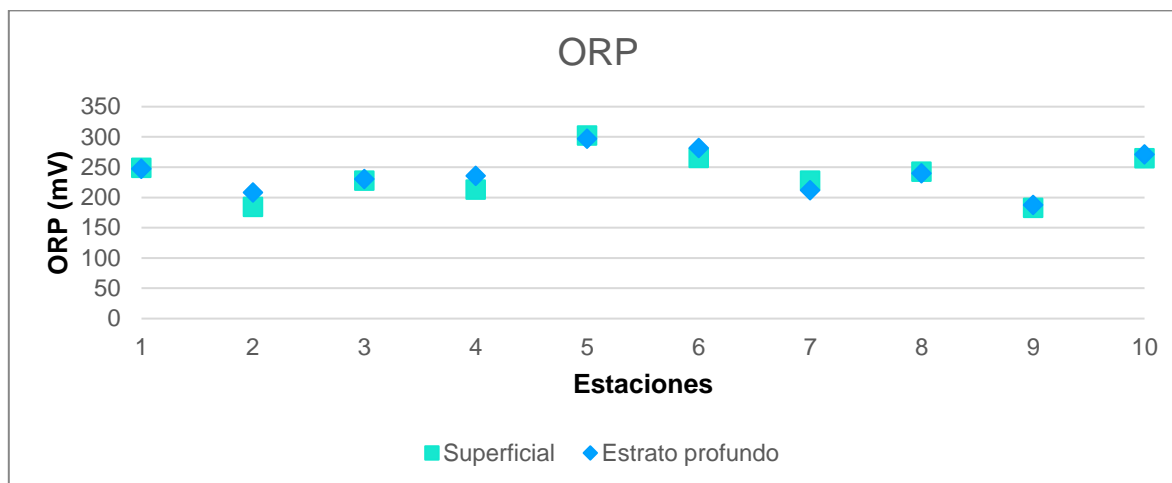


La medida ORP (Oxidation reduction potencial) también conocida como redox es un parámetro que mide la capacidad que tiene una solución de absorber o expeler sales diluidas y de manera efectiva nos permite tener un registro de saneamiento de agua.

Estudios de la Universidad de Harvard de los electrodos ORP demuestran una sólida correlación entre el ORP y la actividad bacteriana, la cual se confirmó posteriormente en estudios sobre el agua potable y piscinas en diferentes zonas del mundo. Se ha demostrado que con un valor de ORP entre 650 y 700 mV, bacterias tales como Escherichia Coli y Salmonella son suprimidas en segundos. Después de varios minutos de contacto, levaduras y el tipo más sensible de hongo formador de esporas también son exterminadas en este nivel de ORP (Hanna Instruments).

Las aguas de la Laguna Avendaño mantienen el ORP entre 182,8-302 mV.

GRÁFICO 22. POTENCIAL ÓXIDO-REDUCCIÓN



La conductividad eléctrica se mantiene estable a lo largo del estudio entre estaciones y a distintas profundidades de muestreo.

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, por lo tanto, es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua, proviene de un ácido, una base o una sal disociada en iones.

La conductividad y la dureza de las aguas también son 2 parámetros cuyos valores están, en general bastante relacionados, ya que las sales de calcio y magnesio son las más abundantes en la naturaleza y, en ausencia de aportes ajenos al sustrato por el que discurren, la conductividad de las aguas se debe a la concentración de las sales de estos cationes en las mismas. La conductividad y la dureza reflejan a su vez, el grado de mineralización de las aguas y su productividad potencial.

TABLA 14. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN LA SALINIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Clase de agua	CE (uS/cm)
Excelente	250
Buena	250-750
Permisible	750-2000
Uso dudoso	2000-3000
Inapropiada	3000

Fuente: C. Dorrnsoro. Contaminación de suelos por sales solubles. Universidad de Granada, 2001.

Según la Tabla, el agua de la Laguna Avendaño estaría en óptima condición para su uso en riego, ya que en ninguna estación se supera el límite de 250 uS/cm, inclusive la NCh 1333 es aún más permisiva y tiene un límite de 750 uS/cm en la norma de riego.

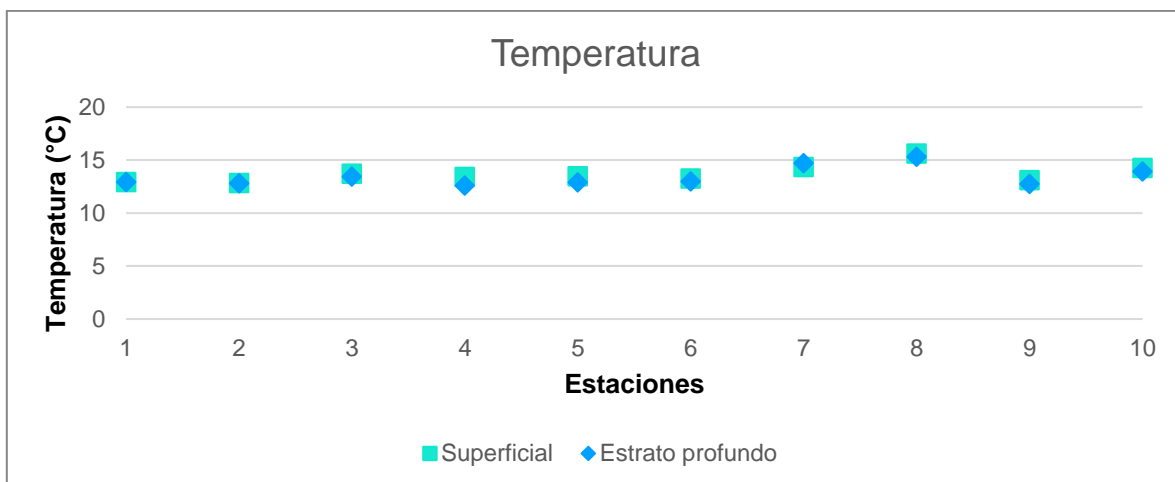
La conductividad eléctrica del agua también depende de la temperatura del agua: mientras más alta la temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica. La Conductividad eléctrica del agua aumenta en un 2-3% para un aumento de 1 grado Celsius de la temperatura del agua. Sin embargo, hemos visto que la temperatura no tiene gran incidencia en los parámetros medidos, ya que esta se mantiene prácticamente constante a lo largo de las estaciones y en las distintas profundidades.

