



INFORME DE AVANCE N°2

“DIAGNÓSTICO Y MONITOREO AMBIENTAL DE LA BAHÍA
ALGODONALES, TOCOPILLA” *BIP 30130937-0*

Centro de Ecología Aplicada Ltda. • julio 2019



Gobierno Regional
Antofagasta

CONTROL DEL DOCUMENTO				
Versión	Fecha	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
0	30/04/2019	Salvador López Patricio Bahamondes Lucía Varas Benjamín González	José María Peralta	Manuel Contreras L.
1	04/07/2019	Salvador López	José María Peralta	Manuel Contreras L.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento corresponde al segundo informe de avance asociado al estudio titulado 'Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla', código BIP 30130937-0. De acuerdo con los TdR, se entrega la batimetría de la bahía en formato papel A0 y en formato digital *shape*, un avance en la evaluación de riesgo, un avance en la ejecución del monitoreo y actas de talleres de difusión. Además, se incluye un avance en la elaboración de una cartera de proyectos.

Se presenta un avance en la elaboración de la cartera de proyectos, al considerar la metodología de árbol de problemas, donde se realizó un análisis de entorno al utilizar una matriz PESTAL y un análisis de actores.

Por otro lado, con respecto a la evaluación de riesgo a la salud humana, se llevó a cabo una evaluación a la salud de la población de la comuna de Tocopilla y una búsqueda sistemática de información.

Además, se presenta una caracterización ambiental del ecosistema marino de la bahía Algodonales, ubicada en la región de Antofagasta, aproximadamente a 175 km al norte de la ciudad del mismo nombre. La caracterización fue desarrollada a partir de la revisión de antecedentes bibliográficos, de carácter científico, técnico y de bases de datos de gestión pública y privada. La información y los datos fueron sistematizados de forma tal de poder analizarlos en función de alcanzar el objetivo principal del proyecto, el cual es elaborar un diagnóstico ambiental de la bahía.

Se siguió una aproximación jerarquizada de fenómenos y propiedades oceanográficas con el objeto de poder integrar los procesos determinantes del funcionamiento ecosistémico en la bahía de Algodonales. Se le ha dado relevancia en el orden a aquellas variables de las cuales se dispone de mayor cantidad de datos para encontrar patrones interanuales o espaciales del funcionamiento ecológico y ambiental del territorio. Desde lo más amplio; se describió el efecto del sistema ENOS en el comportamiento de variables oceanográficas de interés; se obtuvo la batimetría de la bahía con datos existentes; y se llevó a cabo la descripción y caracterización de sus aguas y sedimentos de fondo, para finalizar describiendo la biota existente en la bahía, desde el fito y zooplancton hasta las comunidades de organismos bentónicos e Ictiofauna que allí se manifiestan.

La bahía de Algodonales constituye un sistema ambiental claramente definido donde interactúan una serie de factores (naturales y antrópicos) y procesos que determinan su funcionamiento y trayectoria. Desde el punto de vista del sistema ambiental, en la bahía convergen actividades de al menos 5 diferentes titulares que descargan elementos en la bahía, entre los cuales se incluye el emisario de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad, empresas termoeléctricas, entre otras. Desde la perspectiva ecológica, existen procesos naturales que allí ocurren, principalmente el fenómeno de surgencia recurrente de aguas frías cargadas de nutrientes, lo que influye directamente en la productividad de la zona.

El conocimiento científico de la bahía Algodonales es escaso a diferencia de otras bahías cercanas (Mejillones, San Jorge), por lo que en la actualidad no se dispone de una base sólida que permita entender a cabalidad los procesos que gobiernan el funcionamiento de esta bahía, desde una perspectiva temporal.

Al respecto, para complementar la información histórica recopilada de calidad química en las distintas matrices de interés, a la fecha se han realizado dos campañas de medición de parámetros de calidad química de agua y sedimentos, invierno 2018 y verano 2019, comprendida entre los sectores de cenizales norte y frente a LIPESED. Del mismo modo, para complementar la información de caracterización física del sitio de interés, se llevó a cabo un estudio de oceanografía física de correntimetría euleriana mediante la instalación de un equipo ADCP y de correntimetría lagrangiana mediante el lanzamiento de derivadores distribuidos a lo largo de la Bahía Algodonales, en las campañas mencionadas anteriormente.

Se realizó un análisis de los datos existentes con relación a monitoreos históricos de la calidad de agua y de los sedimentos de la bahía, centrándose en aquellos parámetros de mayor importancia desde la perspectiva ambiental y para la salud de las personas, considerando normativas nacionales e internacionales para ambos componentes.

Así, del análisis en cuanto a las concentraciones normadas para metales en columna de agua en base a los cuerpos normativos estudiados, se observó que, del total de registros históricos, los metales Cadmio, Cobre y Plomo en sus fracciones disueltas registraron un alto porcentaje de excedencia en algunos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada. Asimismo, las fracciones disueltas de los metales Arsénico y Selenio no registraron valores que excedieran los umbrales de las normas analizadas. Por otra parte, las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en la columna de agua, se observó tendencias a la disminución en el tiempo en las fracciones totales del Cobre, Cromo y Zinc.

En cuanto a las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en los sedimentos submareales de la bahía, se observó una tendencia para el Cobre, Cromo, Plomo, Zinc y Mercurio, tal que a lo largo del periodo de estudio comprendido entre 1994 y 2018, las concentraciones promedio anuales han disminuido gradualmente desde la década de los 90 hasta los registros mínimos actuales en las campañas 2017-2018. Además, se observó que el Arsénico registró sus mayores valores en los últimos años del periodo, mientras que el Vanadio lo hizo en el último año. Por otra parte, las concentraciones de Cadmio no presentaron una tendencia clara. En cuanto a las concentraciones normadas para metales en sedimentos, del total de registros históricos, solo Arsénico y Cobre registraron un alto porcentaje de excedencia en términos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada de Persaud (1993), MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG de Australia y Nueva Zelanda (2002).

De la caracterización de metales en biota, se obtuvo que el arsénico y los metales cadmio, cobre, plomo y zinc presentaron periodos de tiempo en donde superaron, al menos una, de

las referencias nacionales y/o internacionales, donde las componentes arsénico, cadmio y cobre, han sostenido este comportamiento en el tiempo, incluyendo los últimos 3 años de muestreo. En el caso de los metales cromo, mercurio, plomo y zinc se registraron valores altos entre los años 1993 y 2001, con la salvedad que en los últimos años de monitoreo los valores de concentraciones fueron menores a los límites establecidos por las referencias respectivas para cada metal.

Desde el punto de vista de las emisiones en bahía Algodonales, destacó la actividad de las empresas termoeléctricas. De los datos analizados desde el 2005 al 2016, esta industria ha descargado cantidades importantes de elementos metálicos y sólidos suspendidos, sin embargo, no todos estos elementos se asocian a sus procesos, por lo cual resulta necesario analizar y contrastar esta información con datos de calidad de sus tuberías de succión, donde posiblemente exista más bien una recirculación de agentes metálicos, y no una incorporación de flujos másicos propiamente tal.

De los resultados de calidad química en las matrices de agua y sedimentos del monitoreo integrado llevado a cabo, en las campañas de invierno 2018 y verano 2019, en el agua no se presentaron valores de pH, redox ni de oxígeno disuelto que dieran cuenta de una degradación en las condiciones ambientales de la bahía, mientras que los registros de temperatura variaron de acuerdo a la estacionalidad climática. Respecto a los metales, las mayores concentraciones correspondieron al vanadio y molibdeno, durante invierno 2018, y de arsénico, zinc, hierro y molibdeno para verano 2019. Por otro lado, en los sedimentos se observaron altas concentraciones de hierro, cobre, molibdeno, arsénico y vanadio. En cuanto a los resultados de biota, se observó variaciones estacionales en el análisis cualitativo y cuantitativo del fito, ictio y zooplancton, además de una diferenciación espacial de la composición de taxas al haber, por ejemplo, una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios en el extremo sur y una mayor proporción de larvas de bivalvos y poliquetos de meroplancton en el extremo norte del área de estudio.

En resumen, de la caracterización histórica se destaca que en la columna de agua los metales Cadmio, Cobre y Plomo en sus fracciones disueltas, registraron un alto porcentaje de excedencia en algunos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada. Del mismo modo, en sedimentos y biota se encontraron metales que presentaron una tendencia a la disminución hasta no ser significativas en los registros más contemporáneos en términos normativos, sin embargo, las componentes arsénico y cobre registraron un alto porcentaje de excedencia en términos de los umbrales máximos registrados en las normativas comparadas para los sedimentos, y las componentes arsénico, cadmio y cobre superaron al menos en una, las referencias nacionales y/o internacionales, incluyendo los 3 últimos años de muestreo. De los resultados de las campañas de monitoreo se destaca la obtención de altas concentraciones de vanadio, molibdeno, arsénico, zinc y hierro en la columna de agua, mientras que en los sedimentos se registraron altas concentraciones de fierro, cobre, molibdeno, arsénico y vanadio.

Índice

1	Introducción	1-1
2	ÁREA DE ESTUDIO	2-1
3	Objetivos	3-1
3.1	Objetivo General	3-1
3.2	Objetivos Específicos	3-1
4	RESULTADOS	4-1
4.1	Objetivo Específico 1 (OE-1)	4-1
4.1.1	Análisis de la información existente del ecosistema marino de la bahía Algodonales.	4-14
4.1.1.1	Introducción	4-14
4.1.1.2	Procesos Oceanográficos de gran escala	4-14
4.1.1.2.1	Sistemas de corrientes en el norte de Chile	4-14
4.1.1.2.2	ENOS	4-16
4.1.1.2.3	Zona Mínima de Oxígeno (ZMO)	4-19
4.1.1.2.4	Surgencia	4-21
4.1.1.3	Estructura y funcionamiento ecosistémico en Bahía Algodonales.....	4-23
4.1.1.3.1	Caracterización física de los componentes abióticos	4-24
4.1.1.3.2	Caracterización fisicoquímica de los componentes abióticos	4-27
4.1.1.3.3	Caracterización de los componentes bióticos	4-131
4.1.1.3.4	Flujos antrópicos de materiales y organismos	4-145
4.1.2	Geodatabase	4-163
4.1.3	Discusión y conclusión	4-163
4.2	Objetivo Específico 2 (OE-2)	4-171
4.2.1	Monitoreo estacional de las componentes ambientales columna de agua, sedimento y biota de la bahía Algodonales.	4-171
4.2.1.1	Campaña de invierno 2018	4-174
4.2.1.1.1	Cuerpo de agua	4-178
4.2.1.1.2	Calidad de sedimentos.....	4-181
4.2.1.1.3	Comunidades planctónicas.....	4-186
4.2.1.1.4	Comunidades bentónicas submareal blando	4-199

4.2.1.1.5	Comunidades bentónicas submareal duro.....	4-201
4.2.1.1.6	Comunidades bentónicas intermareal blando	4-201
4.2.1.1.7	Comunidades bentónicas intermareal duro.....	4-203
4.2.1.2	Campaña verano 2019	4-203
4.2.1.2.1	Calidad de agua.....	4-203
4.2.1.2.2	Calidad de Sedimentos	4-207
4.2.1.2.3	Comunidades planctónicas.....	4-213
4.2.1.2.4	Comunidades bentónicas submareal blando	4-221
4.2.1.2.5	Comunidades bentónicas submareal duro.....	4-223
4.2.1.2.6	Comunidades bentónicas intermareal blando	4-223
4.2.1.2.7	Comunidades bentónicas intermareal duro.....	4-225
4.2.2	Monitoreo estacional de variable oceanográficas de Bahía Algodonales ..	4-226
4.2.2.1	Campaña invierno 2018	4-228
4.2.2.1.1	Corrientes Eulerianas.....	4-228
4.2.2.1.2	Corrientes Lagrangianas	4-241
4.2.2.2	Campaña verano 2019	4-250
4.2.2.2.1	Corrientes Eulerianas.....	4-250
4.2.2.2.2	Corrientes Lagrangianas	4-262
4.2.3	Batimetría	4-271
4.2.4	Discusión y conclusión	4-276
4.3	Objetivo Específico 3 (OE-3)	4-279
4.3.1	Metodología	4-279
4.3.2	Resultados de la búsqueda sistemática de información	4-281
4.3.2.1	Peligro asociado a contaminantes estudiados.....	4-282
4.3.2.2	Revisión Sistemática de la Literatura científica	4-286
4.3.2.2.1	Efectos de contaminantes en agua de mar y peces	4-286
4.3.2.3	Niveles de referencia para contaminantes estudiados.....	4-296
4.3.3	Conclusiones.....	4-297
4.3.4	ANEXOS.....	4-297
4.3.4.1	Principales antecedentes de la comuna de Tocopilla	4-297
4.3.4.1.1	Antecedentes del área de estudio.....	4-299

4.3.4.1.2	Demografía	4-300
4.3.4.1.3	Clima	4-302
4.3.4.1.4	Determinantes sociales estructurales	4-303
4.3.4.1.5	Sistema de Salud.....	4-304
4.3.4.1.6	Otros factores determinantes de la salud	4-304
4.3.4.1.7	Indicadores de salud	4-314
4.4	Objetivo Específico 4 (OE-4)	4-321
4.4.1	Enfoque Metodológico	4-321
4.4.1.1	Ecología, Medio Ambiente y Gestión	4-321
4.4.1.1.1	Ecología.....	4-321
4.4.1.1.2	Gestión.....	4-324
4.4.1.2	Marco conceptual EPA	4-326
4.4.1.2.1	Presiones sobre el medio ambiente	4-330
4.4.1.2.2	Estado del medio ambiente.....	4-330
4.4.1.2.3	Respuestas de la sociedad al cambio ambiental	4-331
4.4.1.2.4	Efectos: Relaciones entre Presiones, Estados y/o Respuestas.....	4-332
4.4.1.3	Definición del Sistema Ambiental en Bahía Algodonales	4-332
4.4.1.4	Calificación del Estado del Medio Ambiente (Hyde 2011).....	4-334
4.5	Objetivo Específico 5 (OE-5)	4-337
4.5.1	Metodología de elaboración	4-337
4.5.2	Matriz PESTAL.....	4-337
4.5.2.1	Descripción	4-337
4.5.2.2	Contexto general.....	4-337
4.5.2.3	Factores PESTAL	4-338
4.5.2.3.1	Factores políticos.....	4-338
4.5.2.3.2	Factores económicos	4-339
4.5.2.3.3	Factores sociales.....	4-339
4.5.2.3.4	Factores tecnológicos	4-340
4.5.2.3.5	Factores ambientales.....	4-341
4.5.2.3.6	Factores legales	4-342
4.5.3	Análisis de involucrados	4-347

4.5.3.1	Descripción	4-347
4.5.3.2	Grupos de actores	4-347
4.5.4	Árbol de problemas y objetivos.....	4-349
4.5.4.1	Descripción	4-349
4.5.4.2	Desarrollo del árbol.....	4-349
4.6	Objetivo Específico 6 (OE-6)	4-353
5	CONCLUSIONES	5-1
6	REFERENCIAS.....	6-1

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe de Avance N°2 del estudio titulado “Diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía Algodonales, Tocopilla”, código BIP 30130937-0, que surge a partir del análisis realizado por el Gobierno Regional de Antofagasta. Este análisis¹ identificó a la bahía Algodonales de Tocopilla como un ecosistema con una alta variabilidad natural y que está sujeta a posibles impactos ambientales negativos². El Gobierno Regional de Antofagasta propone cuatro causas que estarían ocasionando la existencia de los posibles impactos ambientales negativos mencionados anteriormente: i) probable presencia de pasivos ambientales en la bahía y su entorno, producto de un inadecuado comportamiento ambiental en el desarrollo de actividades productivas durante las últimas décadas; ii) las actividades productivas se han desarrollado con procesos y tecnologías con bajos estándares ambientales, particularmente las anteriores a la implementación de la Ley Ambiental (N° 19.300), iii) un ineficiente sistema de detección y control de impactos ambientales y iv) la inexistencia de normativa de calidad ambiental aplicable al medio marino de la bahía, que dificulta el seguimiento ambiental de las diferentes intervenciones en el medio marino.

