Julio de 2023

MONITOREO AMBIENTAL ZONA COSTERA DE VENTISQUEROS, PLAYA ANCHA, EMISARIO ESVAL S.A. DE LOMA LARGA

Realizado por:
Centro de investigación
HUB AMBIENTAL UPLA

Autores:

- Dra. María José Díaz Aguirre
- Dr.(c) Fabio Blanco Murillo
- Sebastián Martorell Araya
- Claudia Cano Pérez
- Elias Arredondo Iturrieta
- Fabiola Moenne Figueroa
- Oltane Contreras Rivera
- Dr. Iván Sola Macia
- Dra. Fernanda Rodríguez Rojasnor
- Dra. Céline Lavergne
- Dra. Verónica Molina Trincado
- Dr. Claudio Sáez Avaria

1. Resumen **4**

2. Introducción **5**

3. Objetivo general **7**

Objetivos específicos 7

4. Antecedentes **7**

Normativa 7

Características Técnicas del Emisario de Loma Larga ESVAL SA 7

5. Metodología **8**

Sitios de muestreo 8

Estrategia de muestreo 8

Procedimientos de muestreo fisicoquímico 10

Procedimientos para la determinación de Coliformes Fecales 11

Procedimientos para determinar la distribución de la pluma de influencia del efluente 11

6. Resultados y discusión **14**

27 DE ABRIL 2023: Muestreo de zona litoral terrestre y marino 14

30 DE MAYO 2023: Muestreo Superficial de agua / Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos 19

31 DE MAYO 2023: Campaña CTD/ Muestreo superficial de agua / Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos 22

7. Conclusiones **30**

8. Agradecimientos **32**

9. Referencias **32**

1. Resumen

El emisario submarino de Loma Larga, es el medio principal para la evacuación de aguas residuales del Gran Valparaíso. Sin embargo, la comunidad local ha denunciado problemas como manchas marrones en el agua, plagas y malos olores, lo que ha generado preocupación entre los residentes, pescadores y autoridades locales. El objetivo principal de este informe es determinar el área de influencia del emisario operado por ESVAL S.A. y evaluar la distribución de coliformes fecales y otros parámetros fisicoquímicos relevantes. Por ello, este informe presenta los datos ambientales recopilados durante los muestreos realizados en colaboración con la Armada de Chile y el sindicato de pescadores "El Membrillo" en 2023. Durante cuatro campañas de muestreo, tres en el mar y una en tierra, llevadas a cabo entre abril y mayo de 2023, se seleccionaron puntos estratégicos de muestreo que abarcaron la zona de descarga del emisario, la Zona de Protección Litoral (ZPL) y el Área de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) "El Membrillo"; incluyendo sitios control para el contraste de resultados. En cada punto, se midieron parámetros fisicoquímicos como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y se recolectaron muestras de agua superficial para analizar los niveles de coliformes fecales. Los resultados indican que, en tierra, se registraron las concentraciones más altas de coliformes fecales en un curso de agua que atraviesa las instalaciones de la planta, alcanzando 16.000 NMP (número más probable) /100 mL. Sin embargo, aguas arriba de la planta, los niveles de coliformes no superaron los 250 NMP/100 mL. Lo anterior hace improbable que los altos niveles de coliformes medidos en mar provengan de los cursos de agua terrestre, sino que más bien del mismo lavado en tierra dentro de las operaciones de la planta, como del mismo emisario Loma Larga en la zona marítima. En las muestras de mar, se encontraron niveles elevados en varios puntos, incluido uno dentro de la AMERB "El Membrillo", con niveles preocupantes que superaron los 1.600 NPM/100 mL diluidos en agua de mar, considerando que el DS N°90 estipula un máximo en la emisión en áreas de manejo de 70 NPM/100 mL. Además, en los distintos muestreos, se observa un patrón de aumento en los coliformes fecales entre la descarga y el litoral. Adicionalmente, se desarrolló una modelación tridimensional de salinidad en un muestreo estratificado usando equipos de alta complejidad. El origen predominante de agua dulce del emisario permite que con un equipo de medición de conductividad, temperatura y profundidad (CTD), se pueda hacer la trazabilidad de la dirección de la pluma de descarga. Los resultados obtenidos por el CTD respaldan los datos de coliformes fecales, demostrando una dispersión de la pluma al sur, norte y, en especial, al noreste, en dirección de ZPL y AMERB “El Membrillo”. Además, se observó una disminución en los niveles de oxígeno disuelto en los sitios concordantes con altos niveles de coliformes y disminución de salinidad, lo que indica un posible agotamiento del oxígeno debido a la alta actividad microbiana. Estos estudios respaldan las presunciones e indicios de muestreos desarrollados en 2022, que apuntarían de manera contundente como responsable de la contaminación por coliformes fecales en la zona costera, ZPL y AMERB “El Membrillo” al emisario de aguas servidas Loma Larga. De acuerdo a estándares nacionales e internacionales, queda de manifiesto el riesgo latente de la integridad de los ecosistemas marinos subyacentes, incluyendo la salud humana (e.g. actividades de buceo pesquero). Se sugiere implementar medidas como el pretratamiento secundario y/o actualización logística y tecnológica en la disposición del vertido. Estos estudios refuerzan la necesidad de desarrollar mayores estudios para profundizar acerca del real alcance de afectación ecosistémica y toxicológica de la zona de Loma Larga y AMERB “El Membrillo”. Del mismo modo, es importante el considerar estos antecedentes para mejorar o crear un marco regulatorio ad hoc, que proteja de manera general nuestra amplia zona litoral, como también que salvaguarde el derecho de la comunidad a vivir en un ambiente libre de contaminación.

2. Introducción

El emisario submarino de Loma Larga, ubicado en la zona costera de la región de Valparaíso, es parte del sistema de evacuación de aguas residuales de la empresa ESVAL S.A., el cual vierte los efluentes tratados al mar. Sin embargo, la comunidad circundante ha denunciado la presencia de manchas marrones en el agua de la zona costera (Figura 1), de plagas y malos olores. Esta situación, ha generado preocupación entre los residentes del sector Ventisqueros, como también en los miembros del sindicato de pescadores "El Membrillo", considerando que el emisario descarga en proximidad de su Área de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB). Cabe destacar que las instalaciones desde donde emana el emisario de Loma Larga se encuentra a 200 metros de la AMERB de "El Membrillo", promulgada por el Decreto 652 de 1997. Del mismo modo, la temática ha despertado el interés de distintas autoridades a nivel regional y nacional.

Figura 1: Registro fotográfico entregado el 25 de enero de 2022.

En febrero de 2022, el HUB AMBIENTAL de la Universidad de Playa Ancha (UPLA) llevó a cabo un estudio solicitado por los habitantes y pescadores de la zona para evaluar la calidad y eventual contaminación costera en la zona de operaciones de Loma Larga y sus alrededores. Este informe proporcionó resultados relevantes sobre los niveles de coliformes fecales, revelando que varias muestras de aguas superficiales marinas excedían los límites establecidos en el Decreto Supremo N°90 “ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES” que, a pesar de ser norma de emisión, se usó como referencia ante la ausencia de norma primaria o secundaria aplicable para dicha zona. Adicionalmente, se usó como

herramienta comparativa, el Decreto N°144, que “ESTABLECE NORMAS DE CALIDAD PRIMARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS MARINAS Y ESTUARINAS APTAS PARA ACTIVIDADES DE RECREACIÓN CON CONTACTO DIRECTO”.

Además del estudio realizado a principio del 2022 por el HUB AMBIENTAL UPLA, la Armada de Chile a través de la DIRECTEMAR ha realizado muestreos de monitoreo y recopilación de datos durante 2022 y 2023, con el propósito de complementar las exploraciones en el área de influencia del emisario submarino de Loma Larga. El HUB AMBIENTAL UPLA participó de manera conjunta con la DIRECTEMAR como observador activo en distintas visitas al sector de Loma Larga, con el objetivo de monitorear las condiciones fisicoquímicas de las aguas superficiales y en particular de la distribución de las abundancias de coliformes fecales para determinar la influencia del emisario en la zona costera y potencial impacto en la salud del ecosistema y la población.

La toma de muestras en el sector de Loma Larga es crucial para evaluar la calidad del agua y garantizar que los niveles de sustancias potencialmente peligrosas se encuentren dentro de los límites establecidos por la normativa chilena y/o internacional (Ej. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Organización Mundial de la Salud). Esto es esencial para evitar riesgos para la salud humana, prevenir impactos en la pesca artesanal y la contaminación de los recursos explotados, así como preservar la integridad de los ecosistemas marinos y salvaguardar el turismo y la recreación. De esta manera, se busca garantizar un entorno marino saludable y seguro para la comunidad, al mismo tiempo que fomentar el cuidado responsable de los recursos naturales.

3. Objetivo general

El objetivo principal de este informe es presentar los datos recopilados durante los muestreos realizados en el año 2023, en colaboración con la Armada de Chile y el sindicato de pescadores "El Membrillo". Estos datos permitirán determinar el área de influencia de las descargas del emisario, las concentraciones de coliformes fecales y otros parámetros fisicoquímicos relevantes para un diagnóstico ambiental.

Objetivos específicos

1. Determinar la pluma de dispersión del efluente del emisario submarino Loma Larga a través de la medición de parámetros como salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto.
2. Evaluar la asociación entre la distribución de coliformes fecales y las condiciones fisicoquímicas de la zona que abarca el emisario Loma Larga, la Zona de Protección Litoral (ZPL; dentro de 50 metros desde el borde costero), la AMERB y sitios control ubicados lejos de la influencia directa del emisario.
3. Comparar los resultados obtenidos en distintas áreas de muestreo para identificar posibles patrones y diferencias en las concentraciones de coliformes fecales y otros parámetros fisicoquímicos, a fin de determinar un potencial impacto del emisario Loma Larga en el entorno marino.
4. Proporcionar información relevante y actualizada sobre la calidad del agua en el sector de Loma Larga, con el fin de apoyar a las autoridades en la toma de decisiones en cuanto a la gestión y control de eventuales amenazas ambientales.

4. Antecedentes

Normativa

- DECRETO N°652. Publicada 19-DIC-1997. ESTABLECE ÁREAS DE MANEJO Y EXPLOTACIÓN DE RECURSOS BENTÓNICOS PARA LA V REGIÓN.
- DECRETO SUPREMO N°90. Publicado 07-MAR-2001. ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES.
- DECRETO N°144, Publicada 07-ABR-2009. ESTABLECE NORMAS DE CALIDAD PRIMARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS MARINAS Y ESTUARINAS APTAS PARA ACTIVIDADES DE RECREACIÓN CON CONTACTO DIRECTO.

Características Técnicas del Emisario de Loma Larga ESVAL SA

Coordenadas:	33°2'38"S - 71°39'17"O
Longitud del emisario:	571 m
Profundidad máxima:	57 m
Longitud de cada Ramal:	271 m
Total de difusores:	2

5. Metodología

Sitios de muestreo

Ventisqueros es un sector ubicado en la comuna de Valparaíso, específicamente en la zona costera de Loma Larga. En este lugar se encuentra el emisario de aguas residuales de la Empresa Sanitaria de Valparaíso (ESVAL S.A.), el cual forma parte del sistema de evacuación de aguas servidas de la comuna. Ventisqueros es un sector habitado cercano al emisario submarino Loma Larga y al AMERB "El Membrillo". En esta AMERB se encuentran recursos bentónicos como *Concholepas concholepas*, *Fissurella latimarginata* y *Fissurella cumingi*; estas especies viven asociadas al sustrato rocoso con una movilidad limitada. En cuanto a la dieta, *C. concholepa*, conocida como "loco", es una especie carnívora que se alimenta de choritos, piures y picorocos, mientras que *F. latimarginata* y *F. cumingi*, comúnmente llamadas "lapas", son animales herbívoros que se alimentan de diversas especies de algas (Figura 2).