GRÁFICO 23. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



La temperatura si bien es cierto, influye en los parámetros medidos, en especial en oxígeno disuelto y clorofila "a", se mantiene estable a lo largo de las estaciones medidas y en las distintas profundidades. Por lo que su incidencia en los parámetros medidos es mínima.

GRÁFICO 24. TEMPERATURA



### 6.2.2 Parámetros medidos en laboratorio

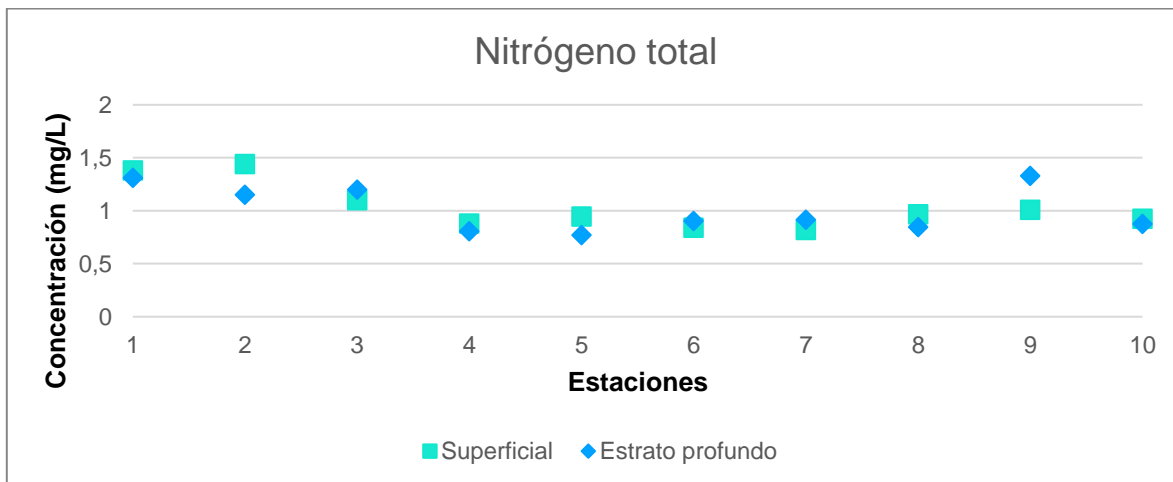
El nitrógeno total es la suma de todas las formas nitrógeno en el agua:

$$N_{\text{total}} = N\text{-NH} + N\text{-NH}_3 + N\text{-NO} + N\text{-NO}_2 + N_{\text{org}}$$

Existen diferentes metodologías para medir el nitrógeno total, de manera directa o sumando las fracciones medidas. Este parámetro es uno de los cuales se utilizan para evaluar el riesgo de eutrofización (MMA, 2017).

De acuerdo con los resultados entre 0,77 a 1,44 mg/L, el parámetro se mantiene estable entre estaciones de monitoreo y entre profundidades.

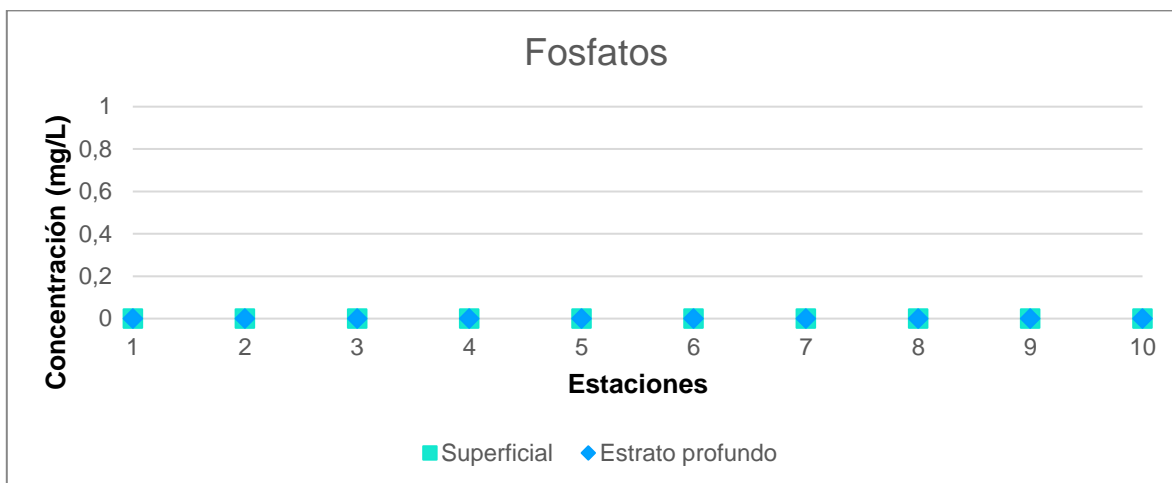
GRÁFICO 25. NITRÓGENO TOTAL



Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan sólo 1 gramo de fosfato-fósforo ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 gramos. Las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$  en el agua corriente y entre 0,005-0,01 mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$  en aguas tranquilas.