De acuerdo con lo anterior y en el marco de la estrategia regional de desarrollo 2009-2020, donde se propone proteger el medio ambiente y sus recursos naturales, promoviendo la sustentabilidad del territorio, es que el Gobierno Regional de Antofagasta tuvo la necesidad de desarrollar e implementar un plan de gestión integral aplicable al medio marino de la bahía Algodonales. En este contexto, el presente estudio define como objetivo principal “Diagnosticar el estado de condición ambiental de la bahía Algodonales de Tocopilla y el riesgo potencial al cual se encuentra expuesta la población que desarrolla sus actividades en la bahía, a través de la implementación piloto de un sistema de monitoreo integrado y la Evaluación de Riesgo para la Salud de las personas (ERS)”, y constituye la etapa inicial del Plan de Gestión integral liderado por el Gobierno Regional.

El presente documento corresponde a un estado de progreso general y al segundo informe de avance, asociado al Plan de Trabajo del estudio titulado ‘Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la bahía Algodonales, Tocopilla’, código BIP 30130937-0. El objetivo principal de este estudio es realizar un diagnóstico del estado de la condición ambiental de la bahía Algodonales, a través de la implementación piloto de un sistema de monitoreo integrado. Para cumplir este propósito, se han categorizado 5 etapas: 1) Caracterización en base a estudios previos, 2) Sistema de Monitoreo Integrado, 3) Evaluación de Riesgo a la Salud Humana, 4) Generación de un diagnóstico del estado de condición ambiental de la bahía, y 5) Medidas de Manejo. En este contexto, a la fecha, se han abordado todas las etapas mencionadas anteriormente en distintos niveles de desarrollo.

¹ Árbol de problemas: Metodología utilizada para el desarrollo de proyectos de la administración del estado.

² “Pérdida o disminución de las actividades productivas” y Pérdida de Biodiversidad”

La primera etapa contempló una exhaustiva recopilación de datos de calidad ambiental del agua y sedimento de la bahía, por medio de los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) de las empresas, Estudios de Impacto Ambiental (EIA), el Programa de Observación de Litoral (POAL), información de utilidad disponible en las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), entre otros. Adicionalmente, a modo de conocer la interacción humana en términos de los flujos máxicos que ingresan a la bahía, se ha recopilado información del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), particularmente de las Fuentes puntuales que generan emisiones al cuerpo receptor marino. La segunda etapa abarcó la realización de las dos primeras campañas de terreno correspondientes a invierno 2018 y verano 2019, analizando las matrices de agua, sedimento y biota, además de la componente oceanográfica. En cuanto a la tercera etapa de evaluación de riesgo a la salud humana, se llevó a cabo una evaluación a la salud de la población de la comuna de Tocopilla, además de una búsqueda sistemática de información pertinente al estudio.

Asimismo, el Centro de Ecología Aplicada se ha visto en la necesidad de establecer un enfoque metodológico transversal, que sea de ayuda a una mejor caracterización y diagnóstico del sistema ambiental en estudio. Es por lo anterior que adicionalmente se han incorporado avances asociados al objetivo específico 4, que guarda relación directa con el objetivo principal de estudio. Esto permitirá orientar de mejor forma la toma de decisiones para una mejora del estado ambiental de la bahía. La forma de organizar y analizar la información será en acuerdo con las recomendaciones de la EPA en el documento “Marco Conceptual para Apoyar el Desarrollo y Uso de la Información Ambiental en la Toma de Decisiones” publicado en el año 1995. Lo anterior se realizará en función de los aspectos (componentes o procesos/funciones) de los ecosistemas, la salud humana y el bienestar relacionado con el medio ambiente que se consideran importantes y potencialmente amenazados por las actividades humanas o las amenazas naturales. La forma de presentar la información considerará el enfoque práctico abordado por Hyde (2011) para determinar la salud de los ecosistemas asociados a las áreas marinas protegidas (AMP) de América del Norte. El enfoque consiste en la transformación de una gran cantidad de información ecológica compleja, en una escala cualitativa con enunciados concisos y fáciles de entender para los componentes humanos del sistema ambiental. De esta forma, la caracterización ambiental de bahía Algodonales en base a la información disponible, tendrá esa perspectiva y en consecuencia la estructura del presente documento sintetiza los resultados, en función de los enfoques antes indicados.

Finalmente, la 5ta etapa de medidas de manejo comenzó la elaboración de una cartera de proyectos que permita abordar las eventuales problemáticas ambientales mediante la metodología de árbol de problemas, al realizar un análisis de entorno utilizando una Matriz PESTAL y un análisis de actores.

2 ÁREA DE ESTUDIO

La zona que comprende el estudio se localiza en la Región de Antofagasta, comuna de Tocopilla y corresponde a la bahía Algodonales (entre Punta Algodonales y Caleta Duende) y su entorno. Por el norte, desde Caleta vieja ($22^{\circ}02'54,86''S$ - $70^{\circ}11'43,84'' W$) hasta el sector de Lipesed por el sur ($22^{\circ}07'29,57''S$ - $70^{\circ}13'10,29'' W$) (Figura 3.1-1)

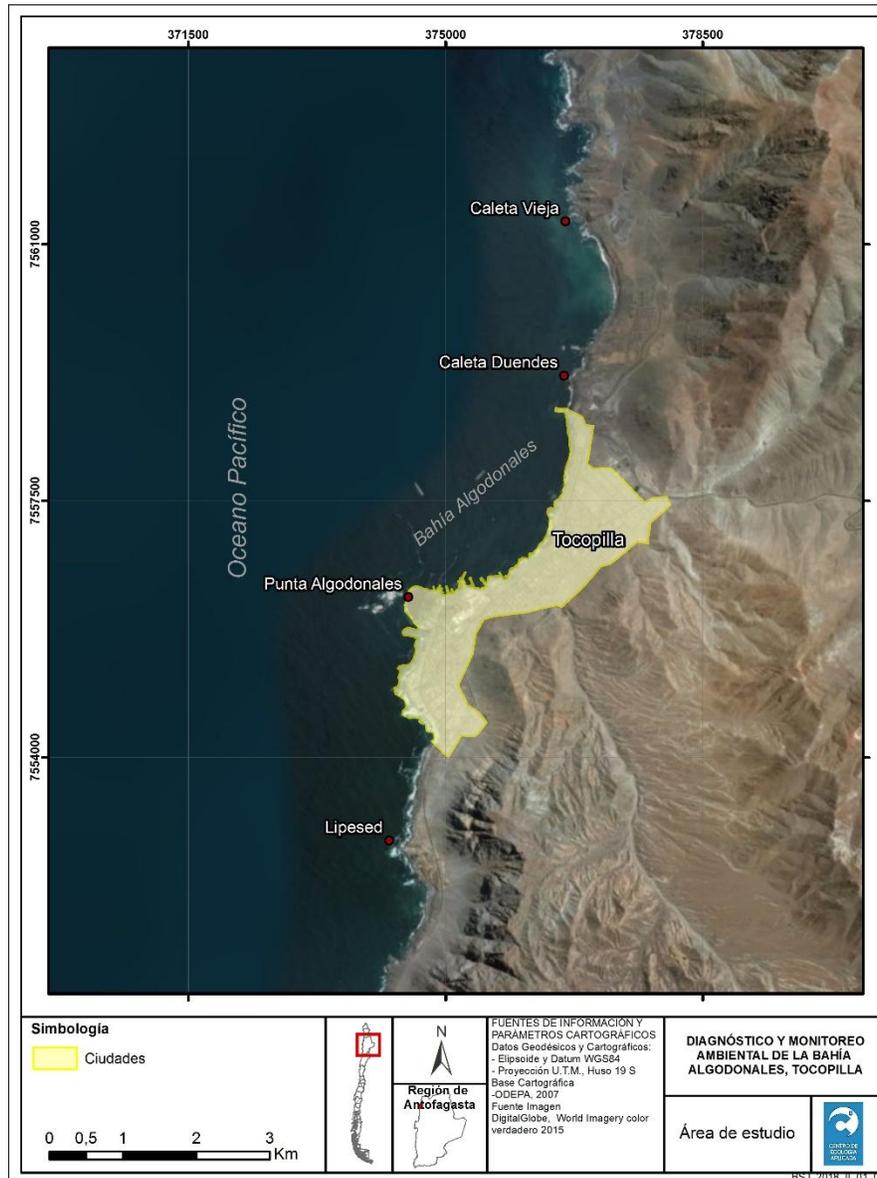


Figura 3.1-1: Ubicación geográfica de la bahía Algodonales, Tocopilla, Región de Antofagasta.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diagnosticar el estado de condición ambiental de la bahía Algodonales de Tocopilla y el riesgo potencial al cual se encuentra expuesta la población que desarrolla sus actividades en la bahía, a través de la implementación piloto de un sistema de monitoreo integrado y la Evaluación de Riesgo para la Salud de las personas (ERS).

3.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos (OE) son los siguientes:

- OE1: Recopilar, sistematizar y analizar la información existente del ecosistema marino de la bahía Algodonales proveniente de proyectos que hayan sido ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en el área de estudio, monitoreos realizados por la autoridad, privados, universidades, centros de investigación, entre otros.
- OE2: Realizar un monitoreo integrado semestral de las matrices, columna de agua, sedimento y biota marina, en la bahía por un periodo de dos años.
- OE3: Realizar una evaluación de riesgo para la salud de las personas.
- OE4: Generar un diagnóstico del estado de condición ambiental de la bahía en las componentes columna de agua, sedimento y biota marina.
- OE5: Elaborar una cartera de proyectos que permita abordar las eventuales problemáticas ambientales que el estudio detecte.
- OE6: Difundir, a la comunidad y autoridades, las actividades del estudio

4 RESULTADOS

4.1 Objetivo Específico 1 (OE-1)

OE-1: “Recopilar, sistematizar y analizar la información existente del ecosistema marino de la bahía Algodonales proveniente de proyectos que hayan sido ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en el área de estudio, monitoreos realizados por la autoridad, privados, universidades, centros de investigación, entre otros.”

Para cumplir este objetivo se recopiló toda la información ambiental disponible, así como los instrumentos normativos, considerando para ello, entre otros, los organismos públicos competentes, empresas privadas emplazadas en el sector, centros académicos e investigación, etc., la cual fue sistematizada y analizada desde la perspectiva del objetivo general del estudio. Este OE responde directamente a la actividad (a) descrita en las bases técnicas del estudio.

En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva sobre información de las matrices ambientales de agua, sedimento y biota, que permitieran caracterizar las condiciones ambientales de la bahía.

En segundo lugar, se realizó una recopilación de las emisiones hídricas en la zona de estudio, de modo tal de identificar las fuentes contaminantes que llegan de forma directa o difusa al cuerpo receptor marino, siendo en este estudio bahía Algodonales.

Por último, se recolectó información asociada a las actividades pesqueras extractivas de la zona.

De acuerdo con lo anterior, se recopilaron las siguientes bases de datos que guardan relación con la zona de estudio:

i) Estudios de Impacto Ambiental (EIA), Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) existentes en la bahía Algodonales.

En cuanto a los EIA, DIA y RCA, se obtuvo las Unidades Fiscalizables presentes en la comuna de Tocopilla, Región de Antofagasta, presentes en los registros de SNIFA. Del total de Unidades, se buscó información relevante para el presente estudio en el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), detectándose 3 proyectos con estudios pertinentes. En la Tabla 4.1-1 se adjunta la lista de Unidades Fiscalizables, además de destacar en verde los proyectos con información relevante para el presente estudio.

Tabla 4.1-1: Unidades fiscalizables para la comuna de Tocopilla, Región de Antofagasta, según registro de SNIFA.

#	Unidad Fiscalizable	Nombre Razón Social
1	COLLAHUASI - COMPAÑIA MINERA DOÑA INES	COMPAÑIA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI SCM
2	PLANO DE LOTEOS ZOFRAT	
3	PLANTA DE SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO	MINERA CAPACHO VIEJO LIMITADA
4	CONTROL ALUVIONAL TOCOPILLA	MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
5	TERMOCENTRAL NUEVA TOCOPILLA	AES GENER S.A. NORGENER S. A.
6	PLANTA LIPESED	LIPESED S.A.
7	MANTOS DE LA LUNA	COMPAÑIA MANTOS DE LA LUNA S.A.
8	VIVIENDA SOCIAL TOCOPILLA	
9	PODER DE COMPRA DE MINERALES ENAMI - BARRILES	ENAMI
10	RELLENO SANITARIO QUEBRADA ANCHA	
11	ESTACION DE TRANSFERENCIA BARRILES	
12	PLANTA DE CAL	
13	PLANTA DE LIX - SX - EW DE COBRE	
14	PARQUE INDUSTRIAL CONDOMINIO ASOCIACION GREMIAL DE PEQUEÑOS EMPRESARIOS DE MARIA ELENA	
15	FUNDICION DE ACEROS ESPECIALES	
16	INSTALACION DE NUEVA GRUA Y TERMINAL MARITIMO DE GRANELES LIQUIDOS EN CENTRAL TERMOCENTRAL TOCOPILLA	ELECTROANDINA S.A.
17	LINEA DE ALTA TENSION S/E TOCOPILLA S/E TAMAYITA	ELECTROANDINA S.A.
18	OPERACION CON DIESEL EN UNIDAD 16	ENGIE ENERGIA CHILE
19	USO DE GAS EN UNIDADES TURBOGAS	ENGIE ENERGIA CHILE
20	CENTRAL TOCOPILLA	ENGIE ENERGIA CHILE NORGENER S. A.
21	CENTRAL BARRILES	ENGIE ENERGIA CHILE
22	PUERTO DE TOCOPILLA	ELECTROANDINA S.A.
23	CONSTRUCCION PLAYAS Y PISCINA BALNEARIO COVADONGA	
24	ACUEDUCTO	COMPAÑIA MANTOS DE LA LUNA S.A.
25	PLAN SECCIONAL PS 1/96 CAMBIO DE USO DE SUELO SECTOR LA PATRIA DE TOCOPILLA	
26	ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE TOCOPILLA	

#	Unidad Fiscalizable	Nombre Razón Social
27	SECCIONAL MODIFICATORIO DEL PLAN REGULADOR DE TOCOPILLA MEJORAMIENTO ACUSTICO DEL EJE CENTRAL BARRERA DE MITIGACION Y CAMBIOS DE USO DE SUELO	
28	EMISARIO SUBMARINO DE TOCOPILLA	AGUAS DE ANTOFAGASTA S.A.
29	SOCIEDAD DE TRANSPORTES CAMARO LTDA.	SOCIEDAD DE TRANSPORTES CAMARO LIMITADA
30	PARQUE EOLICO EL LOA	APROVECHAMIENTOS ENERGETICOS S.A.
31	MINA - PLANTA MANTOS AL SOL	
32	MINERA GATICO S.A.	
33	MINA ANGELICA	
34	PUERTO TOCOPILLA-SQM	
35	PANADERIA PENQUISTA	
36	PANADERIA EL SOL	
37	PANADERIA ROXANA	
38	CORPESCA TOCOPILLA	
39	GRACE S. A	
40	MINA MANTOS DEL PACIFICO	
41	PANADERIA SANTA AGUSTINA TOCOPILLA	
42	PANADERIA FATIMA TOCOPILLA	
43	AMASANDERIA MATTI TOCOPILLA	
44	PLANTA DESALADORA TOCOPILLA	
45	PDA CIUDAD DE TOCOPILLA Y SU ZONA CIRCUNDANTE	

ii) Programas de Vigilancia Ambiental (PVA), Programas de Seguimiento Ambiental (PSA) de las empresas y Monitoreos del Medio Ambiente Marino (MMAM).