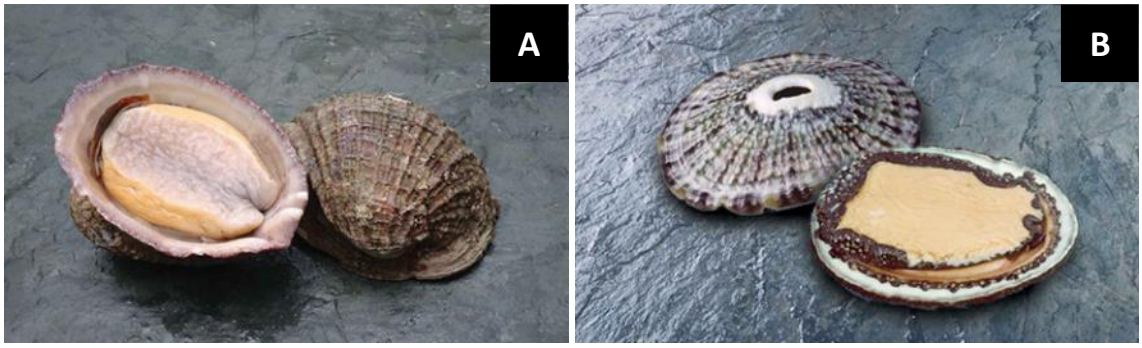


Figura 2: (A) *Concholepas concholepas*. (B) *Fissurella* spp. Fuente: SERNAPESCA.

Estrategia de muestreo

Se llevaron a cabo cuatro campañas de muestreos, tres por mar y una por tierra en la bajada de agua de la quebrada “Loma Larga” aledaña a la planta de tratamiento de ESVAL, entre los meses de abril y mayo de 2023. Las campañas por mar se efectuaron el día 27 de abril, 30 y 31 de mayo del presente año. Las campañas del 27 de abril y 30 de mayo fueron realizadas en colaboración con la Armada de Chile, quienes facilitaron su embarcación LSR-4428 dependiente de la Capitanía de Puerto de Valparaíso. En total, se seleccionaron veinte puntos de muestreo para determinar parámetros microbiológicos y fisicoquímicos alrededor de la descarga de Loma Larga. La ubicación estratégica de los puntos de muestreo abarcó las instalaciones del emisario, sus difusores y la salida del efluente, así como puntos dentro de la ZPL y el AMERB "El Membrillo". Además, se incluyeron dos puntos de muestreo de control en el norte y sur de la zona (Tabla 1, Figura 3).

El 12 de mayo de 2023 se llevó a cabo una visita a la planta de ESVAL junto a miembros de la Armada con el propósito de realizar muestreos de agua proveniente de la quebrada Loma Larga, y que cruza las instalaciones de la planta hacia el lecho marino; lo anterior, para evaluar la hipótesis de aportes importantes de coliformes fecales a través de las quebradas de la zona.

Durante esta visita, se seleccionaron tres puntos (Figura 4). El 1) primer punto se ubicó en la parte superior de la quebrada, capturando el agua en su etapa inicial antes de su interacción con la planta de ESVAL (Figura 5.1); 2) el segundo punto se localizó a la altura de la planta misma, permitiéndonos obtener muestras que representaban el agua que pasa a través de sus

instalaciones (Figura 5.2) y por último, 3) el tercer punto en la zona intermareal, donde el agua dulce de la quebrada se mezcla con el agua del mar (Figura 5.3).

Tabla 1: Puntos de Muestreo y Coordenadas Geográficas

Puntos	Latitud (°)	Longitud (°)	Puntos	Latitud (°)	Longitud (°)
1	-33.61230	-71.663686	**11**	-33.044921	-71.660647
2	-33.054948	-71.663968	**12**	-33.043432	-71.661137
3	-33.052687	-71.662208	**13**	-33.043603	-71.659901
4	-33.048132	-71.663142	**14**	-33.043258	-71.662117
5	-33.045831	-71.666584	**15**	-33.042213	-71.662492
6	-33.043388	-71.664904	**16**	-33.042167	-71.660832
7	-33.042497	-71.664396	**17**	-33.041909	-71.662783
8	-33.041927	-71.666188	**18**	-33.038973	-71.660500
9	-33.043028	-71.663170	**19**	-33.033356	-71.659657
10	-33.043850	-71.662692	**20**	-33.020656	-71.651002

Nota: Las coordenadas geográficas se expresan en grados decimales (°). La latitud indica la posición norte-sur y la longitud indica la posición este-oeste de cada punto de muestreo en el área de estudio.

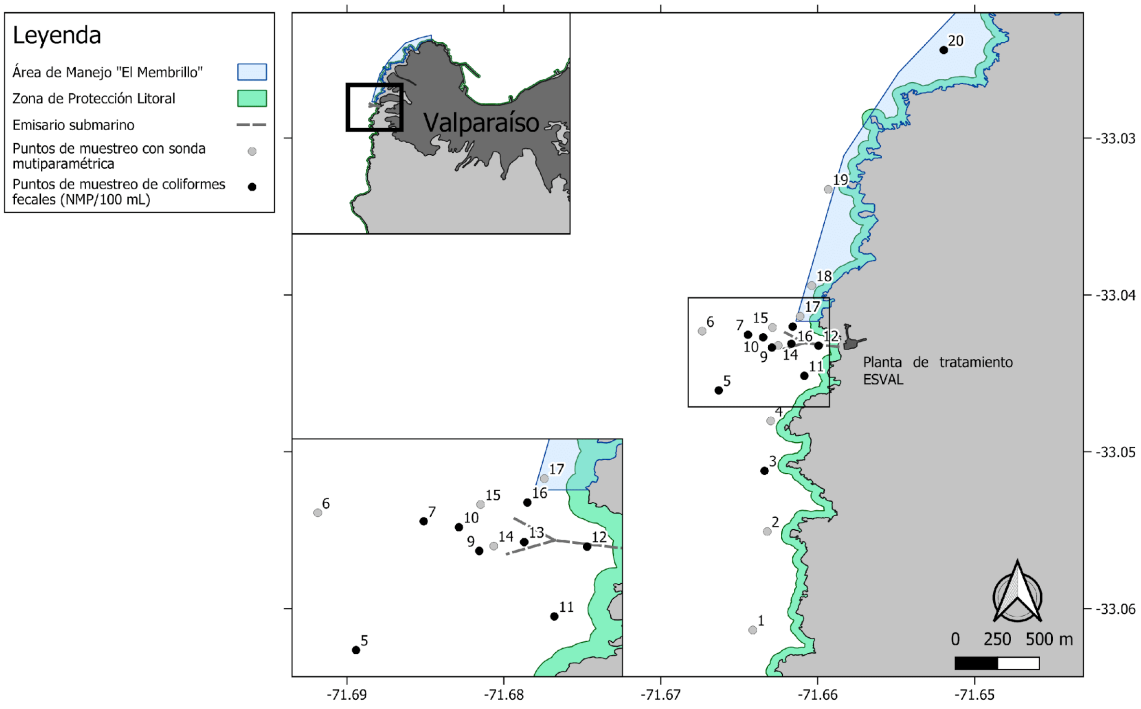


Figura 3: Mapa de la zona de muestreo con puntos de muestreo y ubicación de interés

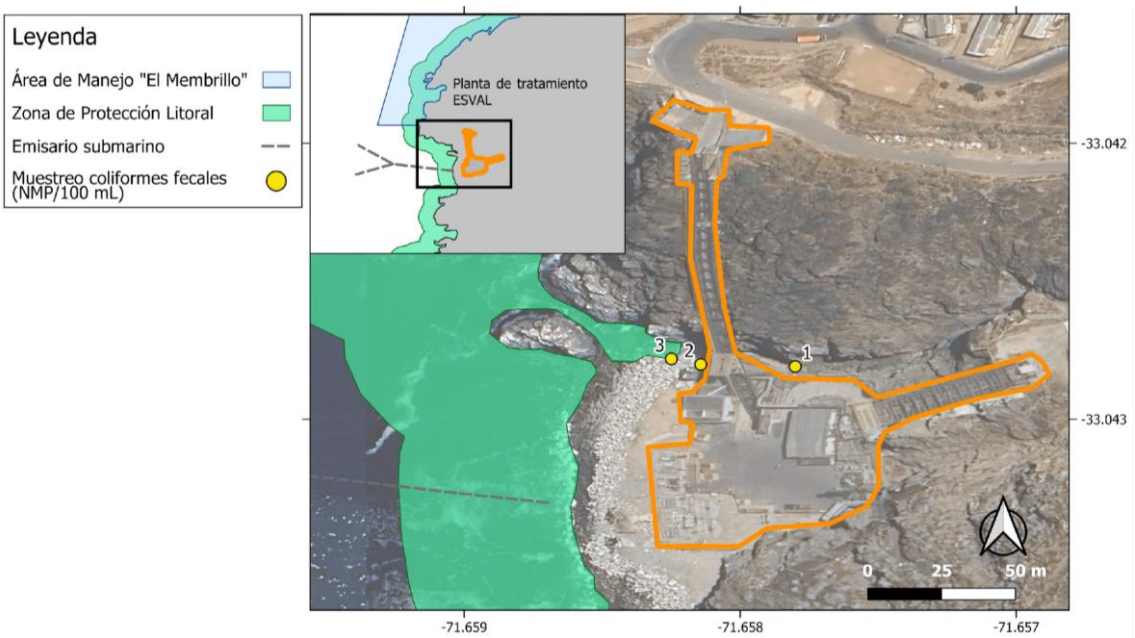


Figura 4: Puntos de muestreo en la planta de ESVAL S.A.

Figura 5: (1) Quebrada Loma Larga, punto superior; **(2)** punto de muestreo a la altura de la planta; **(3)** punto de muestreo en la intermareal, cuando el agua dulce llega al mar.

Procedimientos de muestreo fisicoquímico

En cada sitio de muestreo se midieron parámetros fisicoquímicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) en el agua con sondas multiparamétricas calibradas y verificada HANNA (modelo HI 98194) e YSI (modelo Pro DSS). Para realizar los análisis microbiológicos se recolectaron muestras puntuales de agua superficial en envases estériles de 250 mL (Nalgene) con tiosulfato de potasio (preservante). Los viales fueron almacenados en cooler con hielo (ice packs) hasta su análisis en el laboratorio para continuar con su procesamiento (< 2 horas). El número de muestras recolectadas fue variable para cada campaña y contempló siempre un

triplicado para el caso de muestreo por tierra (Tabla 3) y para el caso de los muestreos por mar (Tabla 4).

Procedimientos para la determinación de Coliformes Fecales

Para la medición de Coliformes Fecales se utilizó la metodología estándar basada en Standard Methods 9221-E2/C, Ed. 23. El resultado de la abundancia de coliformes fecales es expresado en NMP/100 mL (número más probable en 100 mL de agua). Asimismo, se llevaron a cabo los controles de calidad correspondientes para garantizar la validez de los resultados. Este protocolo estandarizado asegura la fiabilidad y consistencia de los datos obtenidos en el análisis de coliformes fecales, brindando una base sólida para la evaluación de la calidad del agua en el área de estudio (Figura 6).

Figura 6: Muestreo 27 de abril 2023. Medición con sonda multiparamétrica y toma de muestra de agua superficial para análisis de concentración de coliformes fecales.

Procedimientos para determinar la distribución de la pluma de influencia del efluente

El 31 de mayo de 2023, a las 7:30 horas, se desarrolló una campaña para caracterizar la pluma de efluente del emisario submarino de Loma Larga. Se utilizó una embarcación con motor fuera de borda proporcionada y operada por los pescadores de AMERB "El Membrillo". Para esta campaña, se definieron un total de 58 puntos de muestreo que abarcaban tanto la zona cercana al emisario de aguas residuales como las áreas adyacentes, con el objetivo de evaluar el patrón de dispersión y área de afectación del vertido. Para ello, se diseñó una grilla de puntos de muestreo separados entre sí con una distancia específica de 80 m (Tabla 2, Figura 8), los cuales fueron registrados previamente en un GPS Garmin (modelo eTrex 10). En cada punto de muestreo, se desplegó el equipo marca Hydrolab (modelo HL7) para obtener los valores de salinidad, temperatura y profundidad (CTD) de la columna de agua en continuo cada 1 segundo (Figura 7).

Los valores de salinidad obtenidos en cada punto de muestreo se analizaron mediante el método de interpolación de kriging, con el fin de obtener una representación espacial de la pluma de salinidad en el área de estudio. El método de kriging se trata de una herramienta estadística confiable y ampliamente utilizada en la comunidad científica para predecir valores de una variable en ubicaciones no muestreadas, basándose en un modelo geoestadístico (Fernández-

Torquemada et al. 2009). Las predicciones obtenidas mediante kriging se representaron en forma de mapas de contorno con la representación espacial de la variable de la salinidad. La representación espacial y análisis se llevó a cabo mediante el software ArcGIS Pro, una herramienta ampliamente reconocida en el campo científico para el análisis geoespacial.