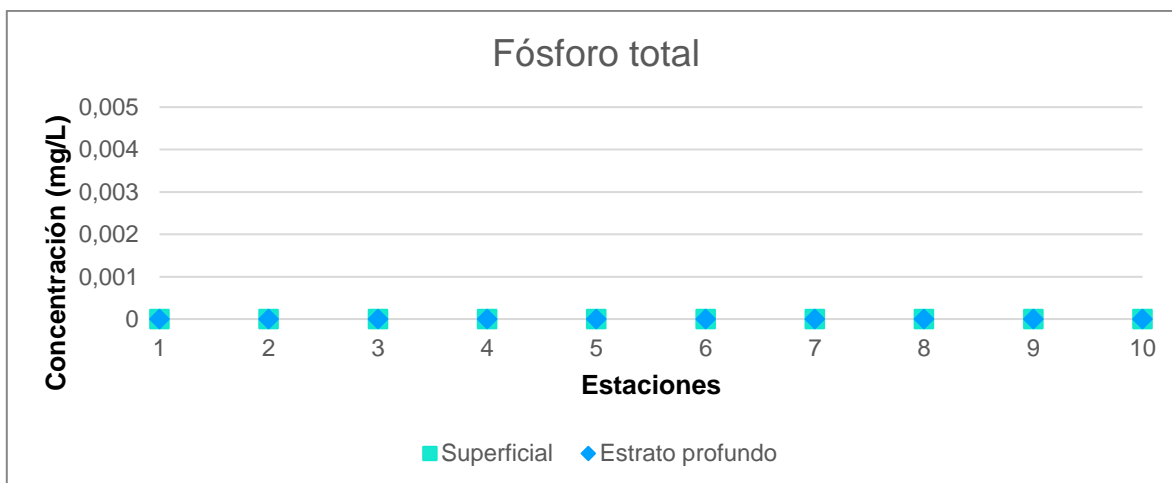
En la caracterización de fosfato se encontraron valores por debajo del límite de detección (0,003 mg/L), lo que permite descartar dicha situación.

GRÁFICO 26. FOSFATOS



De acuerdo con los resultados de fósforo total, menores al límite de detección de 0,003 mg/L, se puede establecer que corresponden a parámetros traza en el medio acuático en el momento de la campaña realizada

GRÁFICO 27. FÓSFORO TOTAL



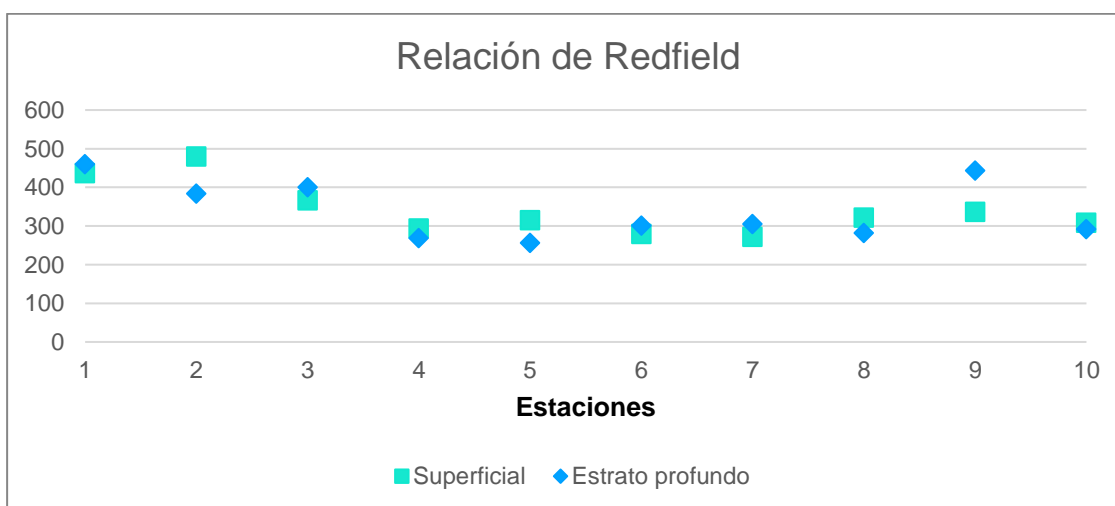
Como aproximación a la determinación del nutriente limitante se utilizó la relación de Redfield (Redfield, 1958 y Redfield et al., 1963), los resultados de la relación se indican en la siguiente Tabla, para aquellas estaciones en las que el valor de cualquiera de los dos nutrientes se encontró por debajo del límite de detección del método analítico del laboratorio, se utilizó el valor del límite de detección para realizar el cálculo de forma referencial.

TABLA 15. RESULTADOS RELACIÓN DE REDFIELD

ESTACIONES	Relación de Redfield
1 S	437
1 P	460
2 S	480
2 P	383
3 S	367
3 P	400
4 S	293
4 P	269
5 S	315
5 P	257
6 S	280
6 P	301
7 S	272
7 P	305
8 S	322
8 P	282
9 S	337
9 P	443
10 S	308
10 P	292

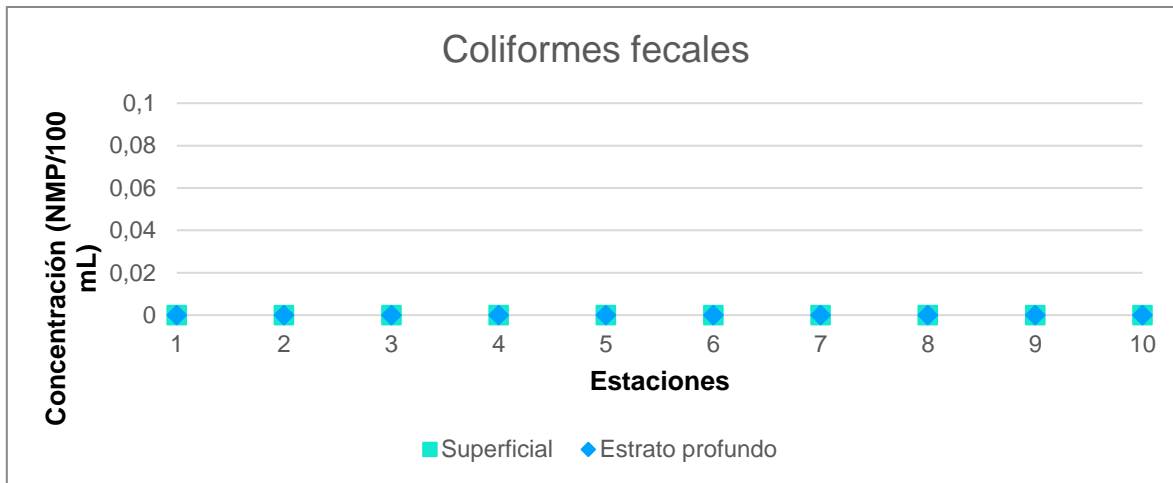
De acuerdo con los resultados de la relación de Redfield, durante la campaña de septiembre 2020, la relación de Redfield es mayor a 7,2, por lo que el nutriente limitante corresponde al fósforo, parámetro que se encontró por debajo del límite de detección del método analítico del laboratorio en todas las estaciones.