Los días 2 de agosto y 24 de septiembre del 2018, se enviaron 2 correos electrónicos a la Superintendencia del Medio Ambiente del Gobierno de Chile, en los cuales se solicitó acceso a un listado de informes de seguimiento ambiental de proyectos ubicados en la región de Antofagasta, que tuvieran Programas de Vigilancia Ambiental (PVA). El día 25 de septiembre del año 2018, la superintendencia dio respuesta a las inquietudes planteadas, entregando una planilla Excel con enlaces directos a la página web del Sistema de Seguimiento Ambiental (SSA). El índice de la información entregada se adjunta en la Tabla 4.1-2.

De los 779 documentos descargados, solo 36 correspondieron a PVA, SMA o MMAM que contuvieran información en las matrices de calidad química de sedimento y de agua, e información relativa a la biota presente en el área de estudio. Además, solo las Unidades Fiscalizables de Central Tocopilla y Nueva Central Tocopilla presentaron esta información. El resto de las unidades fiscalizables cumplen con informar periódicamente información relativa a emisión de gases o emisión de material particulado, entre otros.

Tabla 4.1-2: Listado de RCA, fiscalizaciones, EIA, DIA y PVA's de unidades fiscalizables en Tocopilla, entregadas por al SMA.

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
RCA 205/2001	ELECTROANDINA S.A	RECEPCIÓN, ALMACENAJE Y EMBARQUE MARÍTIMO DE CONCENTRADOS DE ZINC Y PLOMO EN TOCOPILLA	Oceanografía física: - temperatura, ph, salinidad, disco secchi, coliformes totales y fecales, Pb,Zn, Cu, As, Cd, Hg	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	PUERTO DE TOCOPILLA
01-10- 2000			Metales en organismos: Pb, Zn, Cu, Cd y Hg		
EIA			Metales en sedimentos Pb, Zn, Cu, As, Cd, Hg.		
			Calidad de aire, mensual Zn y Pb	Disponible en seguimiento asociado	
RCA 205/2001	ELECTROANDINA S.A	USO DE CARBÓN Y COQUE DE PETRÓLEO COMO COMBUSTIBLE	Calidad de aire: -Mp10; SO2; Nox; viento; Vanadio y Niquel	Disponible en seguimiento asociado	CENTRAL TOCOPILLA
01-10- 1999			Muestreo de Cenizas y Escorias: Vanadio, Niquel; solubilidad	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
EIA			Calidad de agua: Corrientes, Parámetros físico químicos; Muestreo de efluentes; comunidades macrobentónicas submareales	Disponible en seguimiento asociado	
			Monitoreo de descarga: O2 disuelto; Temperatura; pH; sólidos totales disueltos; Sólidos totales suspendidos; Vanadio disuelto y suspensión: Cd; Cu; Cr; Hg; Pb; Zn; Fosfatos; Coliformes Fecales y totales	Reportes de DS 90 disponibles en SNIFA	
			Monitoreo de sedimentos marinos: V; Ni; Cd; Cr; Hg; Zn	Disponible en seguimiento asociado	
RCA 075/1998	ELECTROANDINA S.A	Central termoeléctrica de ciclo combinado en Tocopilla	Calidad de aire: Pm10; Nox; SO2; O2	Disponible en seguimiento asociado	CENTRAL TOCOPILLA
13-08-1998			Variables meteorológicas: Dirección y Velocidad del Viento; Temperatura; Humedad relativa	Disponible en seguimiento asociado	
EIA			Corrientes, dirección y velocidad; Físico-Químico en la bocatoma y descarga de aguas de enfriamiento	Disponible en seguimiento asociado	
			Química de sedimentos: Cu; Pb	Disponible en seguimiento asociado	

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
			Macrofauna submareal: Abundancia, Frecuencia, Indices de diversidad	Disponible en seguimiento asociado	
			Bioensayos resistencia térmica y componentes clorados: Moluscos; Crustáceos; y larvas de peces	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente	
RCA 485/1994	NORGENER S.A	Central termoeléctrica nueva Tocopilla	Medio físico: Pm10; NOx; SO2; est Metereológica.	Disponible en seguimiento asociado	TERMoeLECTRICA NUEVA TOCOPILLA
16-SET-1994			Medio Biológico: Material particulado en su fracción sedimentable	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	
EIA			Medio Humano: Inspección arqueológica de sitio seleccionado como botadero	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	
RCA 077/2002	ELECTROANDINA S.A	Uso de mezclas de carbón con coque de petróleo como combustible en	Calidad de aire: Mp10, SO2; Nox; Viento; Vanadio; Niquel	Disponible en seguimiento asociado	CENTRAL TOCOPILLA

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
05-04-2002		central termoeléctrica Tocopilla	Monitoreo Marino: Corrientes; parámetros físico-químicos; Comunidades macrobentónicas submareales; O2 disuelto; Temperatura; pH; sólidos totales disueltos; Sólidos totales suspendidos; Vanadio disuelto y suspensión: Cd; Cu; Cr; Hg; Pb; Zn; Fosfatos; Coliformes Fecales y totales	Disponible en seguimiento asociado	
EIA			Muestreo de Cenizas y Escorias: Vanadio, Niquel; solubilidad	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	
RCA 180 /2000	NORGENER S.A	AUMENTO DE POTENCIA DE GENERACIÓN Y USO DE MEZCLAS DE PETCOKE Y CARBON CENTRAL TERMOELÉCTRICA NUEVA TOCOPILLA	Monitoreo ambiental documento G.M.A. Ord. N° 12.600/104 del 22.07.1999 Vanadio y niquel en sedimentos, biota y columna de agua	Disponible en seguimiento asociado	TERMoeLECTRICA NUEVA TOCOPILLA
04-10-2000					
EIA					
RCA 209/2011	NORGENER S.A	Disposición de Rises de Combustión de Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla	Cierre de vertederos, monitoreo y mantención de asentamientos, nuevo depósito y su monitoreo, volúmenes de cenizas, test de lixiviación	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	TERMoeLECTRICA NUEVA TOCOPILLA
01-12-2011					
DIA					
RCA 108/2013	AES GENER S:A	Modificación Central Termoeléctrica Nueva	Monitoreo de efluentes en la descarga		TERMoeLECTRICA NUEVA TOCOPILLA

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
27-05-2013		Tocopilla para el Cumplimiento de Norma de Emisiones Centrales Termoeléctricas		Disponible en seguimiento asociado	
DIA					
RCA 026/1999	Aguas Antofagasta antes ESSAN	Emisario Submarino de Tocopilla	Programa de monitoreo acuático	Disponible en seguimiento asociado	EMISARIO SUBMARINO DE TOCOPILLA
02-03-1999					
DIA					
RCA 164/2016	Aguas Antofagasta antes ESSAN	Planta desaladora Tocopilla	Comunidades bentónicas, calidad de agua, comunidades planctónicas, seguimiento de dilución de pluma marina	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	PLANTA DESALADORA TOCOPILLA
13-06-2016					
DIA					
RCA 07/2015	ENGIE Energía Chile S.A	Uso de Cal Hidratada, Central Termoeléctrica Tocopilla para Cumplimiento de Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas	PVA	Disponible en seguimiento asociado (bajo otra RCA asociada a la Unidad fiscalizable)	CENTRAL TOCOPILLA
07-01-2015					
DIA					
RCA 0274/2010	Electroandina S.A.	Instalación de Nueva Grúa y Terminal Marítimo de Graneles Líquidos en Central Termoeléctrica Tocopilla	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	CENTRAL TOCOPILLA
DIA					
22-09-2010					
RCA 0141/2008	ENGIE Energía Chile S.A		PVA	El titular no ha reportado	

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
07-05-2008		Operación Permanente con Petróleo Diesel en la Unidad 16		seguimiento bajo este componente en esta RCA	OPERACIÓN CON DIESEL EN UNIDAD 6
RCA 0013/2004	Lipesed S.A.	Mejora Ambiental Planta Lipesed	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	PLANTA LIPESED
DIA 30-01-2004					
RCA 0171/2003	Electroandina S.A.	Recepción de Barco, Almacenamiento y Carguío de Camiones con Soda Caustica	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	PUERTO DE TOCOPILLA
DIA 29-10-2003					
RCA 0125/2000	ENGIE Energía Chile S.A	Uso de Gas Natural en las Unidades Turbogás N° 1 y 2	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	USO DE GAS EN UNIDADES TURBOGAS
DIA 19-07-2000					

iii) Programa de Observación Ambiental Litoral (POAL) de la DIRECTEMAR.

La información del Programa de Observación Ambiental Litoral (POAL) fue descargada directamente desde la página web¹ de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), correspondiente a los cuerpos de agua de la Gobernación Marítima de Antofagasta, Tocopilla, en las matrices de agua, sedimento y biota.

iv) Registros de fiscalizaciones y monitoreos de emisiones hídricas de la SISS, SMA y Autoridad Sanitaria.

Desde la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), se obtuvieron registros de calidad de agua de la descarga de Aguas Antofagasta S.A. para el periodo 2010-2016, a través de su emisario submarino ubicado en la bahía.

Con fecha 14 de noviembre de 2018, se elevó una solicitud de requerimiento de información a la SMA, en la cual se consultó por información química y de caudales vertidos de RILES de la nómina de unidades fiscalizables de SNIFA para la comuna de Tocopilla. La información entregada corresponde a las razones sociales de la Tabla 4.1-3. El período de información de caudales y calidad química abarca desde el año 2013 al 2018.

Tabla 4.1-3: Unidades fiscalizables con información de RILES facilitada por la SMA.

Rut	Razon Social	Planta	Punto Descarga	Código CIU
88006900-4	E.CL S.A.	CENTRAL TERMICA TOCOPILLA	UNIDAD.10.11.14.15	0
88006900-4	E.CL S.A.	CENTRAL TERMICA TOCOPILLA	UNIDAD.12.13	0
88006900-4	E.CL S.A.	CENTRAL TERMICA TOCOPILLA	UNIDAD.16	0
88006900-4	E.CL S.A.	CENTRAL TERMICA TOCOPILLA	UNIDAD.2	0
94272000-9	AES GENER S A	CENTRAL TERMOELÉCTRICA NUEVA TOCOPILLA	CENTRAL.NUEVA.TOC EMISARIO SUBMARINO	E4010

Finalmente, se consultó la base de datos de SNIFA² (Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental) para buscar información del resto de razones sociales en el catastro de Unidades Fiscalizables (Tabla 4.1-1). Se encontró información desde el año 2017 al 2018 para CORPESCA S.A. (ID 38, Tabla 4.1-1). Los registros corresponden a valores puntuales de concentraciones de Hidrocarburos Totales, Hidrocarburos Volátiles y Sólidos Suspendidos Totales.

v) Publicaciones científicas y estudios técnicos desarrollados por Organismos Públicos, Universidad y Privados.

¹ https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/datos_poal.html

² <http://snifa.sma.gob.cl/v2/DatosAbiertos>

A la fecha, no se han encontrado publicaciones científicas específicas de Tocopilla que tengan relación con el estudio de las matrices de agua, sedimento y/o biota, sin embargo, se encontró publicaciones de carácter regional. A continuación, se adjuntan algunas de las publicaciones encontradas. El total de las referencias utilizadas se puede encontrar en el acápite de referencias.

- Escribano R, McLaren I (1999) Production of *Calanus chilensis* in the upwelling area of Antofagasta, Northern Chile. *Mar Ecol Prog Ser* 177:147–156.
- Friedrich J, Janssen F, Aleynik D, et al (2014) Investigating hypoxia in aquatic environments: Diverse approaches to addressing a complex phenomenon. *Biogeosciences* 11:1215–1259. doi: 10.5194/bg-11-1215-2014
- Jaramillo E, Carrasc F, Quijon P, Pin M (1998) Distribución y estructura comunitaria de la macroinfauna bentónica en la costa del norte de Chile. *Rev Chil Hist Nat* 71:459–478.
- Morales C et al. (1996) Chlorophyll-a distribution and associated oceanographic conditions in the upwelling region off northern Chile during the winter and spring 1993. *Deep-Sea Research I* 43:267-289.
- Siefeld W et al. (2010) El Niño induced changes of the coastal fish fauna off northern Chile and implications for ichthyogeography. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45: 705-722.
- Valdés J, Sifeddine A, Boussafir M, Ortlieb L (2014) Redox conditions in a coastal zone of the Humboldt system (Mejillones, 23° S). Influence on the preservation of redox-sensitive metals. *J Geochemical Explor* 140:1–10. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.01.002
- Valdés, J. 2012. Heavy metal distribution and enrichment in sediments of Mejillones Bay (23°S), Chile: a spatial and temporal approach. *Environ. Monit. Assess.*, 184: 5283-5294.
- Valdés, J., G. Vargas, A. Sifeddine, L. Ortlieb & M. Guiñez. 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones bay (23°S), northern Chile: geochemical and statistical approach. *Mar. Pollut. Bull.*, 50: 1558-1568.
- Vaquer-sunyer R, Duarte CM (2008) Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *PNAS* 2008:15452–15457.
- Vargas G, Ortlieb L, Pichon JJ, et al (2004) Sedimentary facies and high resolution primary production inferences from laminated diatomaceous sediments off northern Chile (23°S). *Mar Geol* 211:79–99. Waldichuk M (1974) Coastal marine pollution and fish. *Ocean Manag* 2:1–60.

En cuanto a estudios públicos, a la fecha se encontraron los siguientes documentos de interés que se utilizaron para la caracterización del área de estudio:

- División Medio Ambiente Acuático y Combate a la Contaminación, Departamento de Intereses Marítimos, Gobernación Marítima de Antofagasta (2015) Monitoreo Ambiental Bahía de Tocopilla.