Es importante mencionar que los vertidos de aguas residuales son de origen dulce, con una salinidad baja en comparación a los niveles del agua de mar. En este contexto, la modelación de la pluma salina a través de este estudio, y en específico la extrapolación de los niveles de conductividad a salinidad, puede entregar una perspectiva tridimensional de la dispersión de la pluma de descarga del emisario de aguas residuales.

Tabla 2: Puntos de Muestreo y Coordenadas Geográficas para la campaña de CTD.

Punto	Latitud (°)	Longitud (°)	Punto	Latitud (°)	Longitud (°)	Punto	Latitud (°)	Longitud (°)
1	-33.046	-71.66	**21**	-33.043	-71.662	**41**	-33.04	-71.664
2	-33.046	-71.661	**22**	-33.043	-71.663	**42**	-33.04	-71.666
3	-33.046	-71.662	**23**	-33.043	-71.664	**43**	-33.039	-71.66
4	-33.046	-71.663	**24**	-33.043	-71.666	**44**	-33.039	-71.661
5	-33.046	-71.664	**25**	-33.042	-71.66	**45**	-33.039	-71.662
6	-33.046	-71.666	**26**	-33.042	-71.661	**46**	-33.039	-71.663
7	-33.045	-71.66	**27**	-33.042	-71.662	**47**	-33.039	-71.664
8	-33.045	-71.661	**28**	-33.042	-71.663	**48**	-33.039	-71.665
9	-33.045	-71.662	**29**	-33.042	-71.664	**49**	-33.039	-71.666
10	-33.045	-71.663	**30**	-33.042	-71.666	**50**	-33.037	-71.66
11	-33.045	-71.664	**31**	-33.041	-71.66	**51**	-33.037	-71.661
12	-33.045	-71.666	**32**	-33.041	-71.661	**52**	-33.037	-71.662
13	-33.044	-71.66	**33**	-33.041	-71.662	**53**	-33.037	-71.663
14	-33.044	-71.661	**34**	-33.041	-71.663	**54**	-33.037	-71.664
15	-33.044	-71.662	**35**	-33.041	-71.664	**55**	-33.037	-71.665
16	-33.044	-71.663	**36**	-33.041	-71.666	**56**	-33.037	-71.666
17	-33.044	-71.664	**37**	-33.04	-71.66	**57**	-33.037	-71.659
18	-33.044	-71.666	**38**	-33.04	-71.661	**58**	-33.037	-71.658
19	-33.043	-71.66	**39**	-33.04	-71.662			
20	-33.043	-71.661	**40**	-33.04	-71.663			

Nota: Las coordenadas geográficas se expresan en grados decimales (°). La latitud indica la posición norte-sur y la longitud indica la posición este-oeste de cada punto de muestreo en el área de estudio.

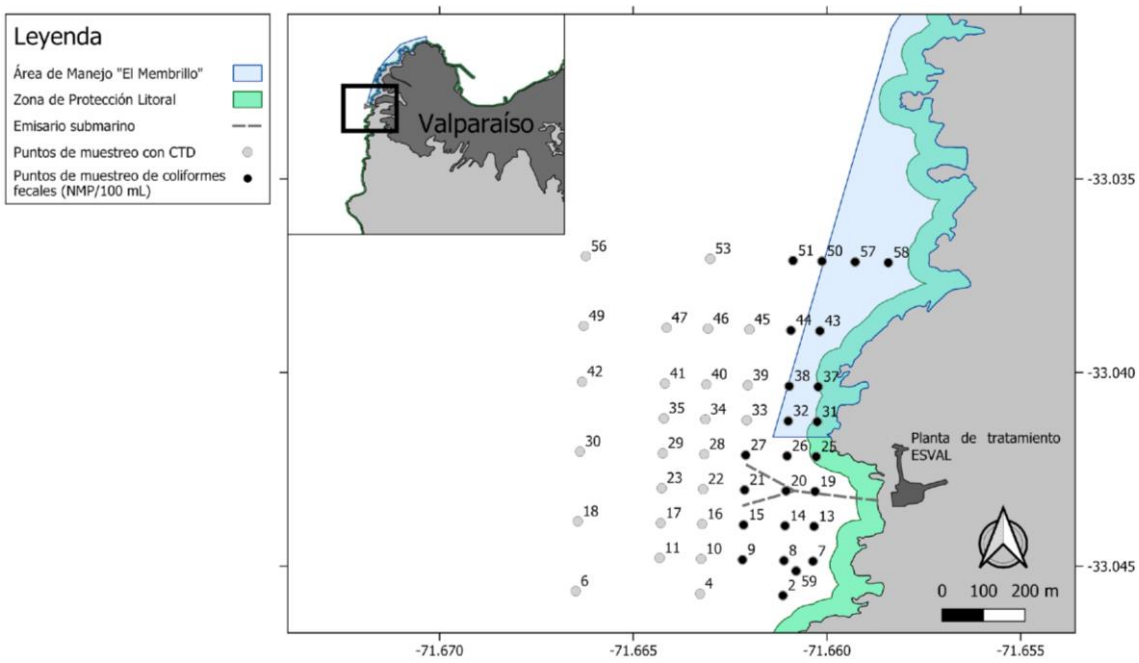


Figura 7: Mapa de la campaña de caracterización de la pluma de efluente del emisario submarino de Loma Larga utilizando CTD.

Figura 8: Muestreo con el CTD el 31 de mayo de 2023 en el sector de Loma Larga

6. Resultados y discusión

27 DE ABRIL 2023: Muestreo de zona litoral terrestre y marino

Los resultados de la campaña realizada por tierra al agua proveniente de la quebrada Loma Larga y área de la planta de ESVAL S.A. indicó una concentración de coliformes fecales variables dependiendo del sitio de muestreo (Tabla 3). En el punto 1, ubicado en la parte superior de la quebrada (Figura 4), se registró la menor concentración de coliformes fecales, alcanzando un valor de 250 NMP/100 mL (Tabla 3). Por otro lado, el punto 2, situado bajo las instalaciones de la planta, pero antes de llegar al mar, presentó la concentración más alta de coliformes fecales, llegando a los 16.000 NMP/100 mL (Tabla 3). Tanto el punto 1 como el punto 2 la salinidad registrada fue cercana a 0, característica del agua dulce. En cuanto al punto 3, concentración de coliformes fecales disminuyó en comparación al punto 2, registrando un valor de 5.600 NMP/100 mL (Tabla 3). Las condiciones fisicoquímicas del agua fueron variables y se condicen con un agua de escorrentía superficial subsalina (<0,6 psu) en el caso del punto 1 y 2, en comparación con el punto 3 que presentó un aumento en la salinidad (> 10 psu) y cambio de oxígeno y pH asociado a una mezcla con agua de mar del sector intermareal (Tabla 3). Es importante considerar que el punto 3 ya puede ser considerado dentro de la ZPL (Figura 10.B).

Tabla 3: Parámetros Fisicoquímicos de agua dulce que cae por la quebrada Loma Larga dentro de la planta de ESVAL. Muestreo - abril 2023.

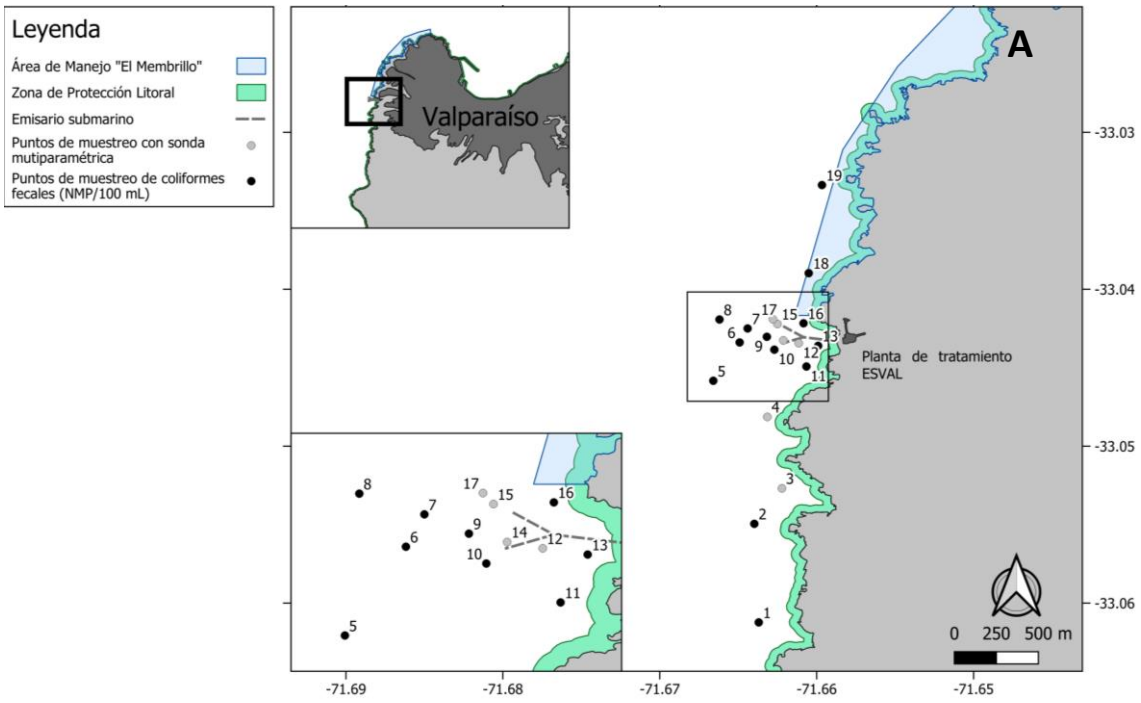
Punto	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Salinidad (psu)	Oxígeno Disuelto (ppm)	pH
1	250	0,55	8,40	7,62
2	16.000	0,47	9,54	8,35
3	5600	10,76	9,20	7,95

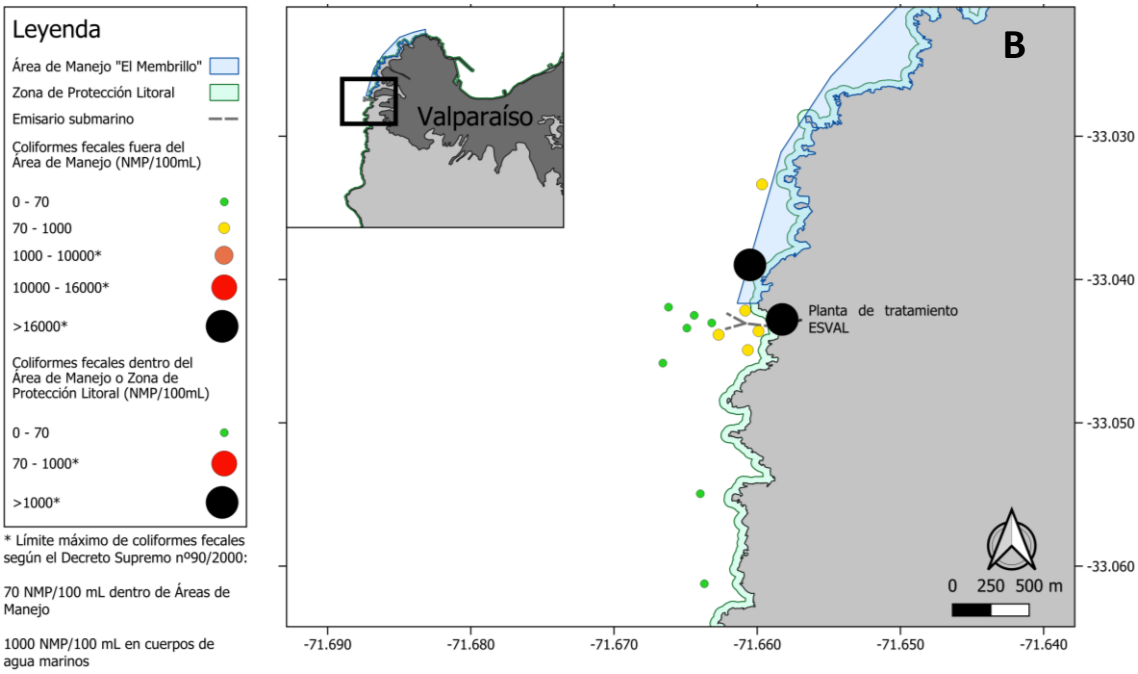
Los resultados del muestreo realizado por mar el día 27 abril de 2023 revelaron que se detectaron coliformes fecales en todas las muestras analizadas variando entre los 13 y > 1.600 NMP/100 mL (Tabla 4). El registro más alto de coliformes fecales se encontró en el punto 18, con un valor superior a 1.600 NMP/100 mL (Tabla 4). Es importante destacar que este punto se encuentra dentro del AMERB "El Membrillo" (Figura 10.B), donde el límite máximo establecido para coliformes fecales según el DS N°90 es de 70 NMP/100 mL. Las condiciones fisicoquímicas del agua dan cuenta de una variabilidad en la salinidad y oxígeno en sitios bajo impacto del emisario, incluyendo una baja en la salinidad $\leq$ 34,06 psu y oxígeno $\leq$ 5,77 ppm. en comparación con los puntos de control más alejados del emisario (punto 1 y 19). Esta disminución sugiere un incremento en la actividad microbiana debido a la presencia de un exceso de materia orgánica (Figura 10. C – D).