GRÁFICO 28. RESULTADOS DE RELACIÓN DE REDFIELD



Los coliformes fecales dieron resultado por debajo del límite de detección de 1,8 NMP/100mL en todas estaciones y en las diferentes profundidades muestreadas. Esto da cuenta que no existen o son mínimas las fuentes de emisión de aguas servidas que podrían descargar en la Laguna Avendaño.

GRÁFICO 29. COLIFORMES FECALES



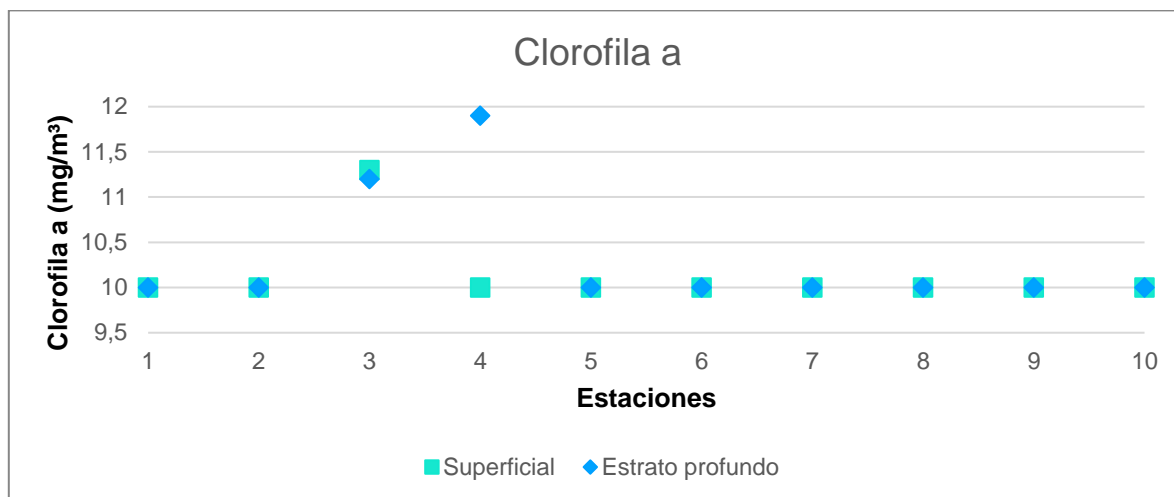
La Clorofila "a" es un pigmento requerido para realizar fotosíntesis y por lo tanto es una medida indirecta de la biomasa fitoplanctónica en un determinado volumen de agua o área definida (fitobentos).

Particularmente, esta biomasa aumenta conforme empeora el estado trófico de un ecosistema, llegándose a situaciones extremas de eutroficación, donde se producen los florecimientos o blooms de fitoplancton que pueden o no ser tóxicos, según el tipo de microalga que predomine (MMA, 2017).

De acuerdo con los resultados para este parámetro con un máximo de 11,9 mg/m<sup>3</sup> en la estación N°4 y 11,3 y 11,2 mg/m<sup>3</sup> para la estación N°3, ambas cercanas a la orilla y con fuerte presencia de algas y macrófitas, y considerando que las demás estaciones están por debajo del límite de detección, se puede establecer que en estas estaciones (3 y 4) se está en condición de eutrofia según la clasificación de Smith.



GRÁFICO 30. CLOROFILA "A"



Nota: La unidad de medida informada por el laboratorio ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) es equivalente a la unidad de medida de Smith ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ).

La gráfica toma el valor  $<10 \text{ mg}/\text{m}^3$  como la condición más desfavorable, ya que no se tiene certeza sobre la real concentración.

### 6.3 Fitoplancton

En la Tabla 10 se entregan los resultados de laboratorio de la campaña de terreno de septiembre de 2020. Contemplando las diez estaciones de muestreo del Proyecto, y las muestras subsuperficiales y las del estrato profundo, se registró un total de 25 taxa de especies fitoplanctónicas. En dichas estaciones y muestras, se registraron nueve Clases, siendo las que presentaron mayor riqueza, la clase Bacillariophyceae con nueve taxa, la clase Cyanophyceae con cuatro clases, y las clases Chlorophyceae y Zygnematophyceae ambas con tres taxa. La clase Dinophyceae se presentó con dos taxa. Las clases Coscinodiscophyceae, Crysophyceae, Trebouxiophyceae y Oocystaceae presentaron un taxón cada una. La abundancia total estimada presentó el valor más elevado en la estación/muestra 5S (estación 5 muestra superficial) con 268,1 cél/ml, mientras que el menor valor se registró en la estación/muestra 8S con 17,5 cél/ml.

Los géneros más abundantes fueron *Fragilaria* con 186,1 cél/ml (en 5S), seguido de *Monoraphidium* con 31,1 cél/ml (en 2S) y *Closteriopsis* con 29,8 cél/ml (en 2S).