- Gobierno Regional de Antofagasta, Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020.
- Ilustre Municipalidad de Tocopilla (2003) Informe consolidado de Evaluación de la Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto “Construcción playas y piscina balneario Covadonga-Tocopilla”.
- Ilustre Municipalidad de Tocopilla (2013) Plan de Desarrollo Comunal de Tocopilla 2013-2017.

vi) Información proporcionada por el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminación (RETC).

La información relativa al RETC fue descargada directamente desde su página web³, con fecha de consulta el 05/10/2017. Los registros de información abarcaron desde el año 2005 hasta el 2016.

vii) Registro de Servicio Nacional de Pesca, particularmente el catastro de actividades pesqueras extractivas de bahía Algodonales.

Se consultó los estados de tramitación de AMERB a SUBPESCA⁴, destacándose que el área de estudio solo colinda con el AMERB “Punta Aña” en el sector de cenizales, al norte. El estado a enero de 2018 de este sector es “sin decreto”.

³ <http://www.retc.cl/datos-retc/>

⁴ <http://www.subpesca.cl/portal/619/w3-article-79986.html>

4.1.1 Análisis de la información existente del ecosistema marino de la bahía Algodonales.

4.1.1.1 Introducción

Uno de los grandes desafíos que enfrentan las sociedades modernas es el de armonizar el crecimiento económico –necesario para el desarrollo- con el cuidado de la naturaleza. Durante la pasada década la mayoría de los países acordaron promover políticas tendientes a implementar un modelo de crecimiento denominado “Desarrollo Sustentable”. Este tipo de desarrollo se fundamenta en impulsar, de manera similar, el crecimiento económico, la equidad social, y la protección de la naturaleza. La implementación de este modelo no es tarea fácil, ya que debe existir la voluntad de todos los sectores de la sociedad para lograr acuerdos, flexibilizar sus posturas y superponer los intereses de la sociedad (o al menos igualarlos) por sobre intereses particulares.

En este contexto, bahía Algodonales constituye un sistema ambiental, el que está conformado por aquellas entidades o conjunto de ellas que forman parte del problema ambiental en estudio. Un sistema ambiental es un conjunto de “*modelos y métodos para una cuantificación integrada y representación de flujos de materiales y energía en diferentes subsistemas de la naturaleza y sociedad y la evaluación de la sostenibilidad futura de distintas alternativas de acción*”. Esto resulta en un sistema complejo, donde se establecen numerosas relaciones de distintos tipos entre los componentes y para cada uno de ellos, se pueden definir modelos conceptuales o numéricos específicos, que forman parte del sistema ambiental. Así los componentes son estructuras que pueden describirse con varios modelos y varios conjuntos de parámetros, dentro de un modelo más amplio. Las variables que relacionan los componentes pueden ser muy distintas, como flujos de materiales, datos de concentración de un elemento o temperatura del agua de refrigeración en las descargas al océano, regulaciones de la autoridad ambiental, interés de la población local por definir niveles aceptables de un elemento o compuesto, información de operación de las actividades de servicios y de producción, normativas por variables de elementos potencialmente contaminantes.

4.1.1.2 Procesos Oceanográficos de gran escala

4.1.1.2.1 Sistemas de corrientes en el norte de Chile

Una serie de trabajos han sintetizado las principales corrientes que ocurren en la costa de nuestro país. En Figura 4.1-1 se entrega una síntesis de dichas descripciones reconociéndose ocho corrientes principales (para cada corriente se entrega el número entre paréntesis). La corriente superficial de Deriva de los Vientos del Oeste (1) alcanza la costa de Sudamérica cerca de los 45°S dividiéndose a la altura de los 80-90°W en dos ramas que fluyen en direcciones opuestas. La rama que se desvía hacia el sur se denomina Corriente del Cabo de Hornos (2, no se muestra en la modificación). La rama que se proyecta hacia el norte es la rama oceánica de Humboldt (3), que fluye a 300 o 400 kilómetros mar adentro, a lo largo de la costa oeste de Sudamérica hasta los 4°27'S en el extremo norte de Perú y luego se desvía hacia el noroeste a través del Océano Pacífico. A la altura de los 40°S

a 48°S la corriente del cabo de Hornos genera una rama que fluye hacia el norte que es mantenida por los vientos desde el sur y se denomina rama costera de Humboldt (4). Cerca de los 10°S a 20°S, dependiendo de la estación, la rama costera de Humboldt cambia de dirección y eventualmente se une a la contracorriente del Norte (5). La contracorriente del Norte fluye hacia el sur entre la rama oceánica de Humboldt y la rama costera de Humboldt como una corriente subsuperficial (a una profundidad de 200 a 400 metros). Más cerca de la costa, sobre la plataforma, y en los primeros tramos de la pendiente continental corre otra corriente de aguas subsuperficiales, la corriente de Gunther (6), la cual tiene su origen en aguas ecuatoriales y fluye hacia el sur sobre la llamada Masa de Agua Intermedia. En la zona norte, más hacia la costa la contracorriente Costera Chilena (7), es superficial. Durante los años con inviernos crudos esta corriente prácticamente desaparece.

El agua cálida al norte del frente Ecuatorial-Tropical (cerca de los 4°S) tiende a fluir hacia el sur sobre las aguas frías, pero es frenada por el efecto de los vientos del sur. Cuando dichos vientos se debilitan o son reemplazados por los del norte estas aguas cálidas y de baja salinidad pueden penetrar bastante al sur, llegando hasta la zona norte de Chile en lo que se conoce como el fenómeno de El Niño. Desde los 28°S y a la misma altura de la contracorriente aparece la corriente Costera Chilena (8) que fluye superficialmente hacia el norte y alcanza hasta los 23°S. En la contracorriente chilena, gracias al efecto de los vientos del sur y suroeste se producen surgencias. Las surgencias son más fuertes desde finales del invierno a inicios del verano y más débiles durante las estaciones cálidas. Las surgencias incluso ocurren al sur de la contracorriente chilena hasta los 40°S a 41°S, cuando la capa superior de la corriente de Gunther alcanza la superficie a la altura dentro de la rama costera de Humboldt.

Las corrientes marinas transportan masas de agua con distintas características fisicoquímicas, de manera tal que en ciertos puntos de confluencia de dichas masas se producen las denominadas convergencias oceánicas. Usualmente entre las convergencias oceánicas es posible definir “zonas oceanográficas” o verdaderas “regiones” que presentan características particulares de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno.

En nuestro país las interacciones entre las corrientes antes mencionadas definen tres zonas de convergencias oceánicas principales (Figura 4.1-1): a) Convergencia Subtropical (CST), b) Convergencia en la Deriva del Oeste (CDO) y c) Convergencia Antártica (CA, no se muestra en la modificación). La Convergencia Subtropical es la zona de contacto entre aguas subtropicales cálidas y salinas que dominan la zona entre Arica y Coquimbo con las aguas de la rama oceánica de Humboldt y las aguas subantárticas que dominan entre Coquimbo y la Isla Grande de Chiloé. Esta convergencia sitúa hacia el norte la zona norte subtropical caracterizada por zonas de surgencia costera activa, salinidad variable y marcadas variaciones de temperatura superficial. Hacia el sur esta convergencia define la zona transicional central caracterizada por bruscos cambios de temperatura y por el aporte, en su porción sur, de ríos y lluvias que modifican su salinidad. La Convergencia en la Deriva del Oeste corresponde a la zona en la que se produce la bifurcación de la corriente del Humboldt hacia el norte y la corriente del cabo de Hornos hacia el sur y define el límite de

la zona central transicional con la zona sur-subantártica, la cual se caracteriza por un predominio de aguas subantárticas durante todo el año con importante influencia de las aguas continentales en la franja costera, principalmente por aporte de agua dulce y por un flujo permanente de agua hacia el sur (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

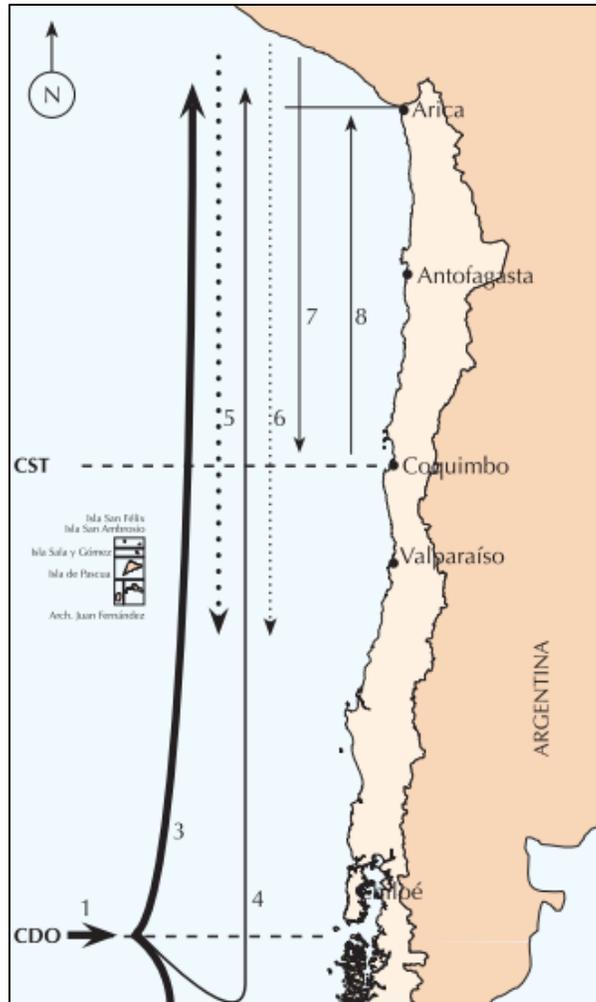


Figura 4.1-1: Síntesis de las principales corrientes marinas que ocurren en la costa de Chile. CST: Convergencia Subtropical. CDO: Convergencia de Deriva del Oeste. 1). Corriente superficial de Deriva de los Vientos del Oeste (superficial). 3). Rama oceánica de Humboldt (superficial). 4). Rama costera de Humboldt (subsuperficial en el norte y superficial en el sur). 5). Contracorriente del Norte (superficial). 6). Corriente subsuperficial de Gunther (subsuperficial). 7). Contracorriente Costera Chilena (superficial). 8). Corriente Costera Chilena (superficial). Fuente: Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

4.1.1.2.2 ENOS

El Niño hace referencia a un cambio en el sistema océano-atmosférico que ocurre en el Pacífico Oriental, que induce cambios significativos en el comportamiento del clima sobre una extensa región del planeta. El nombre de “El Niño” (El Niño Oscilación del Sur, ENOS), corresponde a la denominación dada por los pescadores peruanos, quienes asociaron la llegada de este fenómeno hacia fines de diciembre con la Navidad. Este fenómeno se

observa en intervalos de 2 a 7 años y generalmente se inicia durante el período de diciembre a marzo. Un indicador clave de El Niño es la temperatura del agua superficial del océano, la que se alza entre 1°C y 4°C tanto en el Pacífico Central como en el oriental, en las costas sudamericanas. El “calentamiento” de las aguas comienza tarde en la primavera y verano boreal y alcanza un punto culminante al cabo del año, con efecto mayor sobre el siguiente verano austral. Este fenómeno provoca una gran alteración en los mecanismos de circulación general de la atmósfera sobre una extensa área del planeta.

El aire caliente y húmedo sobre el océano genera tormentas eléctricas tropicales. Como las aguas del Pacífico más calientes fluyen hacia el este, las tormentas y temporales son más grandes en esa zona. Por otra parte, las tormentas bombean aire tibio y húmedo a más de 15.000 metros de altura. Esto afecta, a su vez, las corrientes atmosféricas de altitud. Durante los eventos de El Niño, los centros de baja presión, formadores de nubes y precipitación, emigran desde el Pacífico Ecuatorial oriental hacia las costas de América. Esto produce una alteración del patrón de la presión atmosférica descrito anteriormente, provocando cambios en la dirección y en la velocidad de los vientos. Los alisios, que normalmente soplan de este a oeste, pueden invertir su dirección, trayendo la humedad desde el oeste hacia las costas de América (Figura 4.1-2). El desplazamiento del máximo de temperatura superficial del mar va acompañado de un enfriamiento relativo en el Pacífico Occidental cercano a Asia. Le siguen precipitaciones intensas hacia el este, con inundaciones asociadas en Ecuador, Perú y Chile, y sequías en Indonesia y Australia

Aunque no hay aún pruebas estadísticas concluyentes, se cree que la conducta de las oscilaciones climáticas inducidas por El Niño podría estar modificándose en la actualidad. Es muy posible que el calentamiento global traiga algunas modificaciones en la frecuencia, intensidad y trayectoria de esta oscilación, lo que acentuaría los cambios climáticos, tanto en la región americana como asiática. Los cambios en la temperatura influyen en la salinidad de las aguas, alterando las condiciones ambientales para los ecosistemas marinos. Estos cambios afectan las poblaciones de peces, especialmente en las áreas del Pacífico Americano y, con ello, la actividad pesquera.