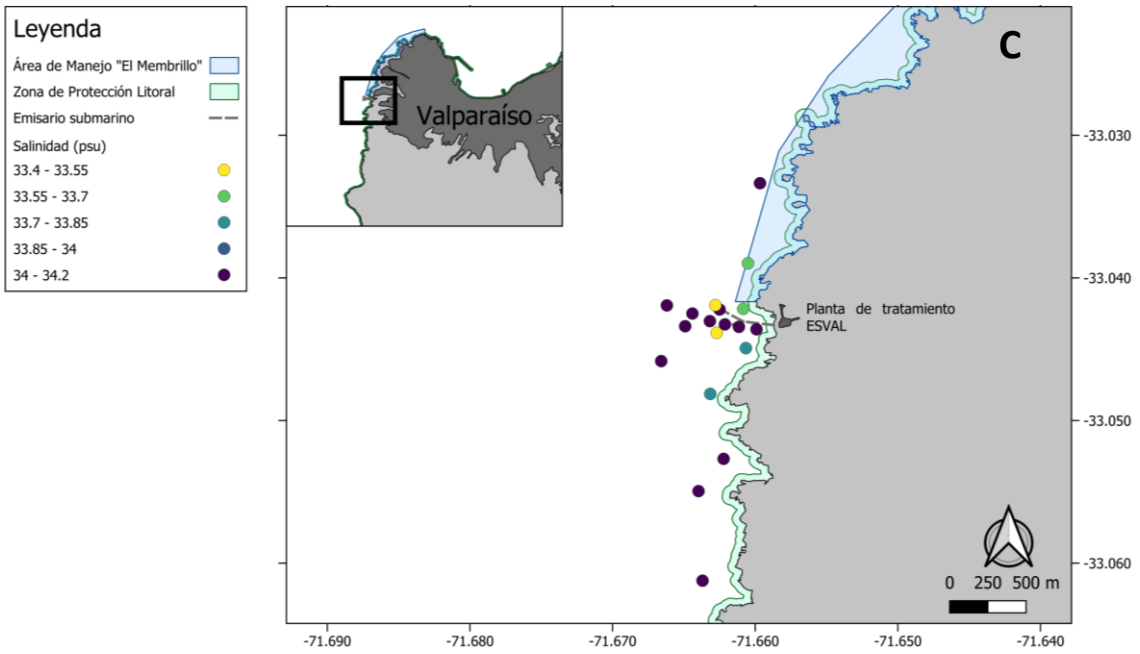
Tabla 4: Parámetros fisicoquímicos de la Pluma de Efluente – Muestras Superficiales de agua tomadas durante muestreo del 27 de abril 2023.

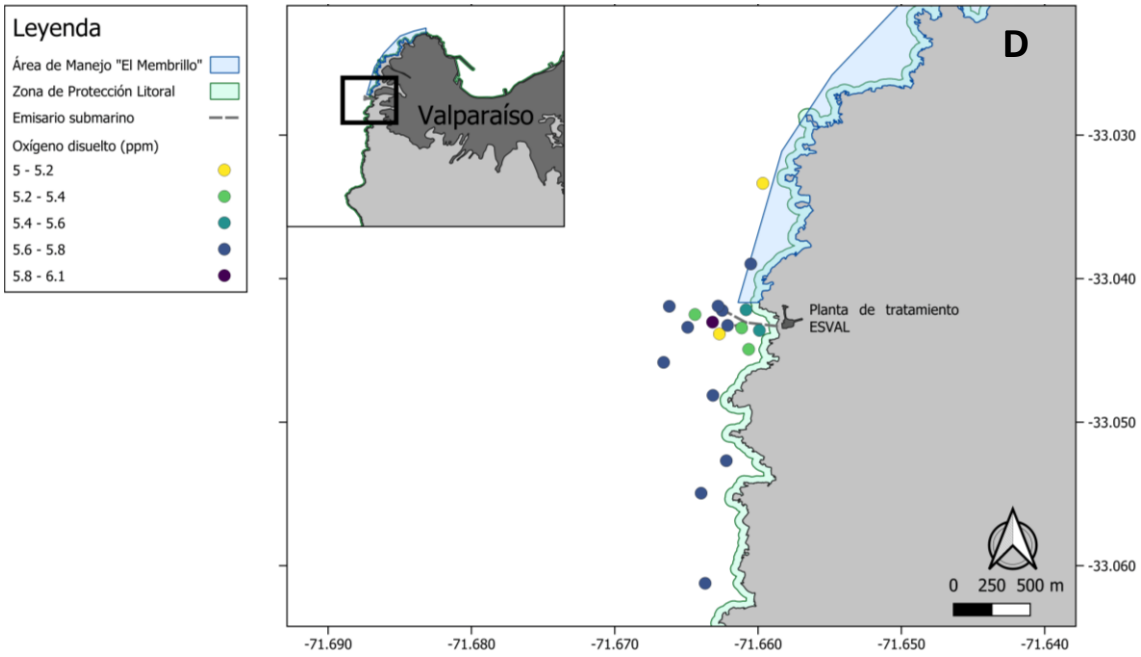
Punto	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Salinidad (psu)	Oxígeno Disuelto (ppm)	pH
1	23	34,17	5,67	7,97
2	23	34,17	5,77	8,02
3	-	34,03	5,77	8,02
4	-	33,75	5,75	8,03
5	23	34,05	5,73	8,03
6	13	34,06	5,71	8,04
7	13	34,03	5,23	7,99
8	13	34,15	5,74	8,04
9	23	34,17	5,83	8,05
10	920	33,48	5,10	7,98
11	79	33,77	5,31	7,99
12	-	34,18	5,40	8,00
13	130	34,02	5,43	8,00
14	-	34,17	5,64	8,04
15	-	34,10	5,66	8,04
16	920	33,61	5,58	8,03
17	-	33,46	5,75	8,04
18	>1600	33,61	5,77	8,03
19	920	34,06	5,09	7,96
20	-	33,93	6,01	8,06

Nota: (-) Puntos de muestreo donde no se realizó análisis de coliformes fecales


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Puntos de muestreo con sonda mutiparamétrica
Puntos de muestreo de coliformes fecales (NMP/100 mL)
A
Valparaíso
Planta de tratamiento ESVAL
0 250 500 m
-33.03
-33.04
-33.05
-33.06
-71.69
-71.68
-71.67
-71.66
-71.65


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Coliformes fecales fuera del Área de Manejo (NMP/100mL)
0 - 70
70 - 1000
1000 - 10000*
10000 - 16000*
>16000*
Coliformes fecales dentro del Área de Manejo o Zona de Protección Litoral (NMP/100mL)
0 - 70
70 - 1000*
>1000*
* Límite máximo de coliformes fecales según el Decreto Supremo nº90/2000:
70 NMP/100 mL dentro de Áreas de Manejo
1000 NMP/100 mL en cuerpos de agua marinos
B
Valparaíso
Planta de tratamiento ESVAL
0 250 500 m
-33.030
-33.040
-33.050
-33.060
-71.690
-71.680
-71.670
-71.660
-71.650
-71.640


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Salinidad (psu)
33.4 - 33.55
33.55 - 33.7
33.7 - 33.85
33.85 - 34
34 - 34.2
Valparaíso
C
Planta de tratamiento ESVAL
0 250 500 m
-33.030
-33.040
-33.050
-33.060
-71.690
-71.680
-71.670
-71.660
-71.650
-71.640


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Oxígeno disuelto (ppm)
5 - 5.2
5.2 - 5.4
5.4 - 5.6
5.6 - 5.8
5.8 - 6.1
Valparaíso
D
Planta de tratamiento ESVAL
0 250 500 m
-33.030
-33.040
-33.050
-33.060
-71.690
-71.680
-71.670
-71.660
-71.650
-71.640

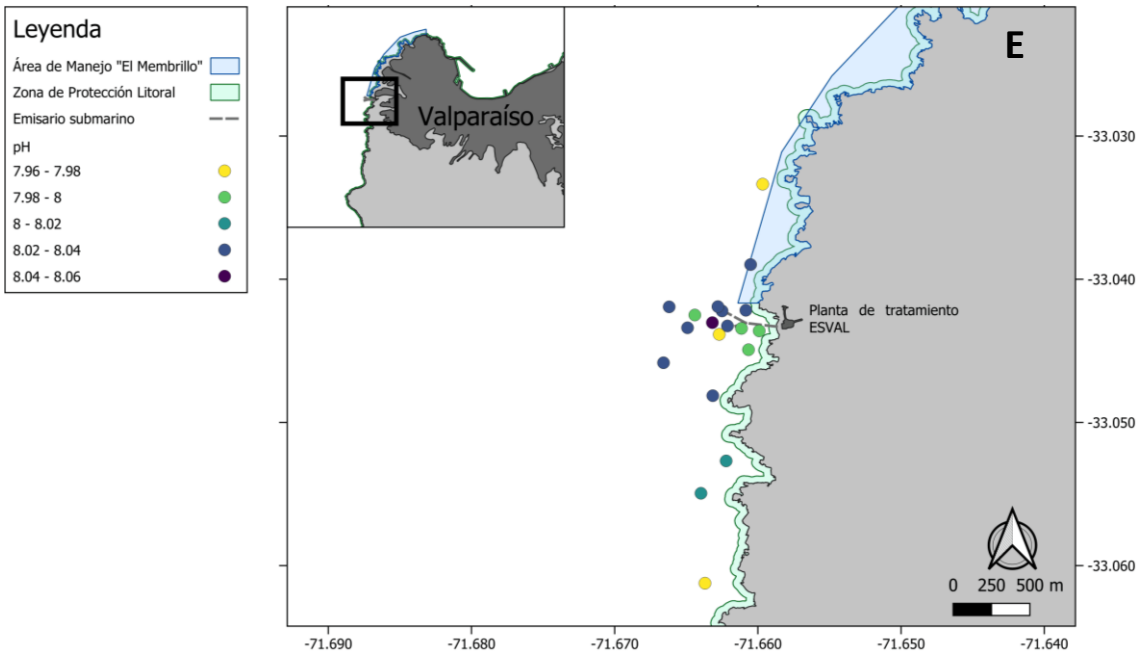


Figura 10: Mapas de caracterización del efluente del emisario de Loma Larga – Muestreo agua superficial del 27 de abril 2023. **A.-** Puntos de muestreo. **B**.- Concentración de coliformes fecales (NMP/100 mL). **C**.- Salinidad (psu). **D.-** Oxígeno disuelto (ppm). **E.-** pH.

Los resultados obtenidos en el análisis del gradiente de concentración de coliformes fecales a lo largo de la quebrada de Loma Larga muestran bajos niveles de coliformes fecales en el curso de agua que proviene de la quebrada. En efecto, las concentraciones de coliformes fecales son más altas en la zona intermedia de muestreo, aguas abajo del emplazamiento de la planta y antes de llegar al mar, sugiriendo que el incremento en los niveles de coliformes podría estar asociado al lavado de residuos que emanan de las operaciones en tierra de la planta. Luego, esos niveles bajan al mezclarse con el agua de mar. Por lo tanto, estos resultados sugieren que los altos niveles de coliformes medidos en la zona marítima cercana a la orilla no provendrían de cursos de agua de quebradas, sino que de operaciones de tierra o mar asociadas a la descarga de Loma Larga.