Con respecto a la distribución, la mayor frecuencia de aparición las tuvo las taxa *Fragilaria* y *Ulnaria*, presente en 17 de las estaciones/muestras. El taxón *Dinobryon*, estuvo presente en 16 estaciones/muestras, seguido de *Ceratium* presente en 15 estaciones muestras. Las taxa *Asterionella* y *Monoraphidium* estuvieron presentes en 14 de las estaciones/muestras. Las taxa *Cymbella* y *Peridinium* estuvieron presentes en 11 estaciones/muestras. Las taxa

*Pennada* y *Chlamydomona* se registraron en nueve de las estaciones/muestra, seguido del taxón *Microcystis* presente en siete estaciones/muestras. Las taxa *Sphaerocystis* y *Closteriopsis* se registraron en cinco estaciones/muestra, seguido de *Navicula* presente en cuatro estaciones/muestra. Los taxa *Epithemia*, *Scenedesmus*, *Staurastrum* y *Dictyosphaerium* registraron un valor de frecuencia de tres (es decir estuvieron presentes en tres estaciones/muestra), mientras que los taxa *Nitzschia*, *Coelastrum*, *Mougeotia* y *Aulacoseira* tuvieron un valor de frecuencia de dos. *Cyclotella* y *Closterium*, estuvieron presentes en una estación/muestra respectivamente.

Se estimó una riqueza que oscilo entre cinco y 14 taxa en las estaciones/muestra. La menor riqueza se registró en la estación 10, en las muestras superficiales y de estrato profundo ambas con cinco taxa. La mayor riqueza se registró (14 taxa) en 1P (estación 1 muestra de estrato profundo).

La diversidad de Shannon-Wiener presento valores entre 0,82 y 2,21 nats/ind, en las estaciones/muestra 2P y 8P respectivamente. La diferencia en los valores se origina principalmente por la riqueza por estación y secundariamente por las abundancias de cada taxón. Considerando las 10 estaciones y ambas profundidades muestreadas, el promedio de la diversidad de Shannon-Wiener fue 1,49 con una desviación estándar de 0,44 nats/ind.

La dominancia de Simpson registro valores que fluctuaron entre 0,13 y 0,63, en las estaciones/muestras 8P y 2P respectivamente, por lo que la probabilidad de que dos individuos tomados al azar pertenezcan a la misma especie es baja a intermedia. La dominancia de Simpson promedio fue 0,37, con una desviación estándar de 0,17. La equidad de Pielou fue entre 0,46 y 0,98, valores que indican que las abundancias entre taxa fueron intermedio a alto.

### 6.3.1 Muestras subsuperficiales de fitoplancton

Considerando las muestras de las diez estaciones, considerando solo las tomadas subsuperficialmente, se registró un total de 23 taxa de especies fitoplanctónicas. Las taxa ausentes en comparación con las muestras del estrato profundo fueron dos: *Cyclotella* (Bacillariophyceae) y *Closterium* (Zygnematophyceae). En las diez estaciones se registraron nueve Clases, siendo las que presentaron mayor riqueza, la clase Bacillariophyceae con ocho taxa, la clase Cyanophyceae con cuatro clases, y la clase Chlorophyceae con tres taxa. Las clases Dinophyceae y Zygnematophyceae se presentaron con dos taxa. Las clases Coscinodiscophyceae, Crysohyceae, Trebouxiophyceae y Oocystaceae presentaron un taxón cada una. La abundancia total estimada presentó el valor más elevado en la estación 5 con 268,1 cél/ml, mientras que el menor valor se registró en la estación 8 con 17,5 cél/ml. Los géneros más abundantes fueron *Fragilaria* con 160,3 cél/ml (en la estación 5), seguido de *Microcystis* con 23,7 cél/ml en la estación 7 y *Monoraphidium* con 22,2 cél/ml en la estación 2 y 7.

Con respecto a la distribución, la mayor frecuencia de aparición las tuvo el taxón *Dinobryon* presente en nueve de las diez de las estaciones. A continuación, las taxa *Fragilaria*, *Ulnaria* y *Ceratium* registraron un valor de frecuencia de aparición de ocho. Las taxa *Asterionella* y

*Monoraphidium* estuvieron presentes en siete de las estaciones. El taxón *Cymbella* estuvo presente en seis estaciones. Las taxa *Cymbella*, *Pennada* y *Chlamydomona* se registraron en cinco de las estaciones, seguido de las taxa *Microcystis* y *Closteriopsis* presente en cuatro estaciones. Dos taxa se registraron en tres estaciones. Tres taxa registraron un valor de frecuencia de dos, mientras que los taxa restantes fueron registrados solo en una estación.

Se estimó una riqueza que oscilo entre cinco y 13 taxa en las estaciones 10 y 7 respectivamente.

### 6.3.2 Muestras estrato profundo de fitoplancton

Considerando las muestras tomadas en el estrato profundo de las diez estaciones de muestreo, se registró un total de 23 taxa de especies fitoplanctónicas. Las taxa ausentes en comparación con las muestras tomadas subsuperficialmente fueron dos: *Nitzschia* (Bacillariophyceae) y *Dictyosphaerium* (Trebouxiophyceae). En las diez estaciones se registraron ocho Clases, siendo las que presentaron mayor riqueza, la clase Bacillariophyceae con ocho taxa, la clase Cyanophyceae con cuatro clases, y la clase Chlorophyceae con tres taxa. Las clases Dinophyceae y Zygnematophyceae se presentaron con dos taxa. Las clases Coscinodiscophyceae, Crysophyceae y Oocystaceae presentaron un taxón cada una. La clase ausente en comparación con las muestras tomadas subsuperficialmente fue Trebouxiophyceae.

La abundancia total estimada presentó el valor más elevado en la estación 5 con 268,1 cél/ml, mientras que el menor valor se registró en la estación 8 con 17,5 cél/ml.

Los géneros más abundantes fueron *Fragilaria* con 186,1 cél/ml (en la estación 5), seguido de *Monoraphidium* con 31,1 cél/ml y *Closteriopsis* con 29,8 cél/ml ambas en la estación 2.