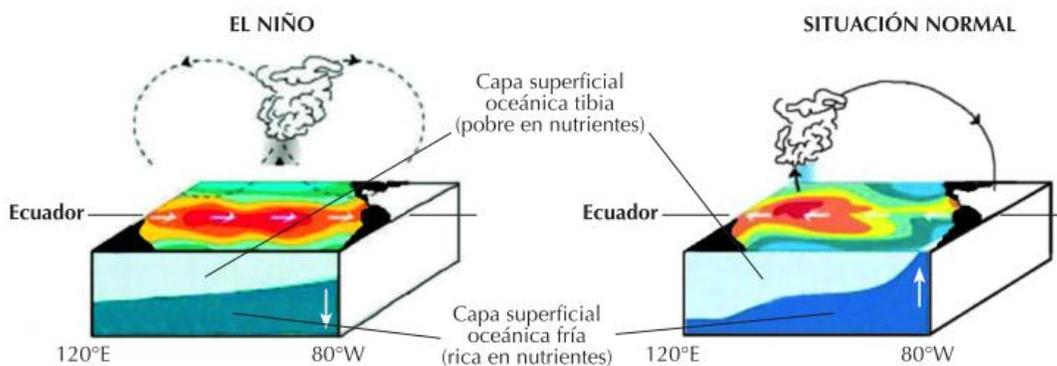


Figura 4.1-2: Cambios en la circulación atmosférica inducidos por El Niño. Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008)

Por otra parte, “La Niña” es el término que se utiliza para denominar la fase fría del fenómeno ENOS. La Niña se caracteriza por temperaturas oceánicas extraordinariamente frías en el Pacífico Ecuatorial. Las anomalías del clima global asociadas con La Niña tienden a ser opuestas a las de El Niño, por lo que también ha recibido la denominación de “El Viejo”. Las condiciones de La Niña recurren cada cierta cantidad de años y pueden persistir hasta dos años. Típicamente, La Niña es precedido por una generación de aguas subsuperficiales más frías de lo normal en el Pacífico Tropical. Las ondas atmosféricas y oceánicas que se mueven hacia el este ayudan a traer el agua fría desde las regiones antárticas, reforzando la corriente de Humboldt, que durante el fenómeno de El Niño estaba represada. Además de las temperaturas frías en el mar, La Niña trae consigo una gran surgencia de aguas profundas, ricas en minerales, fomentando la productividad del plancton y, con ello, de la fauna marina. El Niño y La Niña resultan de la interacción entre las superficies del océano y la atmósfera en el Pacífico Tropical. Los cambios en el océano afectan los patrones atmosféricos y climáticos alrededor del globo. A su vez, los cambios en la atmósfera inciden sobre las temperaturas y corrientes del océano. El sistema oscila entre cálido (El Niño) y neutral o frío (La Niña), con un promedio de 3 o 4 años por ciclo. El comportamiento histórico de los eventos muestra una alternancia periódica. Por ejemplo, entre 1994 y 1995, estuvo presente el fenómeno de El Niño y seguidamente ocurrió La Niña, evento que duró hasta 1996 (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

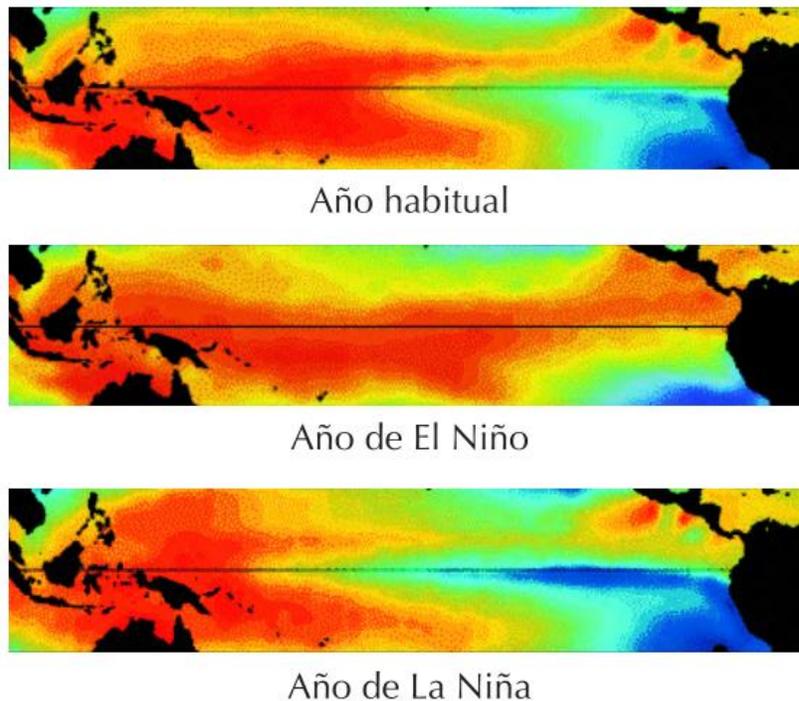


Figura 4.1-3: Cambios en la temperatura superficial del mar durante eventos El Niño y La Niña. Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008)

4.1.1.2.3 Zona Mínima de Oxígeno (ZMO)

Es importante explicitar qué se entiende por ZMO. Todas las definiciones de una ZMO basadas sobre concentraciones de valor absoluto de oxígeno disuelto no son realistas, porque no hay una única concentración de oxígeno que defina un nivel de estrés hipóxico universal para los organismos marinos (Siebel, 2011).

El litoral del norte de Chile se encuentra en una extensa área que presenta ZMO (Figura 4.1-4). En las profundidades en que ocurre este fenómeno, el oxígeno tiene un rol clave en la estructuración de los ecosistemas marinos y controla la distribución espacial y temporal de esencialmente todos los organismos marinos, desde los microorganismos al zooplancton, peces e indirectamente con los mamíferos marinos (Gilly et al 2013).

La ZMO se define a profundidades un poco mayores a 100 metros. Los procesos biogeoquímicos microbiológicos que activan el océano oxigenado y la zona mínima de oxígeno (ZMO) se pueden ver en la Figura 4.1-5(Gilly et al 2013). Esta distinción es fundamental, para no confundir la disminución de los niveles de oxígeno en la zona eufótica en profundidades menores a 100 metros y las propias de gran escala de la ZMO a nivel oceánico.

En el caso específico de Tocopilla, la ZMO ha sido registrada hasta 1 m de distancia al borde costero y con su límite superior ubicado a una profundidad que varía entre 20 y 50m.

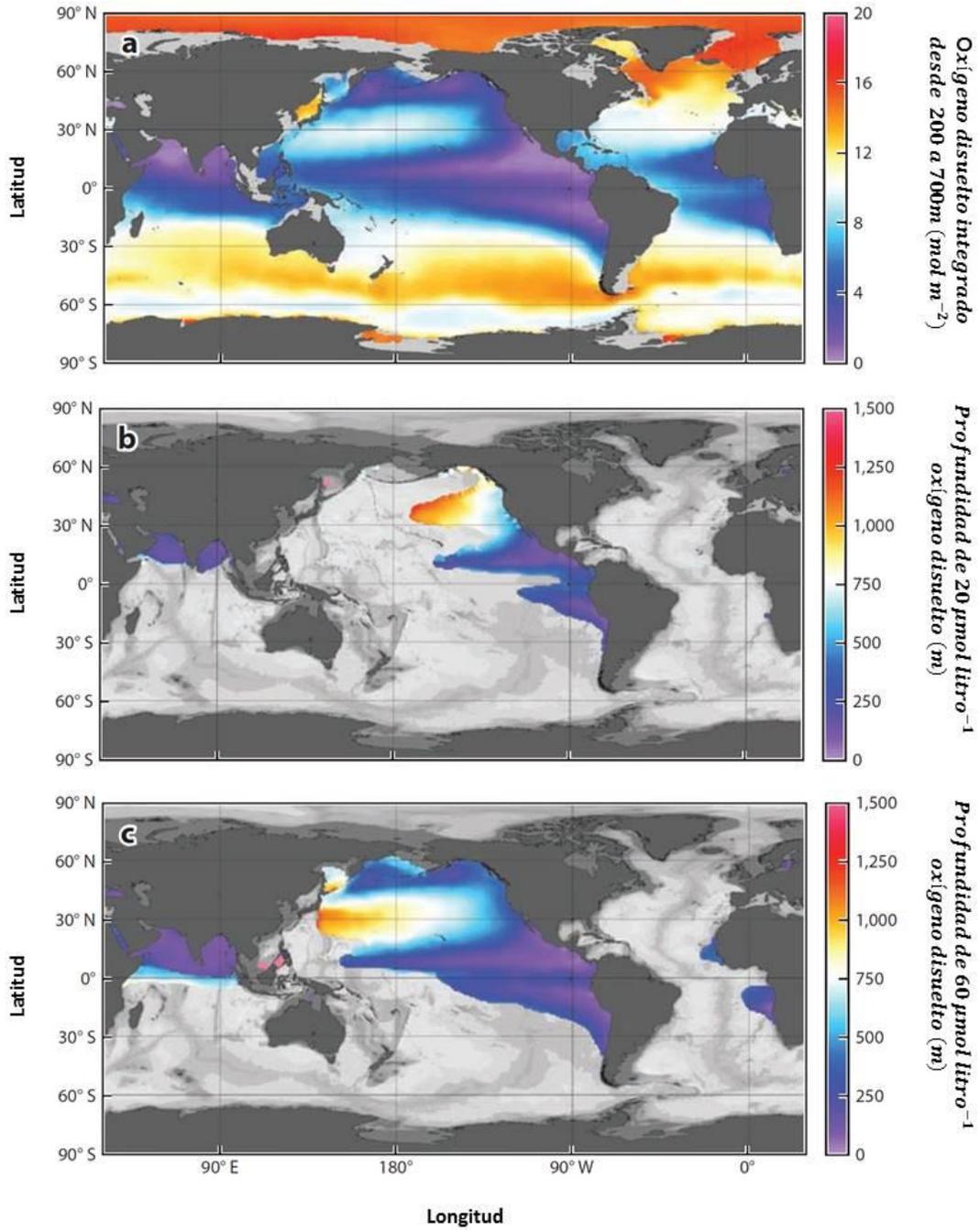


Figura 4.1-4: Patrones espaciales a escala global de niveles de oxígeno en los océanos, Modificado de Gilly et al (2013).

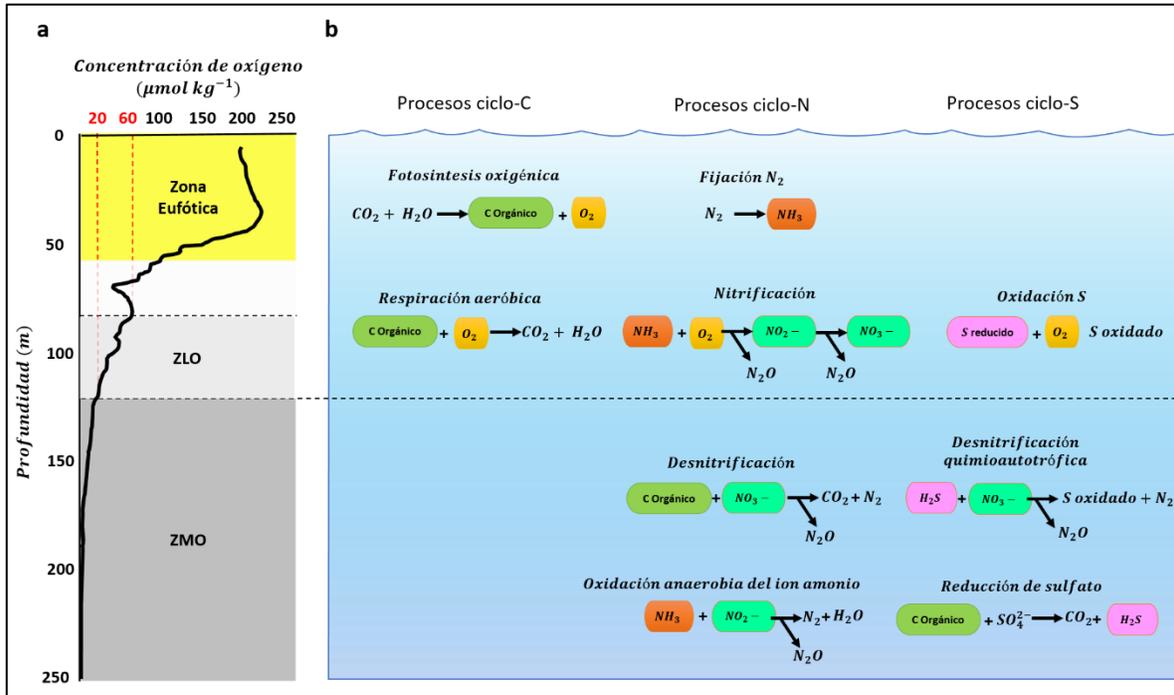


Figura 4.1-5: Procesos biogeoquímicos microbianos activos en zonas mínimas de oxígeno (ZMOs) y el océano oxigenado. A) Perfil característico de profundidad para el oxígeno disuelto en el Pacífico Norte Oriental, indicando las profundidades de la zona eufótica (amarilla), zona limitada de oxígeno (OLZ, gris claro) y ZMO (gris oscuro). B) Esquema de los procesos de ciclos C, N y S en el océano. Modificado de (Gilly et al. 2013).

4.1.1.2.4 Surgencia

El fenómeno de la surgencia costera consiste en el afloramiento o ascenso de agua profunda hacia el estrato superior del océano, en reemplazo del agua superficial que es retirada hacia el oeste, por efecto de los vientos Sur y de acuerdo con la espiral de Ekman.

La surgencia permite que aguas frías profundas con gran contenido de nutrientes sean llevadas a la superficie del mar (factor que limita la disponibilidad de alimento), y, por ende, determina alta productividad y enfriamiento de las capas superiores del océano.

Los activos centros de surgencia existentes en el norte de Chile permiten el asentamiento y desarrollo de una comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica abundante. En ocasiones, esta elevada productividad y disponibilidad de nutrientes se traduce en eventos de marea roja y/o bloom (proliferación) de microalgas, llegando a alcanzar un sistema eutrófico natural de gran inestabilidad ambiental, frecuentes entre primavera y otoño en el área del sistema de la corriente de Humboldt, favorecidos por procesos de estratificación post-surgencia y alta irradiancia que han sido señalados de manera frecuente en la región central y norte de Chile.

En lo que respecta al período de surgencia, este ocurre en todas las estaciones de año, influenciado por pulsos de vientos del Sur, que provocan el ascenso de agua ecuatorial subsuperficial (AESS) en la costa, frente a Punta Angamos (Mejillones) o Punta Coloso

(Antofagasta), siendo ambos sectores reconocidos como activos centros de surgencia. Pizarro et al. (1994) describe una estacionalidad del viento favorable a la surgencia, siendo de mayor intensidad y de menor variabilidad durante primavera y verano.

Los principales centros de surgencia en el norte de Chile se localizan en Punta Coloso, Península Mejillones, Punta Lobos, Punta Patache y de Punta Baquedano a Pisagua.

En Tocopilla, también se han registrado anomalías térmicas negativas en el sector costero, pero de menor intensidad a las informadas en Mejillones, Antofagasta, Punta Coloso o Coquimbo, lo cual ubicaría a Tocopilla como un foco secundario de surgencia, debido probablemente a la menor intensidad del viento que se registra respecto de otras localidades relativamente cercanas, como Caleta San Marcos o Mejillones (Figura 4.1-6). La Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), también describe la presencia de eventos de surgencia de carácter débil al norte de Tocopilla e intensos en Coquimbo y Mejillones (CPPS, 2010).

El ascenso de aguas frías hacia la superficie debido a la surgencia costera enfría y homogeniza la columna de agua. Varios estudios confirman la persistencia de aguas comparativamente más frías en el sector norte de Tocopilla, pero de menor extensión a los observados en los focos principales de surgencia, como Punta Coloso y Pta. Angamos.

La alta variabilidad de los vientos del sur y suroeste, que se manifiesta en escalas diarias y horarias, sugiere la ausencia de un efecto uniforme del foco de surgencia, evidenciándose una influencia pulsátil y altamente variable día a día.