En relación a los muestreos marinos, los resultados obtenidos revelan altos niveles significativos de coliformes fecales en el borde costero, las cuales superan los límites establecidos por la norma de emisión DS N° 90, incluso en dentro de la ZPL y las AMERB. Siempre es importante destacar que lo medido fueron coliformes fecales diluidos en agua de mar, y aun así se superan los estándares aceptables según norma en el efluente mismo dentro de ZPL y AMERB. Lo anterior, indicaría un claro riesgo para los ecosistemas circundantes y la salud humana, considerando la explotación en el área de recursos naturales bentónicos para consumo humano a través de la actividad de pescadores de El Membrillo. Adicionalmente, aunque la zona no es para uso recreacional, si podemos usar el Decreto 144 como referencia considerando que pescadores desarrollan recurrentemente labores de buceo en estos sitios. En este contexto, hemos encontrado valores significativamente por encima del límite de 1.000 NMP/100 mL que

estipula el decreto, dejando clara evidencia del riesgo latente de salud para los pescadores que desempeñan actividades en la zona.

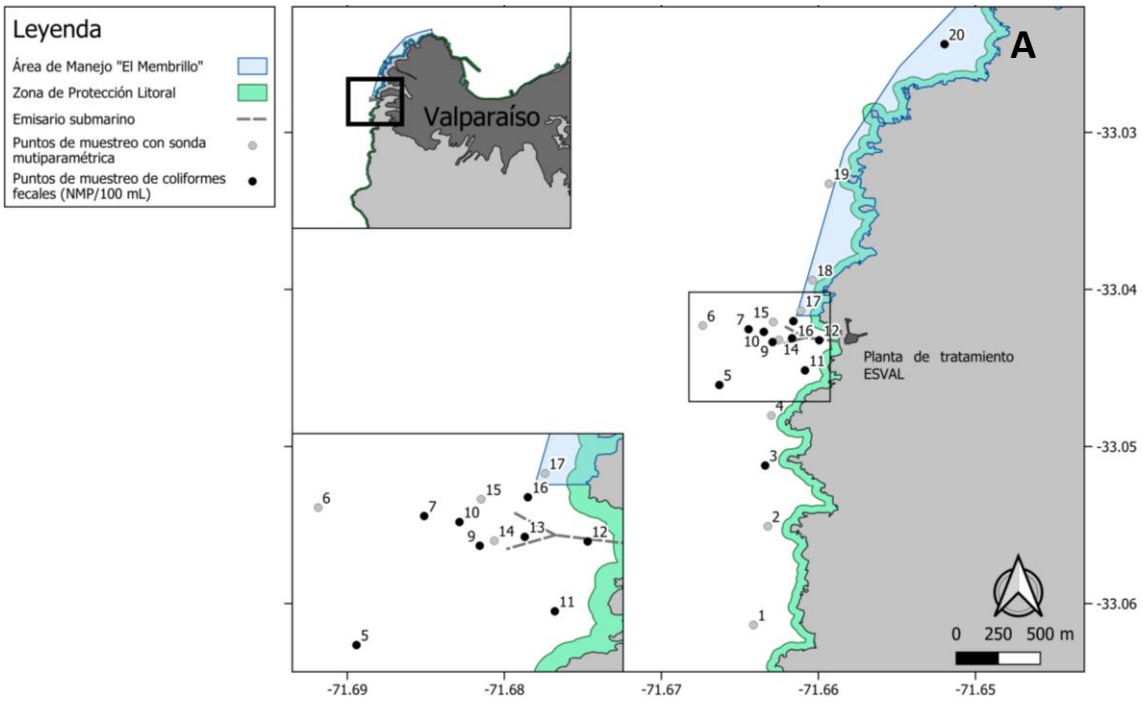
30 DE MAYO 2023: Muestreo Superficial de agua / Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

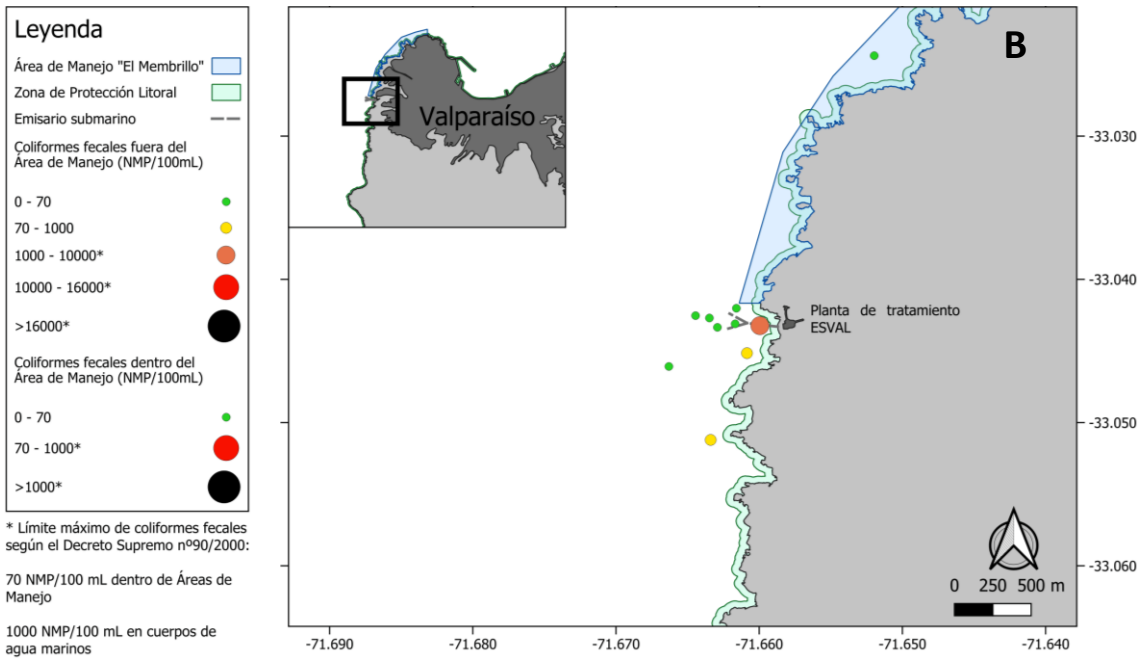
Los resultados de los muestreos realizados revelaron nuevamente altas concentraciones de coliformes fecales, en este caso en el punto 12, alcanzando un valor de 1.100 NMP/100 mL (Tabla 5). Este punto se encuentra en el tramo más cercano a la planta de aguas residuales muestreado, desde donde emana el emisario (Figura 11.B).

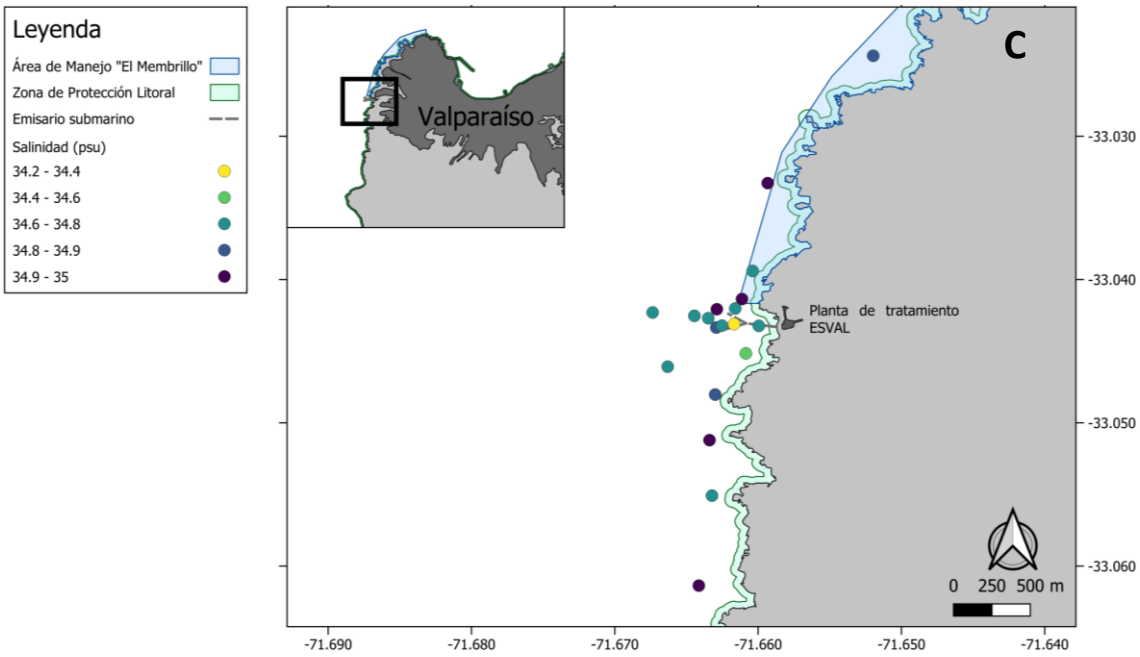
Tabla 5: Parámetros fisicoquímicos de la Pluma de Efluente – Muestras Superficiales de agua tomadas durante muestreo del 30 de mayo 2023.

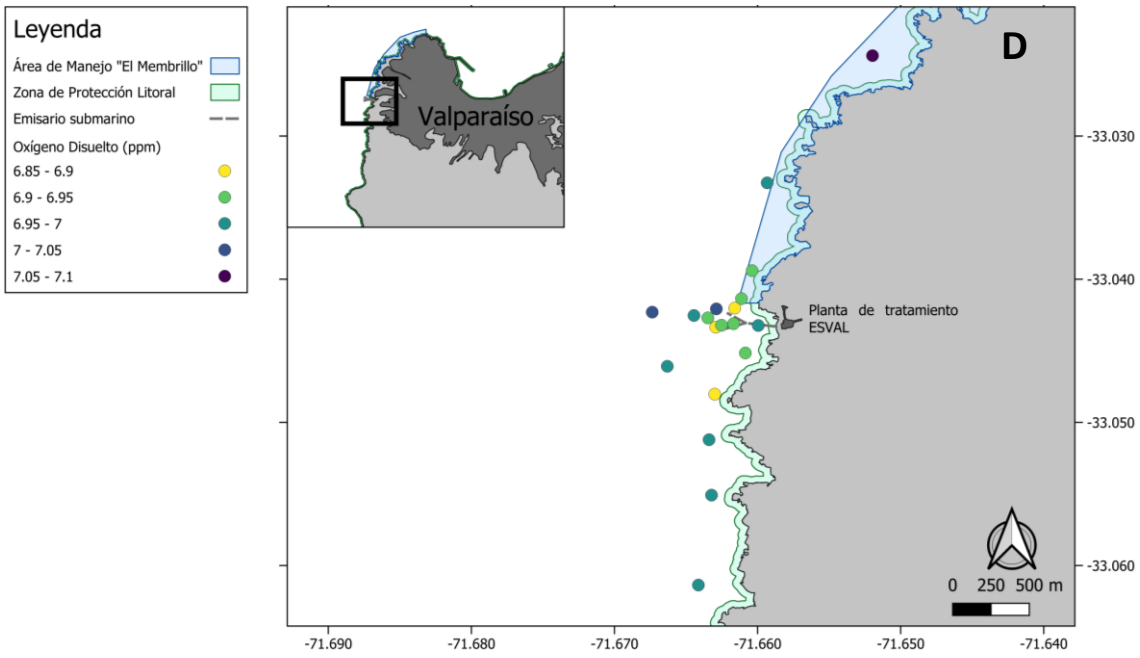
Punto	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Salinidad (psu)	Oxígeno disuelto (ppm)	pH
1	-	34,92	6,97	7,82
2	-	34,72	6,98	7,87
3	79	34,91	6,97	7,88
4	-	34,84	6,9	7,89
5	27	34,76	6,97	7,9
6	-	34,66	7,05	7,91
7	22	34,8	6,97	7,9
8	14	34,79	6,98	7,91
9	8	34,88	6,87	7,9
10	21	34,74	6,91	7,9
11	79	34,54	6,94	7,89
12	1.100	34,72	6,99	7,88
13	11	34,37	6,95	7,91
14	-	34,64	6,94	7,9
15	-	34,96	7,04	7,91
16	6	34,65	6,86	7,9
17	-	34,94	6,95	7,91
18	-	34,78	6,95	7,9
19	-	34,91	7,00	7,91
20	2	34,85	7,1	7,9