Con respecto a la distribución, la mayor frecuencia de aparición las tuvo las taxa *Fragilaria* y *Ulnaria*, presente en nueve de las estaciones. Las taxa *Asterionella*, *Monoraphidium*, *Ceratium* y *Dinobryon* estuvieron presentes en siete de las estaciones. Las taxa *Cymbella* y *Peridinium* estuvieron presentes en seis y cinco estaciones respectivamente. Las taxa *Pennada* y *Chlamydomona* se registraron en cuatro de las estaciones. Los taxa *Aphanocapsa* y *Microcystis* registraron un valor de frecuencia de tres (es decir estuvieron presentes en tres estaciones). Cinco taxa tuvieron un valor de frecuencia de dos, mientras que los restantes, es decir seis taxa, tuvieron una frecuencia de aparición igual a uno.

Se estimó una riqueza que oscilo entre cinco y 14 taxa en las estaciones 10 y 1 respectivamente.

#### 6.4 Análisis de la trofía de la Laguna Avendaño en comparación con la metodología de Smith

El índice de Smith determina la condición trófica en base a la concentración de clorofila "a", transparencia o disco Secchi, concentración de nitrógeno y fósforo. Los dos primeros parámetros corresponden a los indicadores directos del estado trófico del lago, por otro lado, los dos restantes son utilizados para confirmar y explicar el estado observado, esto es debido a que están relacionados a los nutrientes inorgánicos principales, nitrógeno y fósforo, que limitan o determinan el crecimiento algal (Smith et al., 1999).

En la siguiente tabla se indica el rango de valores de los cuatros parámetros antes mencionados relativo al estado trófico que representan, ordenados de menor a mayor, es decir desde el estado oligotrófico al hipereutrófico. De esta manera, la calificación del lago se realiza en relación con el valor obtenido de los parámetros considerados y el rango de valores en el cual se encuentran.

TABLA 16. RANGO DE VALORES DE CADA PARÁMETRO CORRESPONDIENTE A CADA ESTADO. SMITH ET AL. 1999.

Condición trófica	Fósforo total (ug/L)	Nitrógeno total (ug/L)	Clorofila "a" (ug/L)	Transparencia (m)
Oligotrofia	<10	<350	<3,5	>4
Mesotrofia	10 - 30	350 - 650	3,5 - 9	2 - 4
Eutrofia	30 - 100	650 - 1200	9 - 25	1 - 2
Hipereutrofia	>100	>1200	>25	>1

TABLA 17. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE INTERÉS

ESTACIONES	Fósforo total (ug/L)*	Nitrógeno total (ug/L)*	Clorofila "a" (ug/L)**	Transparencia (m)
1 S	<3	1380	<10	3
1 P	<3	1310	<10	3
2 S	<3	1440	<10	3
2 P	<3	1150	<10	3
3 S	<3	1100	11,3	1
3 P	<3	1200	11,2	1
4 S	<3	880	<10	1
4 P	<3	807	11,9	1
5 S	<3	944	<10	2,5
5 P	<3	770	<10	2,5
6 S	<3	839	<10	2
6 P	<3	903	<10	2

<b>7 S</b>	<3	817	<10	3
<b>7 P</b>	<3	915	<10	3
<b>8 S</b>	<3	966	<10	3
<b>8 P</b>	<3	846	<10	3
<b>9 S</b>	<3	1010	<10	2,5
<b>9 P</b>	<3	1330	<10	2,5
<b>10 S</b>	<3	925	<10	1,5
<b>10 P</b>	<3	876	<10	1,5

\* Se transformó la unidad de mg/L informada por laboratorio a ug/L.\*\* Se transformó la unidad de mg/m<sup>3</sup> informada por laboratorio a ug/L, la cual es equivalente.

De acuerdo con los resultados expuestos, se puede clasificar cada estación de muestreo con el parámetro de interés.

Fósforo total: Todas las estaciones presentan menos de 3 ug/L de concentración, por lo que de acuerdo con este parámetro todas las estaciones están en condición oligotrófica.

Nitrógeno total: De acuerdo con los resultados de nitrógeno total, todas las estaciones estarían en el rango de eutrofia e incluso hipereutrofia.

Clorofila "a": La clorofila "a" presenta una concentración máxima de 11,9 ug/L, siendo la mayoría de las concentraciones menores al límite de detección de 10 ug/L. Sin embargo, y en función de los resultados obtenidos, es posible afirmar que la condición del lago en su conjunto no se encontraría en el rango de Hipereutrofia y/o eutrofia.

Transparencia: Las estaciones 3, 4 y 10 estarían en condición eutrófica, mientras que las demás estaciones estarían en el rango mesotrófico de acuerdo con este parámetro.

## 6.5 Propuesta de seguimiento de calidad de aguas de la Laguna Avendaño y acuíferos

Se propone el siguiente plan de seguimiento de acuerdo con esta primera caracterización de las aguas de la comuna de Quillón, laguna Avendaño y pozos cercanos a ella.

Un monitoreo se conoce como un proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa o proyecto en pos de la consecución de sus objetivos, y así guiar las decisiones de gestión.

Este capítulo se elabora guiándose según el Artículo 105.- Plan de seguimiento de las Variables Ambientales, del Reglamento del SEIA.

La aplicación de un plan de seguimiento permite la evaluación periódica integrada y permanente de la dinámica de las variables ambientales, con el fin de proveer información precisa y actualizada para la toma de decisiones, orientadas a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales y del medio ambiente.

### 6.5.1 Objetivos

- Caracterizar la calidad físico-química del agua de los 6 pozos cercanos a la Laguna Avendaño. Figura 1.
- Caracterizar la calidad físico-química del agua de la Laguna Avendaño, en 10 estaciones de monitoreo a 2 profundidades, subsuperficial y estrato profundo. Figura 2.

### 6.5.2 Parámetros

Para la caracterización se medirán los siguientes analitos.

#### - Pozos:

Se propone conservar la línea base actual.