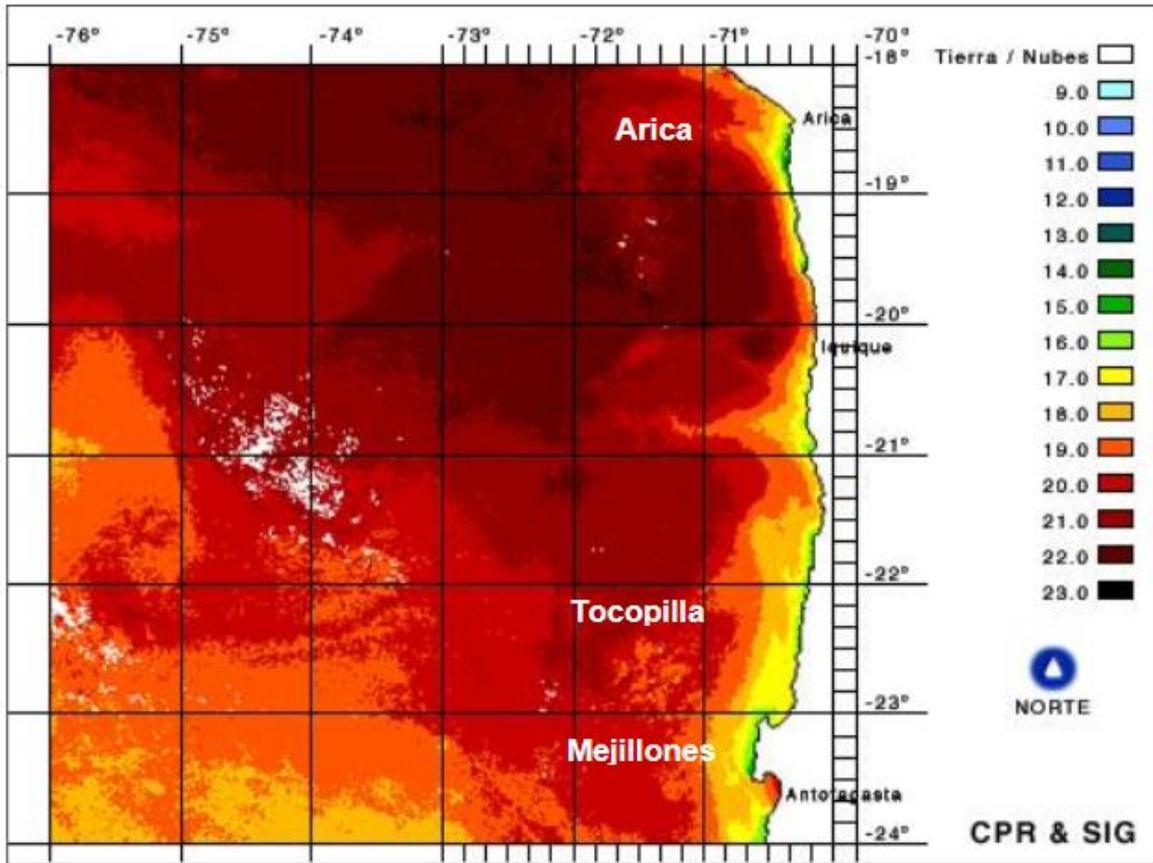


Figura 4.1-6: Temperatura superficial del mar desde Mejillones a Arica. Se registran temperaturas más bajas en la costa debido a la surgencia costera (Fuente: DIA Planta Desaladora Tocopilla)

4.1.1.3 Estructura y funcionamiento ecosistémico en Bahía Algodonales

Desde la latitud 18°S hasta 41°S, hay varias bahías de origen tectónico, muchas de ellas abiertas hacia el norte. Este tipo de sistema costero puede ser definido como tal debido a que presenta límites claros y características particulares. Durante la temporada de surgencias, la masa de agua ecuatorial subsuperficial (pobre en oxígeno) ingresa a dichas bahías provocando un aumento en los nutrientes, mezcla de las aguas superficiales, alta productividad primaria y altas tasas de sedimentación (en la cual cerca del 50 por ciento del carbón orgánico particulado desciende hacia los sedimentos, donde sufre remineralización). En todas estas bahías los sedimentos son anóxicos ricos en materia orgánica con ocurrencia de reducción activa de sulfatos. Asimismo, durante el invierno la masa de agua dominante es la masa de agua subantártica, saturada en oxígeno, con bajas concentraciones de nutrientes y salinidad. Los componentes abióticos fundamentales son la columna de agua de la bahía y el fondo que se describirá por el componente de los sedimentos (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

4.1.1.3.1 Caracterización física de los componentes abióticos

Bahía Algodonales y Puerto de Tocopilla, se ubica a 244 km al sur de la ciudad de Iquique y a 188 km al norte de la ciudad de Antofagasta. La bahía en sentido estricto se extiende desde Península Algodonales hasta Roca Blanca, su boca mide 3,6 km y su saco 1,3 km. La bahía colinda con el centro urbano de la ciudad de Tocopilla, en su saco surponiente se concentra la actividad industrial, minera y portuaria, abarcando la península Algodonales. Esta península ofrece el único abrigo al oleaje del SW, sin embargo, el litoral es, en general, expuesto y de alta energía. El litoral propiamente tal es rocoso, y está constituido por una plataforma de abrasión activa, aunque existe una playa natural de arena al centro de la bahía (playa Panteón o Salitre), próxima al emisario submarino que descarga al mar las aguas domésticas de la ciudad, por lo que no es utilizada como balneario.

En cuanto al régimen de marea, el litoral presente entre Bahía Mejillones y Tocopilla presenta mareas del tipo semidiurnas mixtas de amplitud moderada, pues se trata de un régimen caracterizado por dos bajas mareas y dos altas mareas en un día lunar. De este modo, el rango de marea es moderado, con un valor medio mensual entre 0.8 m y 0.9 m, y un rango máximo de sicigias entre 1.4 m y 1.7 m (Aquacien, 2016).

En cuanto a la granulometría presente en la Bahía Algodonales, diversos estudios sobre las características de los sedimentos en la zona costera de Tocopilla dan cuenta de los tipos de sustratos marinos que se presenta en el área de influencia del proyecto. En general la información es fragmentaria, sin embargo, permite tener una buena aproximación a las principales características que poseen los sedimentos del sector, el que es predominantemente de suelos costeros y fondos marinos en su mayor parte de tipo rocoso compacto (Promina, 2014).

Así, los porcentajes de cada una de las fracciones sedimentológicas submareales del sector Sur de punta Algodonales, están compuestos por arena, preponderando la fracción arena media. Por su parte, en las cercanías de Punta Algodonales por el sector Norte, el sedimento presenta una composición granulométrica diferente, ya que predominan las fracciones de cascajo fino y muy fino, es decir, aquellas partículas con diámetro superior a 2mm. Según los parámetros granulométricos, se está en presencia de sedimentos moderadamente distribuidos (moderado a exceso de gruesos) en la estación Sur, y de sedimentos muy bien clasificados en el Norte (Promina, 2014).

En resumen, la estación Norte presenta fondos con partículas de gran tamaño, generalmente cubiertas por una delgada capa de sedimento negro y muy fino. En cambio, el sector Sur, predomina la arena media de color amarillento, entremezclada con restos de conchas y algas. (Promina, 2014).

En cuanto a la estructura térmica y salina, esta queda determinada en líneas generales por la intensidad de radiación solar y por la mayor o menor penetración de aguas cálidas y salinas del frente subtropical (AST). A este hecho se debe agregar, el efecto de las activas surgencias costeras que provocan una disminución de la temperatura del mar. En la

estación de verano, la región oceánica se caracteriza por gran influencia de aguas subtropicales, con temperaturas superiores a 22°C, asociadas a salinidades mayores a 35,0 psu, mientras que la zona costera dentro de las 20 mn, presenta una situación térmica más fría (20°C) y salinidad entre 34,8 y 34,9 psu. La característica más notable del período estival es el desarrollo de un fuerte gradiente termosalino que se extiende a lo largo de la costa y que se origina por la penetración de aguas oceánicas de origen subtropical, de elevada temperatura y salinidad, que entran en contacto con las aguas frías de la surgencia costera, mientras que en el período invernal se caracteriza por una mayor uniformidad de los componentes térmicos y salinos. La temperatura fluctúa entre 15°C y 16°C y la salinidad entre 34,7 psu y 34,8 psu. Comparativamente, la influencia de aguas de origen subantártico es más acentuada en esta época (Aquacien, 2016).

La temperatura superficial del mar en la región de Antofagasta varía estacionalmente, presentándose condiciones más cálidas en verano (20°C), que en invierno (15°C). La salinidad del mar es relativamente alta, debido a la influencia de AST, con magnitudes fluctuando entre 34,6 psu y 34,9 psu, correspondiendo los valores inferiores a la época de invierno o primavera. Ocasionalmente, se registran salinidades anómalas superiores a 35,0 psu, que están en estrecha relación con eventos climáticos cálidos y lluviosos del Fenómeno El Niño (ENOS) (Aquacien, 2016).

Con el aumento de la radiación solar propia de la época estival, se desarrolla un gradiente de variación vertical (termoclina), entre las aguas superficiales cálidas y las aguas profundas frías, lo que estratifica la columna de agua. No obstante, debido a la surgencia costera, la columna de agua se puede enfriar y homogeneizar regularmente (Figura 2-6), en tanto, la columna de agua presenta una estructura térmica relativamente homogénea en la época invernal, con temperaturas entre 14°C y 16°C (Aquacien, 2016).

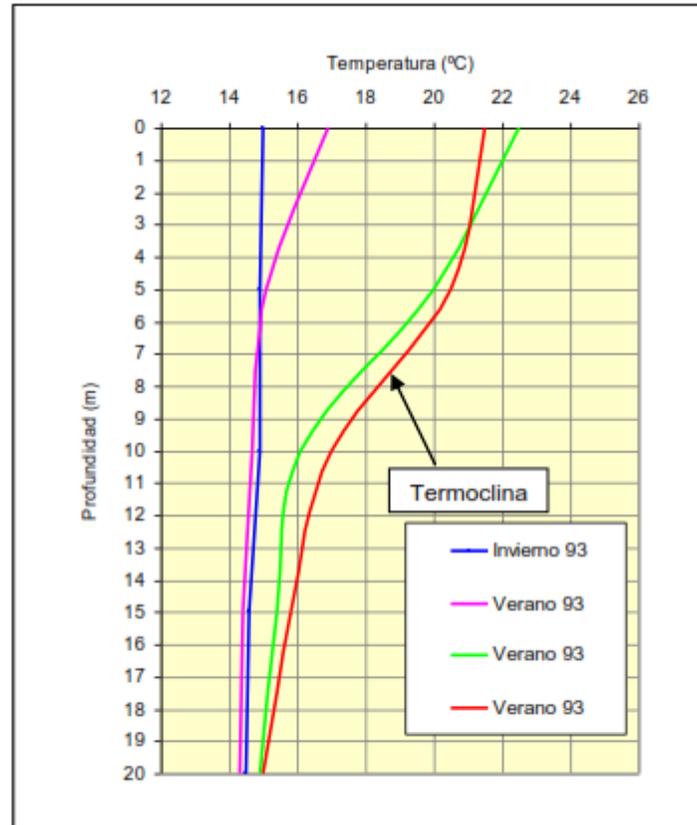


Figura 4.1-7: Perfiles de temperatura en Bahía Mejillones. (Fuente: Aquacien, 2016).

En cuanto a los vientos presentes en el área de estudio, se destaca el comportamiento descrito por Aquacien (2016), donde menciona que en Tocopilla se evidencia un patrón de vientos costeros con predominio de los flujos del W (W, WNW, NW, WSW y SW), lo que no es consistente con el patrón de circulación de locaciones relativamente cercanas, como Mejillones, Michilla y Caleta San Marcos, que asigna más importancia a la circulación del S o SW, por lo cual se sugiere que hay un efecto orográfico local en Tocopilla, que determina que los vientos reinantes sean del W y no del SW o S.

Del mismo modo, se menciona que se distingue un patrón con diferenciación diurna, controlado por la radiación solar y la topografía del sector, mientras que de madrugada predomina la circulación débil tierra-mar (brisa terrestre) o condiciones de calma, y por la tarde es común la circulación sostenida de mar tierra (brisa marina), con magnitudes medias de 3,0 m/s y máximas de 5,5 m/s, pero que se extingue con la puesta del sol (Aquacien, 2016), por lo que finalmente, la variación diaria es la siguiente: períodos de calma o viento débil de madrugada e intensidad máxima en la tarde, para declinar al ocaso.

En cuanto a las corrientes presentes, Promina (2014) en su estudio describe que en la capa superior se obtuvo una dirección media aproximadamente al NO-NE y que en la península Algodonales, el agua de este sector sale hacia mar abierto, posiblemente debido a que el viento Sur predominante impulsa las corrientes hacia el Norte, pero la península

Algodonales impide el paso y las desvía hacia el Oeste y Suroeste. Además, se hace mención a que las corrientes de verano son opuestas en dirección a las del invierno, y que ambas son estables y no se ven afectadas por las mareas, sino por el efecto topográfico provocado por la península Algodonales y en parte por el viento. Así, las corrientes con dirección E-SE-NE se registran un 16,6% de las veces en invierno y un 0,41% en verano, donde estas corrientes son consideradas desfavorables por su orientación hacia la costa.

Del mismo modo, el estudio de correntometría euleriana realizado en época de otoño por Aquacien (2016) evidenciaron un patrón de circulación con flujos y contraflujos, en sentido E-NE o W-NW, manifestando un patrón dinámico rotatorio debido al forzamiento combinado del viento y la marea. A su vez, del análisis de frecuencia evidenció un transporte residual dirigido hacia el Norte del área de estudio.

4.1.1.3.2 Caracterización fisicoquímica de los componentes abióticos

i. Columna de agua

Para caracterizar fisicoquímicamente los componentes abióticos de Bahía Algodonales, en específico los presentes en la columna de agua, se utilizó la información recopilada de PVA de industrias de la zona, además de información presente en las líneas base de distintas EIAs y DIAs recopiladas a partir de la base de datos presente en el Servicio de Evaluación Ambiental, y de la información presente en el POAL.

La forma de presentar la información consistió en mostrar gráficos espaciales y temporales para cada uno de los parámetros seleccionados. Esto es, gráficos espaciales que muestran el valor del parámetro en cuestión para cada una de las zonas de Tocopilla, coincidentes con las denominadas por POAL y sectores de importancia. Estas figuras, permiten identificar de forma general el estado de bahía Algodonales por cada una de las zonas. Los gráficos temporales, consisten en el ordenamiento temporal de la totalidad de los datos. Esto permite identificar la evolución temporal de los parámetros e identificar si es que la calidad ambiental ha cambiado los últimos años.

Así, las normativas utilizadas para agua y sus criterios son los siguientes:

- Decreto N° 144/2009: Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo.
- National Recommended Water Quality Criteria de la EPA (2009): Propone dos criterios:
 - o CMC (Criteria Maximum Concentration): Consiste en una estimación de la máxima concentración de un elemento en agua superficial ante la cual una comunidad acuática puede ser expuesta sin resultar efectos agudos.

- CCC (Criterion Continuous Concentration): Consiste en la estimación de la concentración más elevada a la que puede ser expuesta una comunidad acuática indefinidamente sin resultar en efectos inaceptables.
 - CCME (2007). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.
 - Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (2000).

A continuación, la Tabla 4.1-4 muestra los valores referenciales utilizados para comparar los parámetros de calidad ambiental del agua marina, recopilados de la información histórica en bahía Algodonales.