Nota: (-) Puntos de muestreo donde no se realizó análisis de coliformes fecales


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Puntos de muestreo con sonda mutiparamétrica
Puntos de muestreo de coliformes fecales (NMP/100 mL)
Valparaíso
A
Planta de tratamiento ESVAL
0 250 500 m
-33.03
-33.04
-33.05
-33.06
-71.69
-71.68
-71.67
-71.66
-71.65


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Coliformes fecales fuera del Área de Manejo (NMP/100mL)
0 - 70
70 - 1000
1000 - 10000*
10000 - 16000*
>16000*
Coliformes fecales dentro del Área de Manejo (NMP/100mL)
0 - 70
70 - 1000*
>1000*
* Límite máximo de coliformes fecales según el Decreto Supremo nº90/2000:
70 NMP/100 mL dentro de Áreas de Manejo
1000 NMP/100 mL en cuerpos de agua marinos
Valparaíso
B
Planta de tratamiento ESVAL
0 250 500 m
-33.030
-33.040
-33.050
-33.060
-71.690
-71.680
-71.670
-71.660
-71.650
-71.640


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Salinidad (psu)
34.2 - 34.4
34.4 - 34.6
34.6 - 34.8
34.8 - 34.9
34.9 - 35
Valparaíso
C
Planta de tratamiento ESVAL
0 250 500 m
-33.030
-33.040
-33.050
-33.060
-71.690
-71.680
-71.670
-71.660
-71.650
-71.640


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Oxígeno Disuelto (ppm)
6.85 - 6.9
6.9 - 6.95
6.95 - 7
7 - 7.05
7.05 - 7.1
Valparaíso
D
Planta de tratamiento ESVAL
0 250 500 m
-33.030
-33.040
-33.050
-33.060
-71.690
-71.680
-71.670
-71.660
-71.650
-71.640

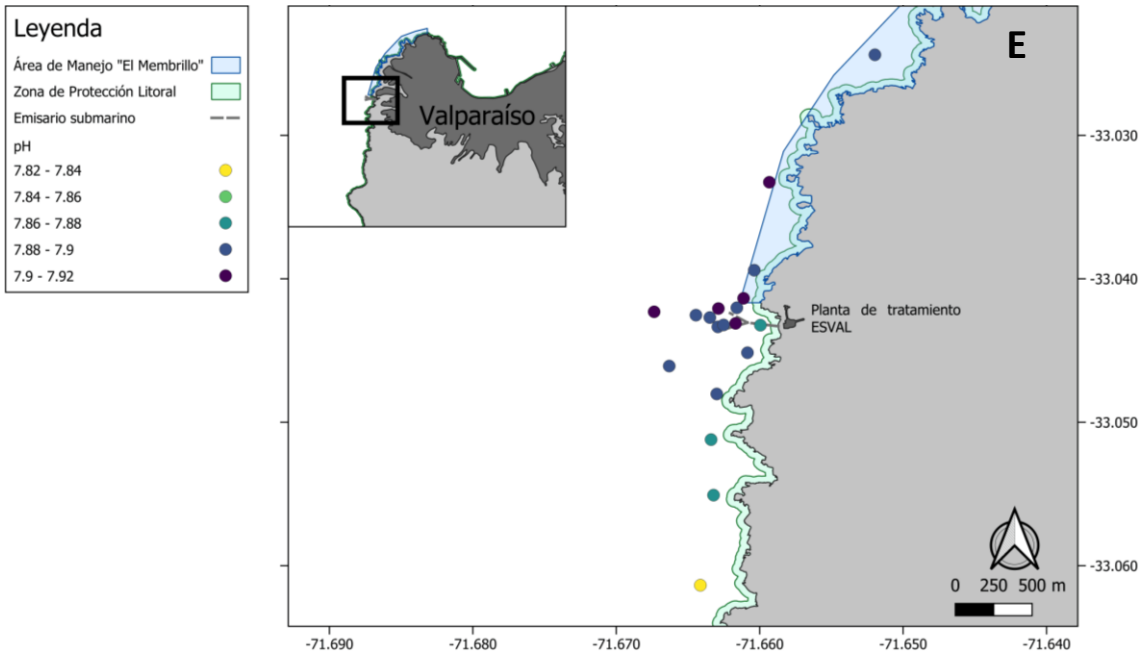


Figura 11: Mapas de caracterización del efluente del emisario de Loma Larga – Muestreo agua superficial el 30 de mayo de 2023. **A.-** Puntos de muestreo. **B**.- Concentración de coliformes fecales (NMP/100 mL). **C**.- Salinidad (psu). **D.-** Oxígeno disuelto (ppm). **E.-** pH.

Aunque el punto 12 se encuentra fuera de la ZPL y AMERB "El Membrillo", es cercano y sigue superando los límites establecidos por el DS N°90, que establece un máximo de 1.000 NMP/100 mL para las concentraciones de coliformes fecales en la descarga dentro de ZPL.

31 DE MAYO 2023: Campaña CTD/ Muestreo superficial de agua / Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los resultados obtenidos de manera complementaria durante la campaña de CTD y muestreo para medición de concentraciones de coliformes fecales llevada a cabo el 31 de mayo del presente año revelaron un patrón consistente y significativo en relación con experiencias anteriores. Específicamente, se encontraron las mayores concentraciones de coliformes fecales en los puntos más cercanos a los ramales y difusores del emisario submarino. Próximo al difusor norte, se registraron valores de 3.500 NMP/100 mL, mientras que en las cercanías del emisario sur se obtuvieron muestras con concentraciones de 17.000, 9.200, 16.000 y 11.000 NMP/100 mL (Tabla 6; Figura 12.B). Además, se observó un patrón de disminución en los niveles de oxígeno disuelto y pH en los puntos con concentraciones más altas de coliformes fecales. Esto indica una posible acidificación del medio y agotamiento del oxígeno debido a la actividad microbiana asociada con la presencia exceso de materia orgánica (Figura 12.D). Estos hallazgos indicarían una relación directa entre la presencia de coliformes fecales en altas concentraciones y los parámetros fisicoquímicos del agua. Los resultados previamente mostrados superan ampliamente los limites expuestos en el DS N°90 al menos dentro de ZPL, de 1.000 NMP/100 mL. A pesar de que estas excesivas concentraciones de coliformes fecales se registraron fuera de la ZPL y AMERB, no dejan de ser alarmantes considerando su proximidad a la costa, reforzando también la premisa de un potencial retorno a costa de los vertidos del emisario Loma Larga.

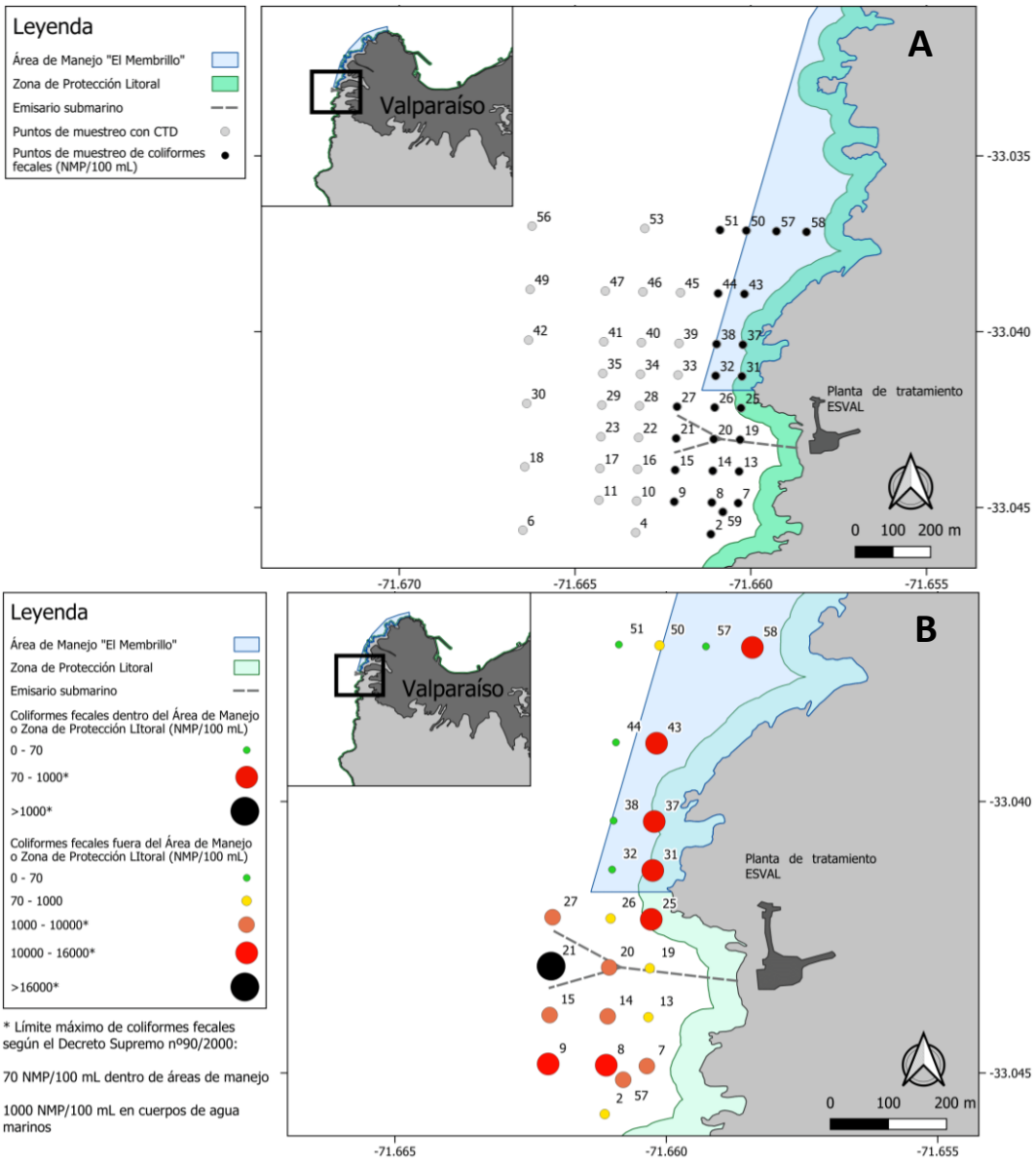
Tabla 6: Parámetros Fisicoquímicos de la Pluma de Efluente – Muestras Superficiales de agua tomadas durante la campaña de CTD.