TABLA 18. PROPUESTA DE PARÁMETROS PARA POZOS

1	Boro (mg/L)	23	Magnesio (mg/L)
2	Cloruros (mg/L)	24	Manganeso (mg/L)
3	Fosfatos (mg/L)	25	Molibdeno (mg/L)
4	Nitrógeno amoniacal (mg/L)	26	Sodio (mg/L)
5	Nitrato (mg/L)	27	Níquel (mg/L)
6	Sílice total (mg/L)	28	Plomo (mg/L)
7	Sulfato (mg/L)	29	Antimonio (mg/L)

8	Plata (mg/L)	30	Selenio (mg/L)
9	Aluminio (mg/L)	31	Estaño (mg/L)
10	Arsénico (mg/L)	32	Estroncio (mg/L)
11	Bario (mg/L)	33	Vanadio (mg/L)
12	Berilio (mg/L)	34	Cinc (mg/L)
13	Bismuto (mg/L)	35	Alcalinidad (mg/L)
14	Calcio (mg/L)	36	Bicarbonatos (mg/L)
15	Cadmio (mg/L)	37	Conductividad (uS/cm)
16	Cobalto (mg/L)	38	Sólidos disueltos totales (mg/L)
17	Cromo (mg/L)	39	pH
18	Cobre (mg/L)	40	ORP (mV)
19	Hierro (mg/L)	41	Saturación de Oxígeno (%)
20	Mercurio (mg/L)	42	OD (mg/L)
21	Potasio (mg/L)	43	Temperatura (°C)
22	Litio (mg/L)	44	Profundidad (m)

**- Laguna Avendaño:**

Se propone ampliar la línea base en la Laguna Avendaño a los siguientes parámetros totales.

**TABLA 19. PROPUESTA DE PARÁMETROS PARA LA LAGUNA AVENDAÑO**

1	Clorofila a	13	Nitrógeno total
2	Carbono orgánico total	14	Nitrógeno total Kjeldhal
3	Fósforo total	15	pH
4	Coliformes fecales	16	Sólidos disueltos totales
5	Coliformes totales	17	Fitoplancton
6	Conductividad	18	Macroinvertebrados bentónicos
7	Demanda bioquímica de oxígeno	19	Transparencia
8	Demanda química de oxígeno	20	Materia orgánica total
9	Fosfatos	21	Turbiedad
10	Fósforo total	22	% saturación de oxígeno
11	Nitrato	23	Oxígeno disuelto
12	Nitrito	24	Temperatura
		25	Potencial oxido-reducción

### 6.5.3 Frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo para la matriz aguas subterráneas, correspondería a 2 veces al año, mientras que, para las aguas superficiales del lago, 4 veces al año, en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre.

La importancia de los meses de diciembre y marzo radica en la condición de la Laguna Avendaño antes y después de la época estival.

Mientras que los meses de junio y septiembre contemplan el cambio de estacionalidad.

#### **6.5.5 Metodología**

Se propone la misma metodología establecida en este diagnóstico

#### **6.5.6 Informes y Organismos**

Los resultados serán enviados luego de cada campaña a la Dirección general de Aguas.



## 7. CONCLUSIONES

Se ha caracterizado la Laguna Avendaño en 10 puntos de monitoreo en 2 profundidades, además de 6 pozos de aguas subterráneas en la comuna de Quillón, de acuerdo con los puntos de monitoreo en las figuras 1 y 2.

No existen antecedentes para la zona sobre estudios en base al agua subterránea. Teniendo en cuenta las fundamentaciones físico-químicas para ésta componente, las aguas subterráneas cumplirían con la NCh 1333 Requisitos de calidad del agua para diferentes usos; en específico el uso para riego y NCh 409 Requisitos para agua potable. Además, se han analizado los parámetros no normados en función de bibliografía, por lo que se concluye que no existe contaminación de las napas subterráneas; y la caracterización servirá como línea base para futuras caracterizaciones del acuífero.

La Laguna Avendaño ha sido analizada de manera referencial, en función de la NCh 1333 Requisitos de calidad de agua para diferentes usos, en específico su uso para Vida Acuática; y su estado trófico según Schmidt. No existen antecedentes para la zona sobre estudios en base a la Laguna Avendaño, por lo que esta caracterización servirá como línea base para futuros estudios.

De acuerdo con la NCh N°1333, todas las estaciones monitoreadas permitirían la Vida Acuática, que tiene como límite mínimo de 5 mg/L de oxígeno disuelto. Sin embargo, en las estaciones N°4 y N°6 se registran las mayores diferencias de oxígeno disuelto en las 2 profundidades medidas, siendo la estación N°4 cercana a la orilla con una profundidad de muestreo de 0,8m y la estación N°6 con 21 m. Lo anterior atribuible a la presencia de macrófitas y algas en la estación N°4 y a la correspondiente profundidad en la estación N°6. En general se tiene un rango de OD entre 6 y 11 mg/L lo que indicaría una condición entre aceptable y buena, adecuada para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.

De acuerdo con la clasificación de Smith, se puede clasificar cada estación de muestreo con el parámetro de interés. **Fósforo total:** Todas las estaciones presentan menos de 3 ug/L de concentración, por lo que de acuerdo con este parámetro todas las estaciones están en condición oligotrófica. **Nitrógeno total:** De acuerdo con los resultados de nitrógeno total, todas las estaciones estarían en el rango de eutrofia e incluso hipereutrofia. **Clorofila "a":** La clorofila "a" presenta una concentración máxima de 11,9 ug/L, siendo la mayoría de las concentraciones menores al límite de detección de 10 ug/L. Sin embargo, y en función de los resultados obtenidos, es posible afirmar que la condición del lago en su conjunto no se encontraría en el rango de Hipereutrofia y/o eutrofia. **Transparencia:** Las estaciones 3, 4 y 10 estarían en condición eutrófica, mientras que las demás estaciones estarían en el rango mesotrófico de acuerdo con este parámetro.