Tabla 4.1-4 Normativa nacional e internacional utilizada para contrastar los parámetros de calidad ambiental del agua marina en bahía Algodonales

Parámetros	Unidad	Decreto N°144, 2009	EPA, 2009 (US)		CCME, 2007 (Canadá)	Australia and New Zealand Environment, 2000
			CMC (Agudo)	CCC (Crónico)		
Oxígeno Disuelto	%	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	-	-	-	-	-
pH		6,0 - 8,5	-	6,5 - 8,5	7,0 - 8,7	-
Sólidos Totales Suspendidos	mg L ⁻¹	-	-	-	-	-
Aceites y Grasas emulsificadas	mg L ⁻¹	-	-	-	-	-
Hidrocarburos Totales	µg/L	-	-	-	-	-
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	µg/L	-	-	-	-	-
Detergentes	mg L ⁻¹	-	-	-	-	-
Amonio	µg/L	-	-	-	-	-
Cianuro	µg/L	770	1	1	-	2
Cloro libre residual	µg/L	-	-	-	-	-
Fenoles	µg/L	-	-	-	-	270
Sulfuro	µg/L	-	-	-	-	-
Bifenilos policlorados (PCBs)	µg/L	-	-	0	-	-
Aldrin	µg/L	-	1	-	-	-
Clordano	µg/L	-	0	0	-	-
Malatión	µg/L	-	-	-	-	-
Pentaclorofenol	µg/L	-	13	8	-	11
DDT	µg/L	-	-	-	-	-
4,4'-DDT	µg/L	-	0	0	-	-

Parámetros	Unidad	Decreto N°144, 2009	EPA, 2009 (US)		CCME, 2007 (Canadá)	Australia and New Zealand Environment, 2000
			CMC (Agudo)	CCC (Crónico)		
Demeton	µg/L	-	-	-	-	-
Dieldrin	µg/L	-	1	0	-	-
Heptacloro	µg/L	-	0	0	-	-
Heptacloro Epóxido	µg/L	-	0	0	-	-
Lindano	µg/L	-	0	-	-	-
Paratión	µg/L	-	-	-	-	-
Cobre disuelto	µg/L	-	5	3	-	0
Cromo Total	µg/L	550	-	-	-	-
Níquel disuelto	µg/L	-	74	8	-	7
Selenio disuelto	µg/L	-	290	71	-	-
Zinc disuelto	µg/L	-	90	81	-	7
Aluminio disuelto	µg/L	-	-	-	-	-
Estaño disuelto	µg/L	-	-	-	-	-
Mercurio disuelto	µg/L	11	2	1	-	-
Plomo Disuelto	µg/L	110	210	8	-	2
Cromo Trivalente disuelto	µg/L	-	-	-	56	8
Cromo Hexavalente	µg/L	-	1.100	50	2	0
Arsénico disuelto	µg/L	110	69	36	13	-
Cadmio disuelto	µg/L	33	40	9	0	1
Mercurio Inorgánico disuelto	µg/L	-	-	-	0	0
Coliformes Fecales	NMP 100mL ⁻¹	1.000	-	-	-	-

Parámetros	Unidad	Decreto N°144, 2009	EPA, 2009 (US)		CCME, 2007 (Canadá)	Australia and New Zealand Environment, 2000
			CMC (Agudo)	CCC (Crónico)		
Coliformes Totales	NMP 100mL ⁻¹	-	-	-	-	-
Naftaleno	µg/L	-	-	-	1	50
Aldicarb	µg/L	-	-	-	0	-
Benceno	µg/L	-	-	-	110	500
Carbaril	µg/L	-	-	-	0	-
Monoclorobenceno	µg/L	-	-	-	25	-
1,2 -Diclorobenceno	µg/L	-	-	-	42	-
1,2,4 Triclorobenceno	µg/L	-	-	-	5	20
Clorotalonil	µg/L	-	-	-	0	-
Clorpirifos	µg/L	-	-	-	0	0
Etilbenceno	µg/L	-	-	-	25	-
MTBE	µg/L	-	-	-	5.000	-
Nitrato	µg/L	-	-	-	16.000	-
Tributilestaño	µg/L	-	-	-	0	-
La Permetrina	µg/L	-	-	-	0	-
Tolueno	µg/L	-	-	-	215	-
Plata	µg/L	-	2	-	-	1
α-Endosulfan	µg/L	-	0	0	-	-
β-Endosulfan	µg/L	-	0	0	-	-
Endrin	µg/L	-	0	0	-	0
Toxaphene	µg/L	-	0	0	-	-

Parámetros	Unidad	Decreto N°144, 2009	EPA, 2009 (US)		CCME, 2007 (Canadá)	Australia and New Zealand Environment, 2000
			CMC (Agudo)	CCC (Crónico)		
Cobalto disuelto	µg/L	-	-	-	-	0
Vanadio disuelto	µg/L	-	-	-	-	50
Amoniaco	µg/L	-	-	-	-	500
Tricloroetano	µg/L	-	-	-	-	140
Dicloroanilina	µg/L	-	-	-	-	85
Acenafteno	µg/L	-	-	-	-	

En la Figura 4.1-8 y en la Tabla 4.1-5 se adjuntan los distintos datos de mediciones de parámetros de calidad de agua recopilados y los puntos de referencia utilizados para el análisis espacial de las distintas concentraciones encontradas.

Tabla 4.1-5: Puntos de referencia utilizados en la descripción de la información de calidad química de agua recopilada.

ID	UTM N(m)	UTM E(m)	Nombre Ubicación	Punto POAL	Inicio Registro	Fin Registro
1	7.552.846	374.223	Lipesed	-	-	-
2	7.554.267	374.723	Playa Covadonga	-	-	-
3	7.556.439	375.292	Lado Norte Brazo Mecánico	090-A-To	01-04-1994	25-10-2017
4	7.556.589	374.832	Weste muelle Codelco	080-A-To	01-04-1994	06-12-1996
5	7.556.811	375.661	Muelle Soquimich	070-A-To	01-04-1994	06-12-1996
6	7.557.336	375.944	Altura Calle Washington	050-A-To	01-04-1994	25-10-2017
7	7.557.801	376.456	Playa El Panteón	040-A-To	29-07-1994	06-12-1996
8	7.559.372	376.760	Playa Punta Paraguas	007-A-To	06-12-2016	25-10-2017
9	7.559.378	376.772	Estación Control Punta Duendes	013-A-To	17-10-2013	25-10-2017
10	7.561.314	376.634	Caleta Vieja	-	-	-
11	7.562.719	377.049	Cenizales	-	-	-

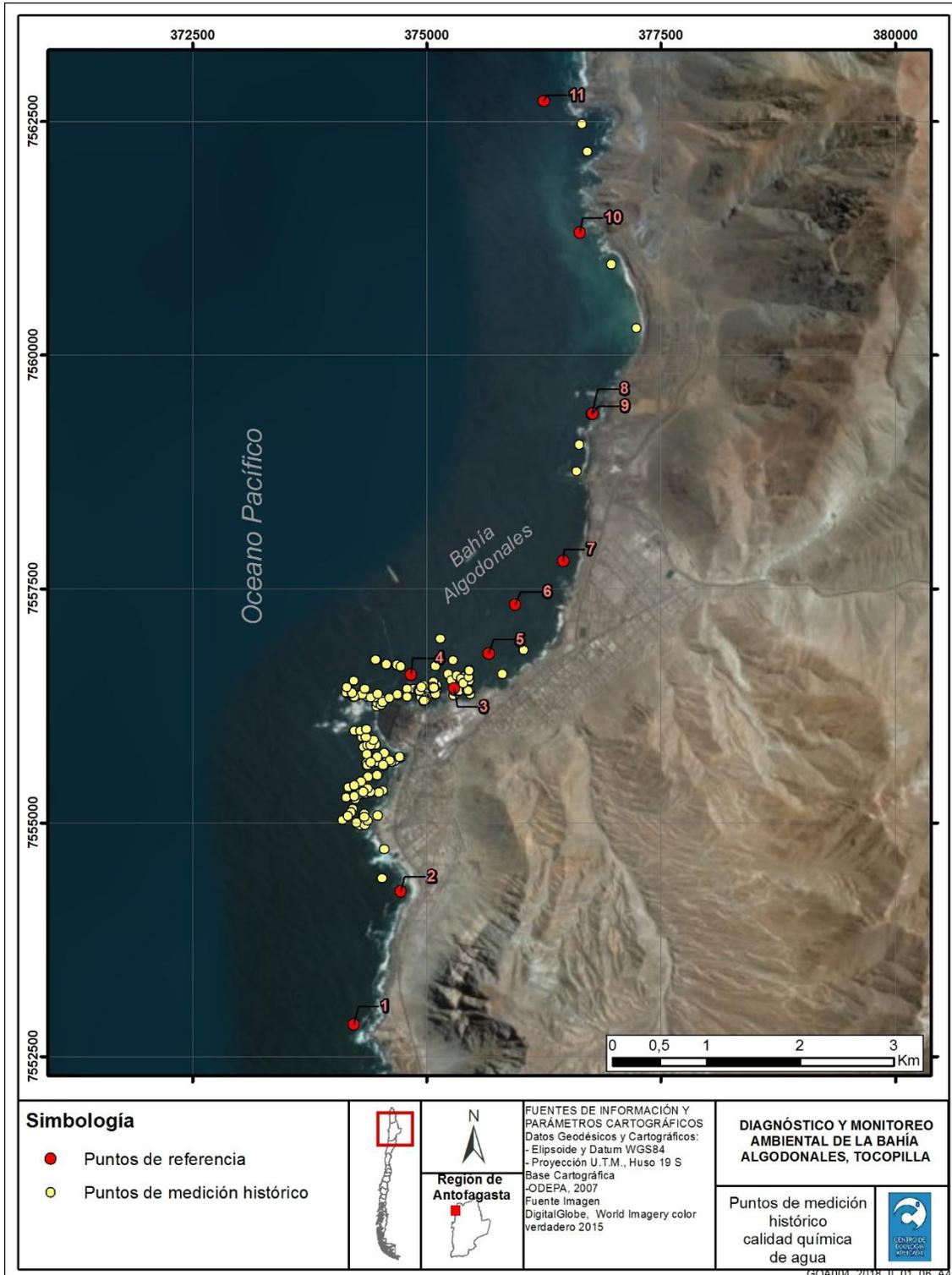


Figura 4.1-8: Puntos de medición históricos recopilados de calidad química de agua (puntos amarillos) y puntos de referencia utilizados (puntos rojos).

a) *Parámetros de condición instantánea*

- Oxígeno disuelto

La concentración disuelta del Oxígeno presente en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente ha variado entre un valor mínimo de 2,03 mg/L en el punto CNG-A1-PVA37 registrado durante 2005 y una concentración máxima histórica de 8,79 mg/L en el punto 090-A-To medido en campaña 2007. En cambio, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones de oxígeno han variado ampliamente entre registros anóxicos de 0,34 mg/L registrado en CNG-A3-PVA37 durante 2011 y un máximo de 8,79 mg/L durante 2007 en el punto 050-A-To (Figura 4.1-9, abajo).

En términos de la variabilidad temporal las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua registran patrones de ciclicidad claros de duración variable, con periodos de concentración promedio mayores sucedidos por periodos con concentraciones promedio menores, sin embargo esto, se observa una tendencia al aumento en los registros medios con concentraciones en promedio más altas durante el último periodo entre 2015 y 2017 (Figura 4.1-9).

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que las mayores concentraciones de oxígeno disuelto se han registrado de forma homogénea espacialmente al sur de punta Algodonales, entre los puntos de referencia 2 y 4, es decir, entre Playa Covadonga y Weste Muelle Codelco, respectivamente (Figura 4.1-9, abajo).

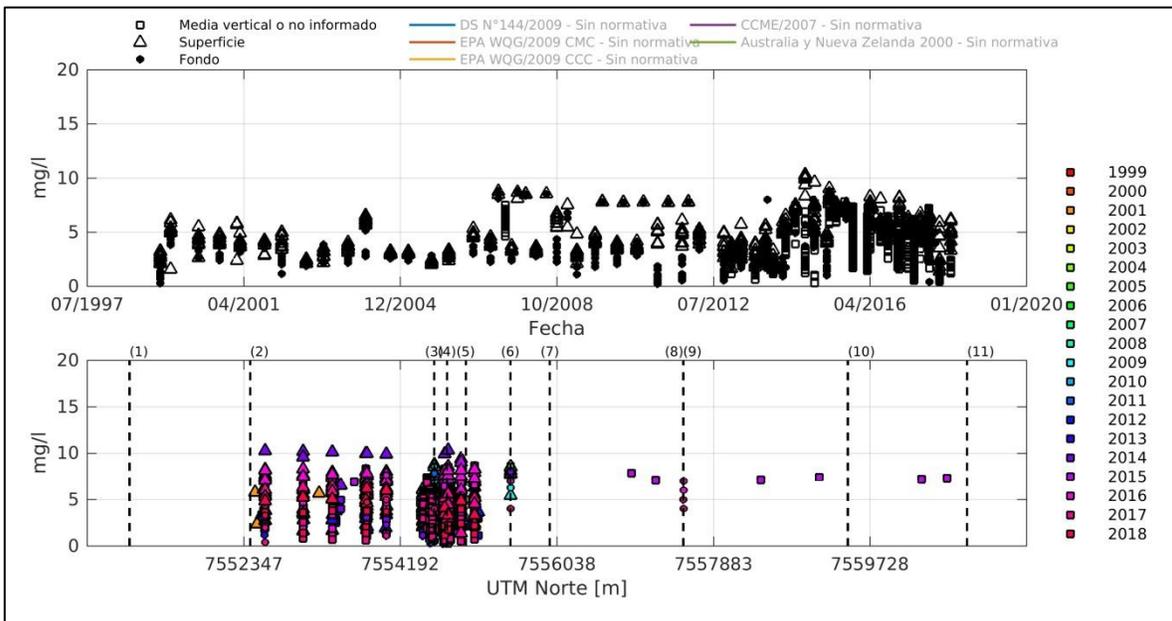


Figura 4.1-9. Concentración de Oxígeno disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas bases y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

Con respecto, a los umbrales de concentración de oxígeno disuelto normados por la legislación no se registran valores en la normativa revisada (Figura 4.1-10).

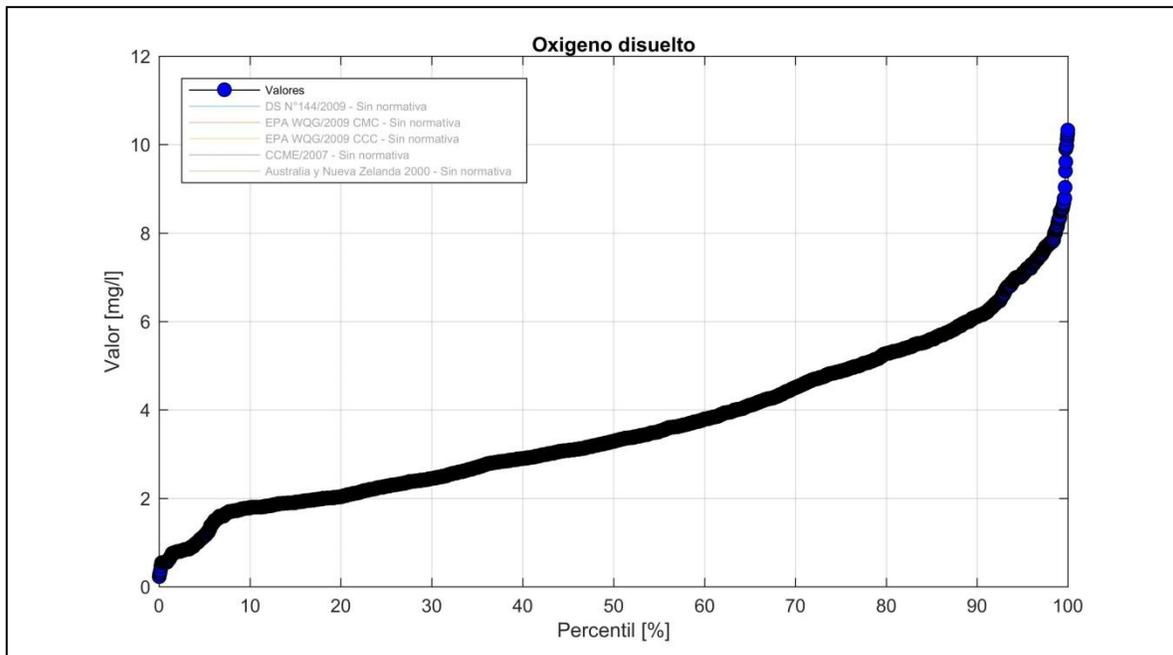


Figura 4.1-10. Concentración de Oxígeno disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· pH

El carácter ácido-básico tanto de la sección superficial como profunda de la columna de agua de la bahía medido como el pH, históricamente ha variado reducidamente entre 6.70 medido en CNG-A4-PVA37 durante 2012 y un máximo de 8.70 unidades medidas durante 2013 en el punto CNG-A2-PVA37 (Figura 4.1-11, abajo).