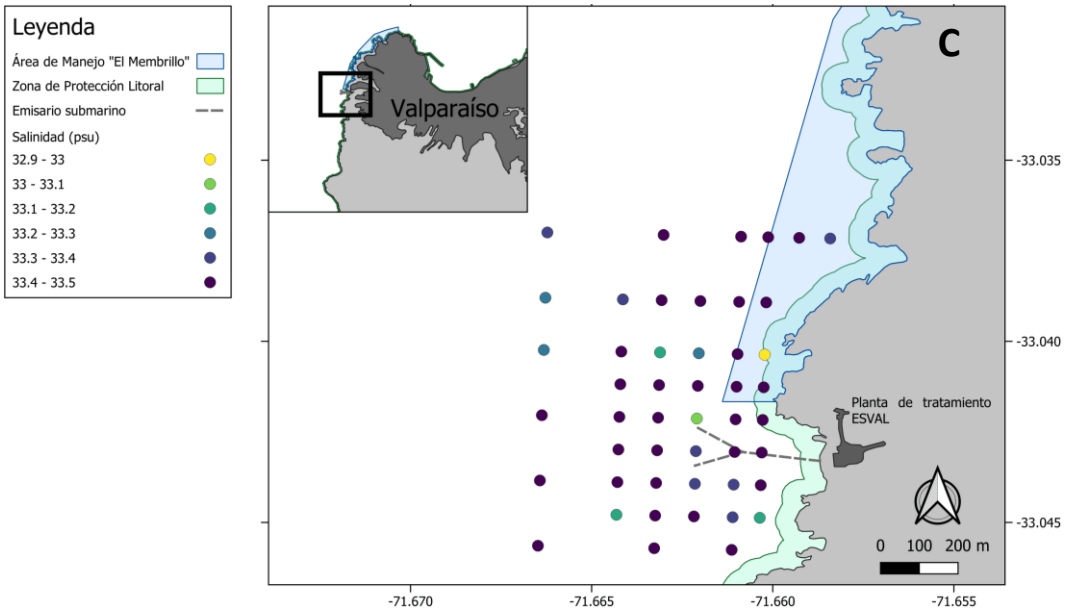
Punto	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Salinidad (psu)	Oxígeno Disuelto (ppm)	pH
2	240	33,43	6,94	7,9
4	-	33,47	7,19	7,9
6	-	33,45	7,24	7,9
7	>1.600	33,15	6,63	7,8
8	11.000	33,4	6,47	7,8
9	> 1.600	33,41	6,65	7,9
10	-	33,47	7,26	7,9
11	-	33,11	7,02	7,9
13	540	33,47	6,78	7,8
14	3.500	33,34	6,5	7,8
15	9.200	33,4	6,18	7,8
16	-	33,48	7,19	7,9
17	-	33,48	7,06	7,9
18	-	33,41	7,2	7,9
19	350	33,46	7,5	7,8
20	5.400	33,41	6,29	7,8
21	17.000	33,33	6,3	7,8
22	-	33,47	7,13	7,9
23	-	33,41	7,08	7,9
25	920	33,47	7,02	7,8
26	240	33,46	7,04	7,9
27	3.500	33,03	6,03	7,8
28	-	33,49	6,99	7,9
29	-	33,47	7,11	7,9
30	-	33,48	7,05	7,9
31	130	33,42	7,17	7,8
32	< 1,8	33,48	6,95	7,9
33	-	33,46	6,99	7,9
34	-	33,49	7,17	7,9
35	-	33,44	7,18	7,9
37	280	32,97	7,58	7,8
38	< 1,8	33,46	6,94	7,9
39	-	33,24	7,19	7,9
40	-	33,19	7,03	7,9
41	-	33,46	7,24	7,9
42	-	33,29	7,25	7,9
43	540	33,46	7,34	7,8
44	9.200	33,41	6,97	7,9
45	-	33,46	7,07	7,9
46	-	33,41	7,17	7,9
47	-	33,39	7,16	7,9
49	-	33,24	7,21	7,9
50	220	33,44	7,19	7,9
51	23	33,42	6,94	7,9

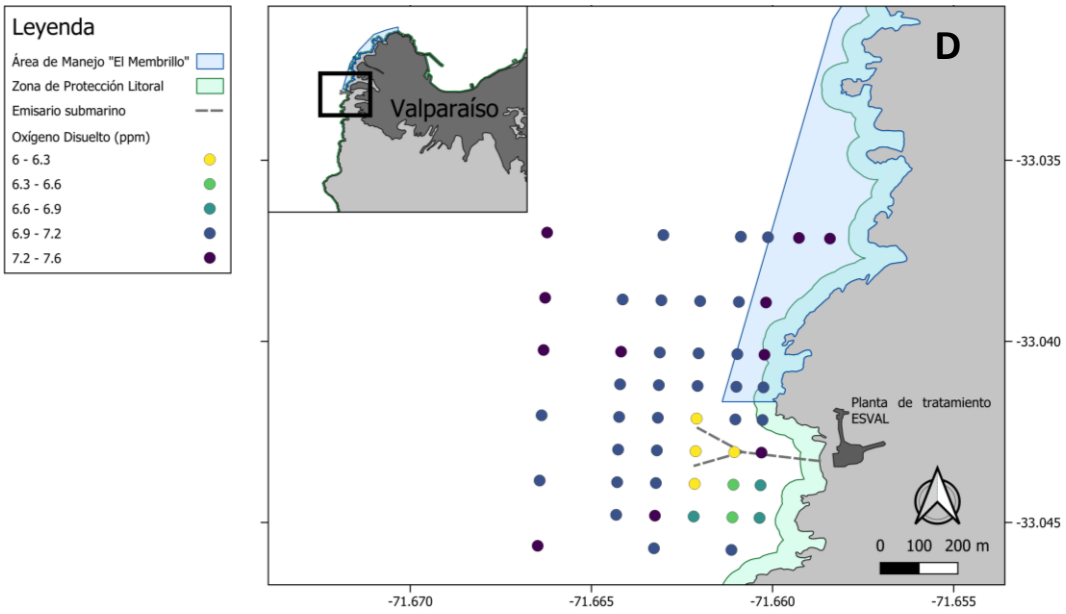
53	-	33,45	7,06	7,9
56	-	33,39	7,27	7,9
57	49	33,49	7,44	7,8
58	240	33,37	7,47	7,8

Nota: (-) Puntos de muestreo donde no se realizó análisis de coliformes fecales

La campaña de CTD reveló una disminución en la salinidad en los distintos puntos de muestreo previamente definidos, tanto en el agua superficial como en los niveles de 20 metros y de fondo. Específicamente, se observó una marcada reducción en la salinidad en los puntos cercanos al emisario y sus difusores (Figura 13). Esta disminución se atribuye al impacto del efluente de aguas residuales, que se transportan en una base predominante de agua dulce y provoca una menor salinidad. Considerando lo anterior, es importante mencionar que el agua dulce tiene menor densidad en comparación con el agua de mar debido su exceso de sales. El análisis de la pluma de salinidad reveló que la disminución de la salinidad se extiende hacia el norte y el sur desde los difusores. Además, se puede ver a distintas profundidades un patrón de dispersión hacia el noreste, llegando directamente a la zona de AMERB y ZPL. Esta reducción en la salinidad coincide de manera significativa con los resultados de coliformes fecales obtenidos en los mismos puntos de muestreo (Tabla 6; Figura 12.B; Figura 14) y de aquellos desarrollados anteriormente (Tabla 4; Figura 10.B; Tabla 5; Figura 11.B). Estos hallazgos sugieren que las altas concentraciones de coliformes fecales registradas en la AMERB y la ZPL provendrían del efluente del emisario de aguas residuales de ESVAL que retornan a costa.


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Puntos de muestreo con CTD
Puntos de muestreo de coliformes fecales (NMP/100 mL)
Valparaíso
A
Planta de tratamiento ESVAL
0 100 200 m
-33.035
-33.040
-33.045
-71.670
-71.665
-71.660
-71.655
Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Coliformes fecales dentro del Área de Manejo o Zona de Protección LItoral (NMP/100 mL)
0 - 70
70 - 1000*
>1000*
Coliformes fecales fuera del Área de Manejo o Zona de Protección LItoral (NMP/100 mL)
0 - 70
70 - 1000
1000 - 10000*
10000 - 16000*
>16000*
* Límite máximo de coliformes fecales según el Decreto Supremo nº90/2000:
70 NMP/100 mL dentro de áreas de manejo
1000 NMP/100 mL en cuerpos de agua marinos
Valparaíso
B
Planta de tratamiento ESVAL
0 100 200 m
-33.040
-33.045
-71.665
-71.660
-71.655


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Salinidad (psu)
32.9 - 33
33 - 33.1
33.1 - 33.2
33.2 - 33.3
33.3 - 33.4
33.4 - 33.5
Valparaíso
C
Planta de tratamiento ESVAL
0 100 200 m
-33.035
-33.040
-33.045
-71.670
-71.665
-71.660
-71.655


Leyenda
Área de Manejo "El Membrillo"
Zona de Protección Litoral
Emisario submarino
Oxígeno Disuelto (ppm)
6 - 6.3
6.3 - 6.6
6.6 - 6.9
6.9 - 7.2
7.2 - 7.6
Valparaíso
D
Planta de tratamiento ESVAL
0 100 200 m
-33.035
-33.040
-33.045
-71.670
-71.665
-71.660
-71.655

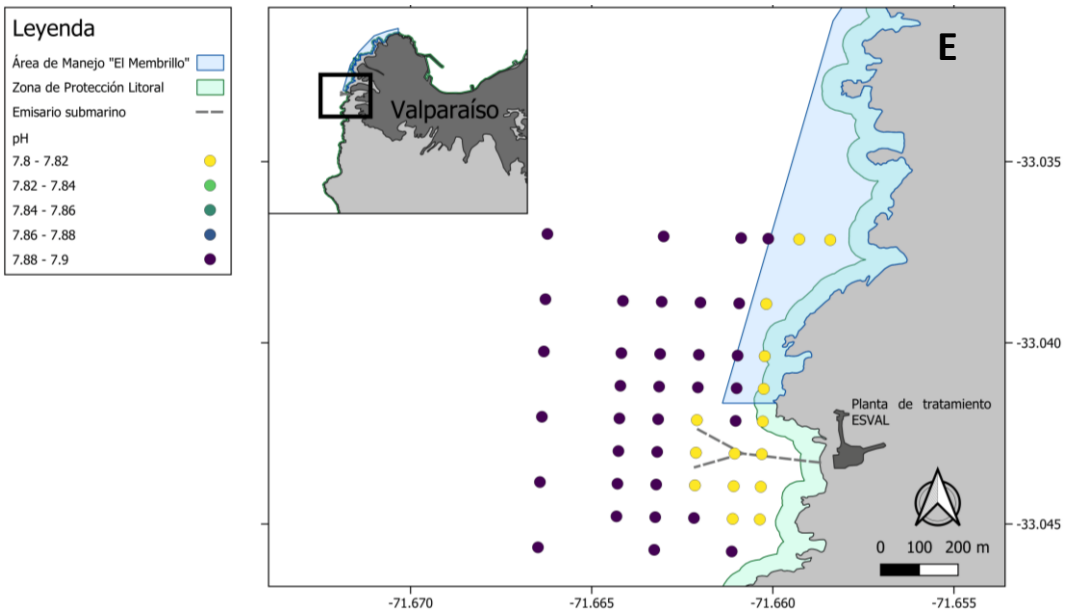


Figura 12: Mapas de caracterización del efluente del emisario de Loma Larga – Campaña CTD agua superficial 31 mayo 2023. **A.-** Puntos de muestreo. **B**.- Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100 mL). **C**.- Salinidad (psu). **D.-** Oxígeno Disuelto (ppm). **E.-** pH.

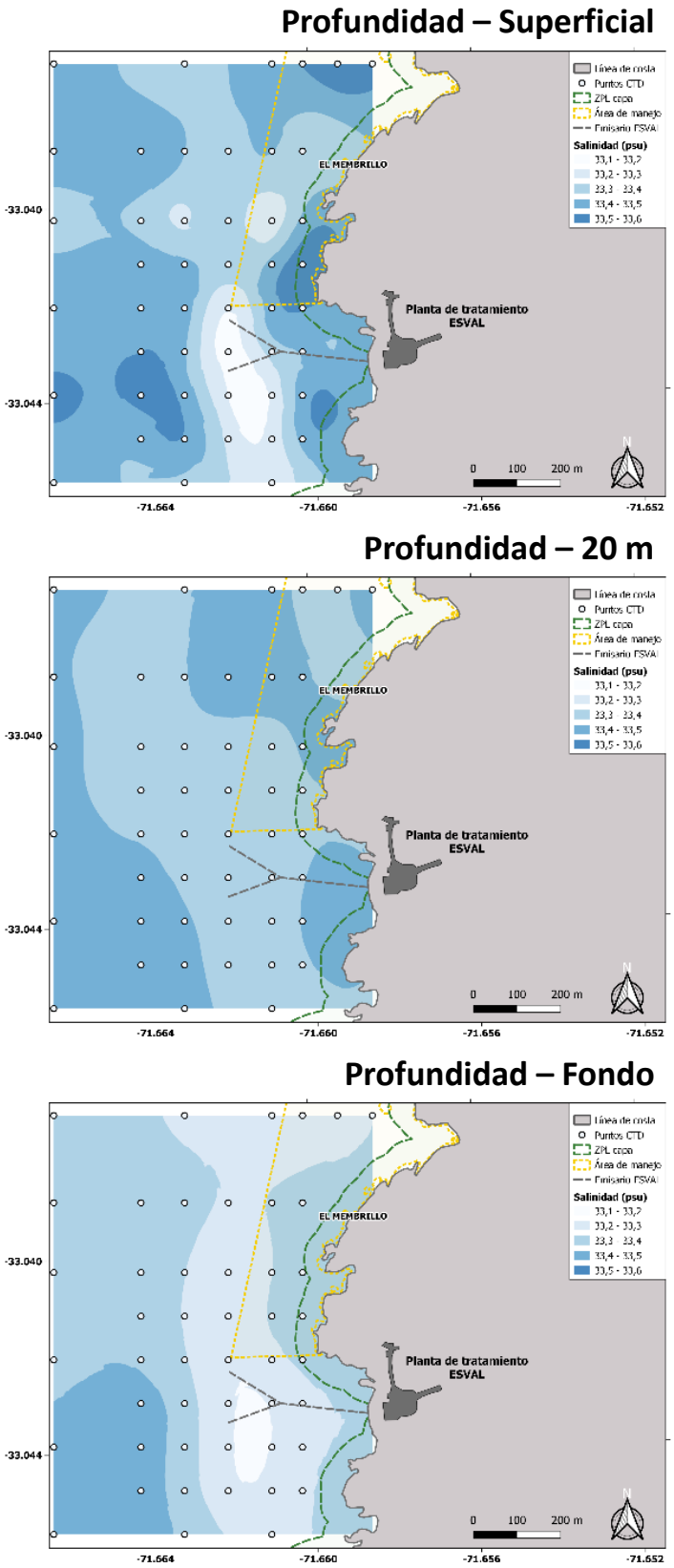


Figura 13: Mapas de campaña de CTD. Salinidad registrada a profundidad Superficial, 20 metros y Fondo de los puntos muestreados.