El fitoplancton registro un total de 25 taxa, esto considerando diez estaciones de muestreo con muestras en cada estación a dos profundidades, una subsuperficial y otra en el estrato profundo. Considerando exclusivamente los resultados agrupados por zona muestreada,

se registraron un total de 23 taxa en muestras subsuperficiales (epilimnion) y 23 taxa en las muestras del estrato profundo. Las taxa ausentes en las muestras subsuperficiales en comparación con las muestras del estrato profundo fueron dos: *Cyclotella* (Bacillariophyceae) y *Closterium* (Zygnematophyceae). Las taxa ausentes en las muestras del estrato profundo en comparación con las muestras tomadas subsuperficialmente fueron dos: *Nitzschia* (Bacillariophyceae) y *Dictyosphaerium* (Trebouxiophyceae). Fuera de estas diferencias, los resultados registrados del fitoplacton sugieren que existe poca mezcla entre los estratos subsuperficiales y profundos de la Laguna Avendaño, lo que se condice con la poca diferencia observada entre la temperatura de ambos estratos.

Considerando los resultados de ambos estratos, subsuperficial y profundo de cada estación, se registraron se registraron nueve Clases, siendo las que presentaron mayor riqueza, la clase Bacillariophyceae con nueve taxa, la clase Cyanophyceae con cuatro clases, y las clases Chlorophyceae y Zygnematophyceae ambas con tres taxa. La abundancia total estimada presentó el valor más elevado en la estación/muestra 5S (estación 5 muestra superficial) con 268,1 cél/ml, mientras que el menor valor se registró en la estación/muestra 8S con 17,5 cél/ml.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- NCh N°1.333 (1978). Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Instituto de normalización INN.
- Rocha Castro, E. (2010). Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas. Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Freeze and Cherry. (1979). Groundwater.
- Instituto Geológico y Minero de España IGME, (2020). [https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1\\_1.pdf](https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf). Visitada el 2 de noviembre de 2020.
- Pedro Lohn; Ricardo Guimaraes & Norberto Bucich. (1998). Evaluación hidro química y de la contaminación químico-biológica de la cuenca El Carrizal – zona norte – provincia de Mendoza República Argentina. 1<sup>st</sup> Joint World Congress on Groundwater.
- Delegido, J. (2019). Turbidez y profundidad de disco de Secchi con Sentinel-2 en embalses con diferente estado trófico en la comunidad Valenciana. Revista de teledetección. Edición 54, páginas 15-24.
- Ministerio del Medio Ambiente (2017). Guía para la elaboración de normas secundarias de calidad Ambiental en aguas continentales y marinas.
- Red MAPSA (2007). Guía para la utilización de valijas viajeras-Oxígeno disuelto. Red de monitoreo Ambiental participativo de sistemas acuáticos.
- Empresa Sensores e instrumentación Guemisa S.L. Madrid. España.
- C. Dorronsoro (2001). Contaminación de suelos por sales solubles. Universidad de Granada.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1985): Naviculaceae. Neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen. – Biblioth. Diatomol. 9: 1-230.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1986): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 1. Teil, Naviculaceae. – In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2 (1). G. Fischer, Stuttgart & New York.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1987): Morphology and taxonomy of *Surirella ovalis* and related taxa. – Diatom Res. 2:77-95.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1988): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 1. Teil, Naviculaceae. – In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2 (2). G. Fischer, Stuttgart & New York.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1991a): Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. – In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2 (3). G. Fischer, Stuttgart & Jena.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1991b): Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und

- Gomphonema. Gesamtliteraturverzeichnis. Teil 1-4. – In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2 (4). G. Fischer, Stuttgart & Jena.
- LANGE-BERTALOT, H. (2001): *Navicula sensu stricto* – 10 genera separated from *Navicula sensu lato* - Frustulia. – *Diatoms of Europe* 2: 1-526. Gantner Verlag, Ruggell.
  - LANGE-BERTALOT, H., HOFMANN, G., WERUM, M. & CANTONATI, M. (2017). Freshwater benthic diatoms of Central Europe: over 800 common species used in ecological assessments. English edition with updated taxonomy and added species (Cantonati, M. et al. eds). pp. [1]-942, 135 pls. Schmitt-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books.
  - PARRA, O. Y C. BICUDO. 1998. Introducción a la biología y sistemática de las algas de aguas continentales. Gráfica Andes Ltda. Santiago, Chile. 268 p.
  - PARRA, O., M. GONZALEZ, V. DELLAROSSA, P. RIVERA Y M. ORELLANA. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae. II. Chrysophyceae y Xanthophyceae. III. Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae. IV. Bacillariophyceae. V. Chlorophyceae. Ediciones Universidad de Concepción. Concepción Chile. 701 p.
  - RIVERA P. 1983. A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. *Bibliotheca Diatomologica* Vol. 3, 386 pp.
  - ROUND, F.E. & L. BUKHTIYAROVA. 1996. Four new genera based on *Achnanthes* (*Achnanthidium*) together with a re-definition of *Achnanthidium*. *Diatom Research* 11(2): 345-361.
  - RUMRICH, U., LANGE-BERTALOT, H. & RUMRICH, M. (2000): *Diatomeen der Anden. Von Venezuela bis Patagonien/Feuerland.* – *Iconogr. Diatomol.* 9: 1-649.
  - SIMONSEN R. 1987. Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Frederich Hustedt, Vol 1, 2 y 3. J. Cramer, Gerbrüder Borntraeger Berlin – Stuttgart. Waters. Blackwell Scientific Publications, II ed. Oxford, London, Melbourne.

## **9. ANEXOS**

**ANEXO 1. PERMISO DE PESCA DE INVESTIGACION**

**ANEXO 2. INFORMES DE LABORATORIO DE AGUAS**

**ANEXO 3. FICHAS DE POZOS**

**ANEXO 4. INFORME DE LABORATORIO DE FITOPLANCTON**