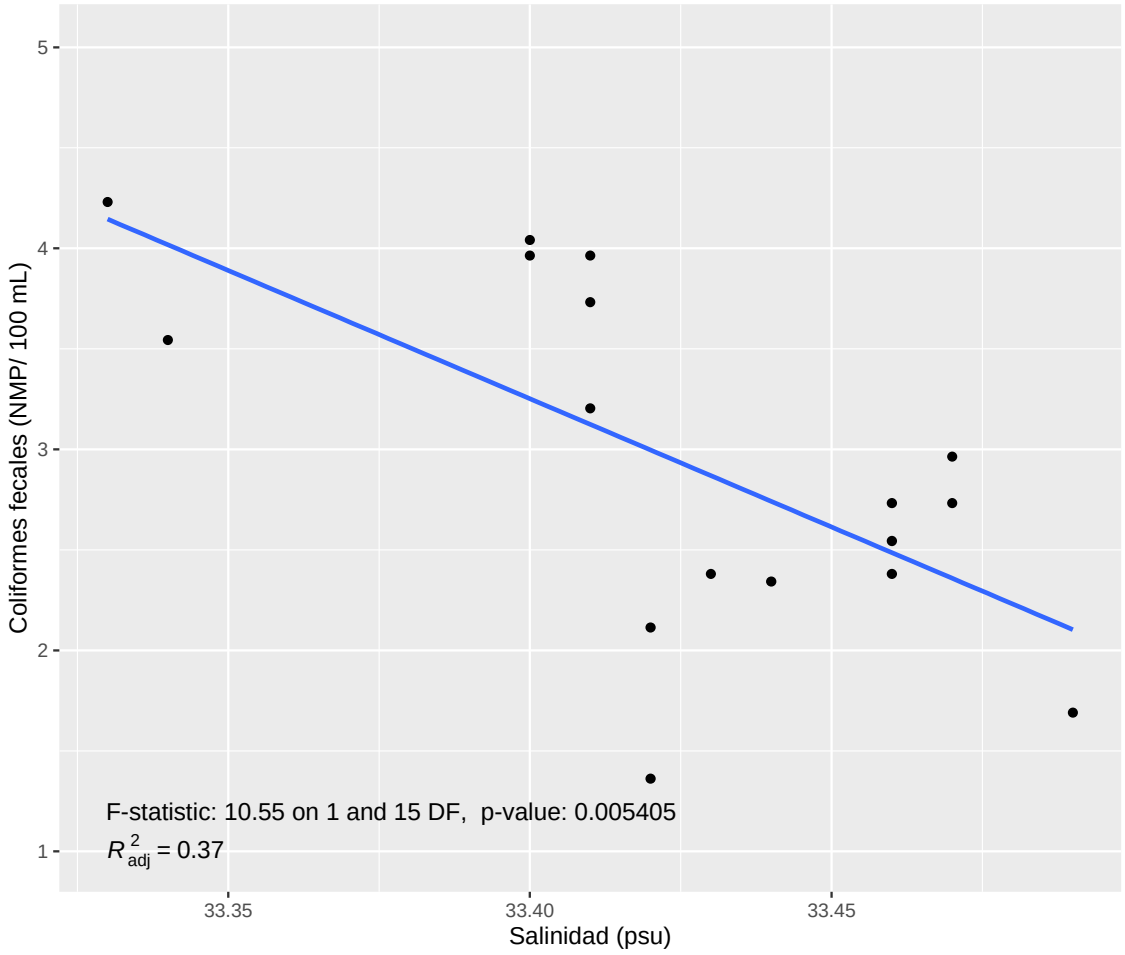


Figura 14: Regresión lineal que muestra correlación significativa entre la salinidad (psu) y los coniformes fecales (NMP/100 mL).

7. Conclusiones

Los datos recopilados durante los muestreos y estudios realizados en abril y mayo de 2023 por parte de nuestro centro, sugieren que el emisario submarino de Loma Larga, operado por ESVAL S.A., es el principal responsable de los altos niveles de coliformes fecales detectados en aguas adyacentes a la costa. Estas concentraciones son indicativas de contaminación de patógenos microbiológicos y representan un riesgo tanto para la salud humana como para la integridad de los ecosistemas marinos circundantes.

Las mediciones de parámetros fisicoquímicos, como la salinidad, el oxígeno disuelto y el pH, revelan una clara correlación con las concentraciones de coliformes fecales. Se observa una marcada disminución de estos parámetros en los puntos cercanos al emisario, lo que se atribuiría directamente a los efluentes de aguas residuales.

El patrón de dispersión del efluente muestra que las descargas del emisario se desplazarían hacia el norte y el sur, como también noreste en dirección a ZPL y AMERB de "El Membrillo". Los resultados revelan que las concentraciones de coliformes fecales en determinados sitios de la ZPL y el AMERB superan ampliamente los límites establecidos en la norma de emisión DS Nº 90 y Decreto N°144, como en diferentes estándares internacionales, usados como referencia.

Es importante mencionar que el exceso de coliformes fecales en el ecosistema costero puede tener un impacto negativo significativo en las comunidades, aspecto que idealmente sería necesario profundizar en nuevos estudios. Antecedentes científicos nos demuestran que los organismos bentónicos con movilidad limitada son especialmente vulnerables a los efectos adversos de la contaminación fecal. Esto puede ocasionar alteraciones en la composición y estructura de las comunidades biológicas, afectar los procesos biogeoquímicos y comprometer la integridad ecológica y sus servicios ecosistémicos. Cabe destacar que las aguas residuales no solamente se componen de microorganismos de origen fecal sino que se asocian también a múltiples contaminantes tales cómo farmacéuticos (Ehrhart and Granek 2021), disruptores endocrinos y metales que no están considerados en este informe. Dichos contaminantes tienen efectos negativos sobre los ecosistemas costeros y son de interés para considerar en futuros estudios en la zona.

Del mismo modo, los altos niveles evidenciados de coliformes fecales en las aguas costeras de la AMERB representan un claro riesgo para la salud humana. En efecto, los recursos pesqueros en la zona podrían acumular altos niveles de coliformes en sus tejidos y estructuras calcáreas, que a su vez podría causar daños crónicos o agudos ante una potencial ingesta de la población que consume productos explotados por la comunidad de pescadores de “El Membrillo”. Del mismo modo, representa un riesgo inminente para los pescadores que realizan actividades de buceo en la zona. Ciertamente, estos son aspectos que requieren de una urgente evaluación de riesgos.

Considerando la creación de la reciente norma secundaria para el área marítima en Quintero-Puchuncaví, se realza la necesidad de evaluar una propia para la zona Ventisqueros / AMERB “El Membrillo”.

Por último, es también importante poner los resultados recopilados en el contexto de normativa y regulación con base científico/técnica a nivel internacional, que definen los límites máximos aceptables de coliformes fecales en función del nivel de contacto que la persona pueda tener con el agua, es decir: 1) el contacto primario o directo, prolongado con el agua, como nadar, bucear o practicar deportes acuáticos en los que el cuerpo se sumerge en el agua; 2) el contacto secundario o indirecto, como caminar por orilla de playa, tomar el sol o pescar deportiva desde costa (Tabla 7). Evidentemente, mantener altos niveles de calidad del agua de acuerdo con las

normas internacionales es fundamental para garantizar la protección de la salud de las personas, desarrollar actividades pesqueras y promover un turismo recreativo sostenible en las costas chilenas.

Tabla 7: Valores guía para concentración de coliformes fecales en aguas costeras recreativas establecidas por organizaciones y países

País / Organización	Valores de referencia	Referencia
U. S. EPA	≤ 126 NMP/100 mL: valor se recomienda para la recreación de contacto primario. ≤ 1.000 NMP/100 mL: valor se recomienda para la recreación en contacto secundario.	U. S. EPA (2012)
WHO	≤ 1.000 NMP/100 mL: valor guía se recomienda para las actividades de contacto primario. ≤ 10.000 NMP/100 mL: valor guía se recomienda para las actividades de contacto secundario.	WHO, (2003)
Canadá	≤ 200 NMP/100 mL: valor guía para primer contacto. ≤ 1.000 NMP/100 mL: valor guía para contacto secundario.	Canadá, (2012)
Chile	1.000 NMP/100 mL: valor guía para actividades de recreación con contacto directo.	SEGPRES, (2008)

Las investigaciones desarrolladas hasta ahora por el HUB AMBIENTAL UPLA son contundentes en demostrar que los vertidos del emisario Loma Larga estarían retornando a la costa. En este contexto, la evidencia demuestra la urgente necesidad de evaluar alternativas para evitar riesgos ecosistémicos y para la salud pública. En efecto, existen medidas que podrían contribuir a minimizar los riesgos; por ejemplo, la aplicación de un pretratamiento secundario de inactivación microbiológica y/o modificaciones tecnológicas y logísticas del sistema de vertido que garantizaran una mayor dilución del vertido (acompañadas previamente de estudios de modelación para identificar la medida de mitigación más adecuada). Todo lo anterior, para asegurar el derecho básico de vivir en un medio ambiente libre de contaminación y los riesgos inminentes de afectación a los ecosistemas costeros y a la salud de las personas, a través del trabajo de explotación y consumo de recursos pesqueros potencialmente contaminados de la AMERB “El Membrillo”.

8. Agradecimientos

Estos estudios se han realizado con fondos otorgados por el Gobierno Regional de Valparaíso a través del proyecto FIC código BIP N°40046077, complementados con el proyecto ANID INES I+D (INID210013).

Se agradece también el apoyo logístico a la Armada de Chile a través de DIRECTEMAR y al Sindicato de Pescadores "El Membrillo", como a ESVAL S.A. por otorgar acceso terrestre a instalaciones de Loma Larga para muestreo del 21 de abril.

9. Referencias

Canada, H. 2012. Guidelines for Canadian Recreational Water Quality., Ottawa.

Ehrhart, A. L., and E. F. Granek. 2021. Pharmaceuticals and alkylphenols in transplanted Pacific oysters (Crassostrea gigas): Spatial variation and growth effects. Marine Pollution Bulletin **170**:112584.

EPA, U. S. E. P. A. 2012. Recreational Water Quality Criteria.*in* O. o. Water, editor., Washington D.C.

Fernández-Torquemada, Y., J. M. Gónzalez-Correa, A. Loya, L. M. Ferrero, M. Díaz-Valdés, and J. L. Sánchez-Lizaso. 2009. Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination plants. DESALINATION AND WATER TREATMENT **5**:137-145.

Presidencia, M. S. G. D. L. 2008. Decreto 144: Establece normas de calidad primaria para la protección de las Aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de Recreación con contacto directo.

WHO, W. H. O. 2003. Guidelines for Safe Recreational Water Environments.