En lo que se refiere a la variación espacial de los registros, se observa que los mayores valores de pH se han registrado al sur de punta Algodonales, entre los puntos de referencia 2 y 3, esto es entre Playa Covadonga y Lado Norte Brazo Mecánico, respectivamente (Figura 4.1-11, abajo).

De igual manera que para el oxígeno disuelto, en términos de la variabilidad temporal el pH en la columna de agua registra un patrón claro de ciclicidad duración relativamente estable, con periodos de promedio de pH mayores sucedidos por periodos con promedio menores sin una tendencia central de evolución temporal (Figura 4.1-11).

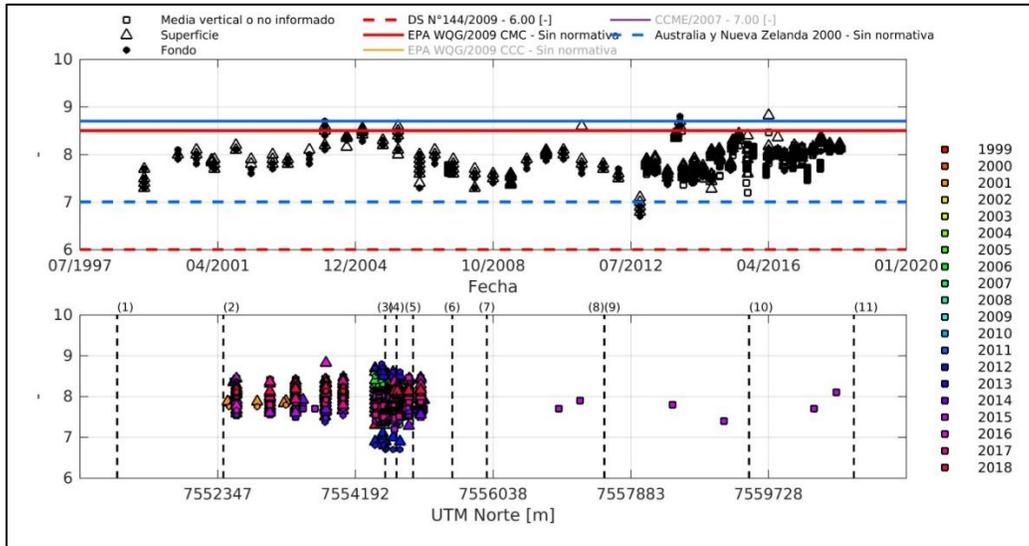


Figura 4.1-11. PH en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos y mínimos pH en agua en las normas analizadas, se observa que bajo el 5% de los valores registrados en el periodo de monitoreo histórico de pH han estado fuera de los límites sugeridos por el D.S. N°144 (2009) y por el CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007), es decir los valores han estado bajo el mínimo o sobre el máximo definido en dichas normas (Figura 4.1-12).

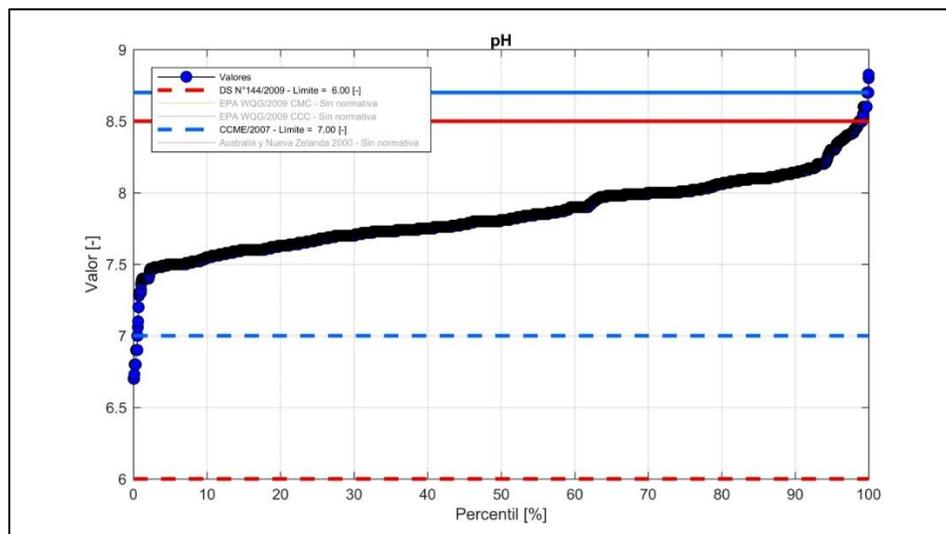


Figura 4.1-12. PH en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009) y CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007).

· Temperatura

La temperatura del agua tanto en la sección superficial como profunda de la columna en la bahía históricamente ha variado entre un valor mínimo de 13.00 °C en PF-03 medido en fondo durante 2007 y un máximo de 21.8 °C medido en superficie del punto PF-01-Descarga durante 2014 (Figura 4.1-37, abajo).

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que los mayores valores de temperatura del agua en la zona acotada por los puntos de referencia 2 y 4, esto es, entre Playa Covadonga y Villa Chilex, respectivamente (Figura 4.1-37, abajo).

En términos de la variabilidad temporal la temperatura en la columna de agua registra un patrón de ciclicidad al igual que el oxígeno y pH, esto se observa en periodos de temperatura promedio mayores sucedidos por periodos con temperaturas promedio menores, sin embargo esto, se observa una leve tendencia al aumento en la temperatura, en promedio más altas durante el último tramo del periodo histórico (2013-2017) (Figura 4.1-37).

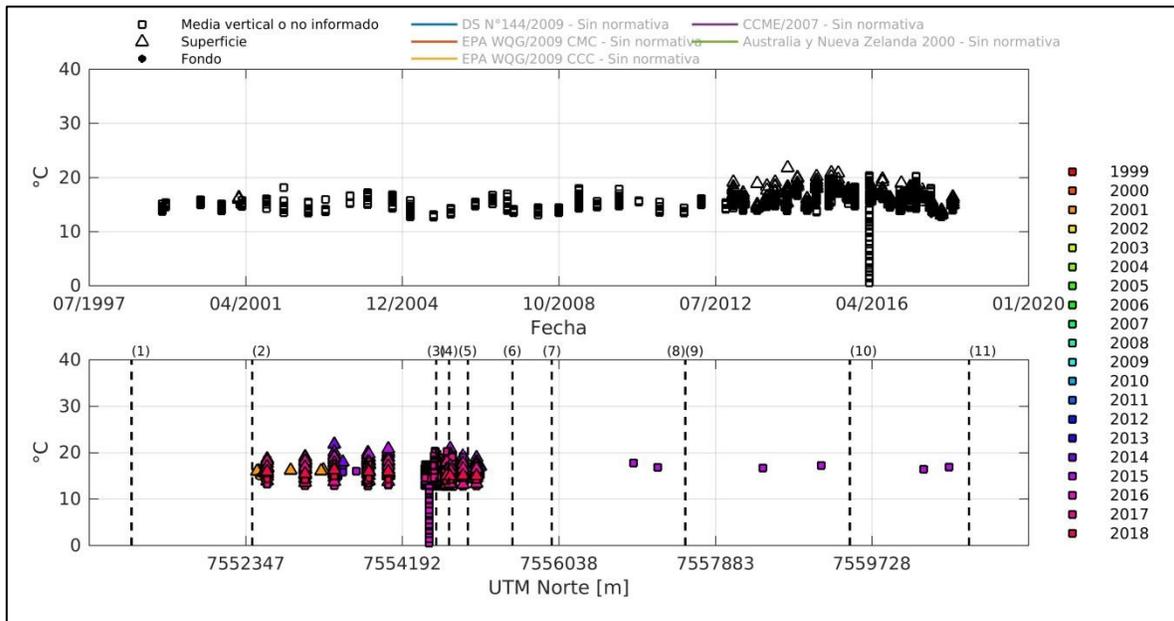


Figura 4.1-13. Temperatura en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

Con respecto a los umbrales de temperatura del agua normada por la legislación, no se registran valores en la normativa revisada (Figura 4.1-38).

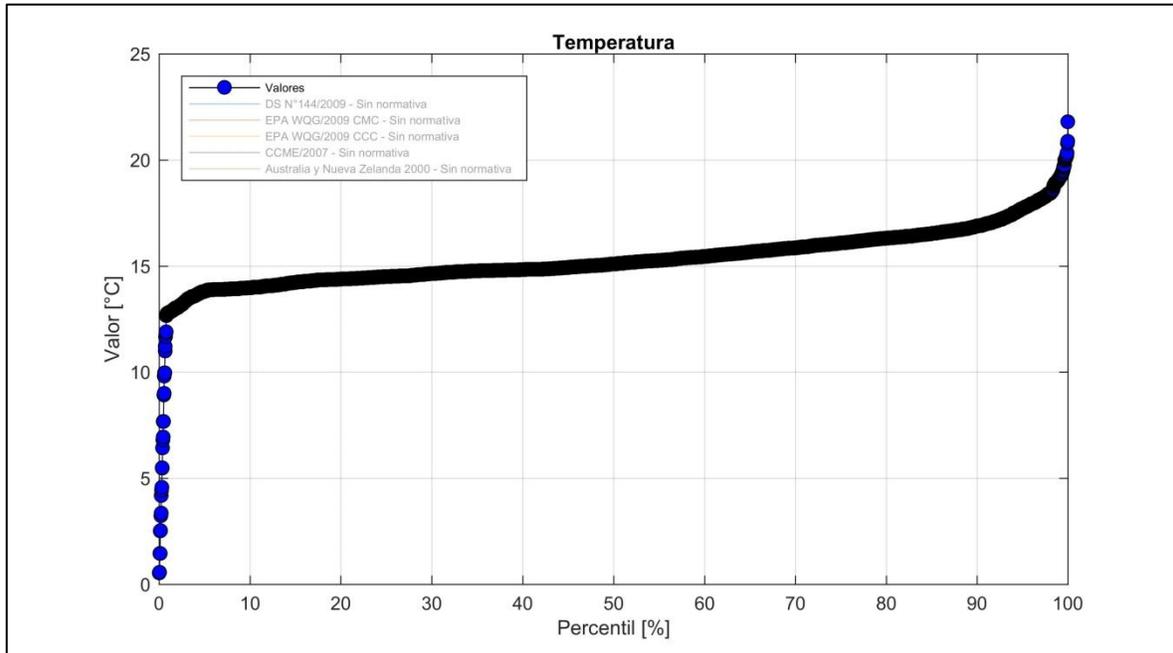


Figura 4.1-14. Temperatura en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅)

Este parámetro indicativo de la actividad biológica en la columna de agua, ha variado históricamente entre valores de 1,25 mg de Oxígeno/L registrado durante 2014 en el punto PF-10 y un registro máximo de 43,2 mg de Oxígeno/L medido en los puntos A-3 y B-2, ambos en 2001 (Figura 4.1-15, abajo).

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que los mayores valores de la DBO₅ se han registrado de forma puntual al sur del área de estudio, entorno de Playa Covadonga (Figura 4.1-15, abajo).

En términos de la variabilidad temporal los valores de DBO₅ presentan una tendencia clara de disminución con registros mayores al comienzo del periodo y con los menores durante las últimas campañas (Figura 4.1-15).

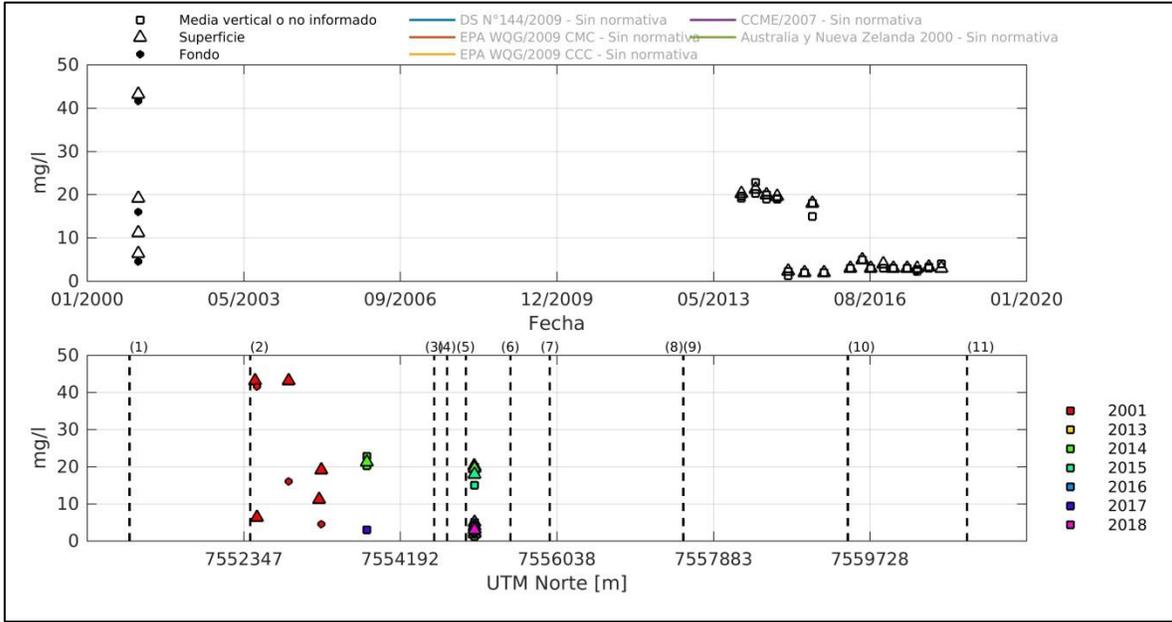


Figura 4.1-15. Demanda Bioquímica de Oxígeno en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a la normativa revisada, no se hallaron umbrales normados de DBO5 en columna de agua (Figura 4.1-16).

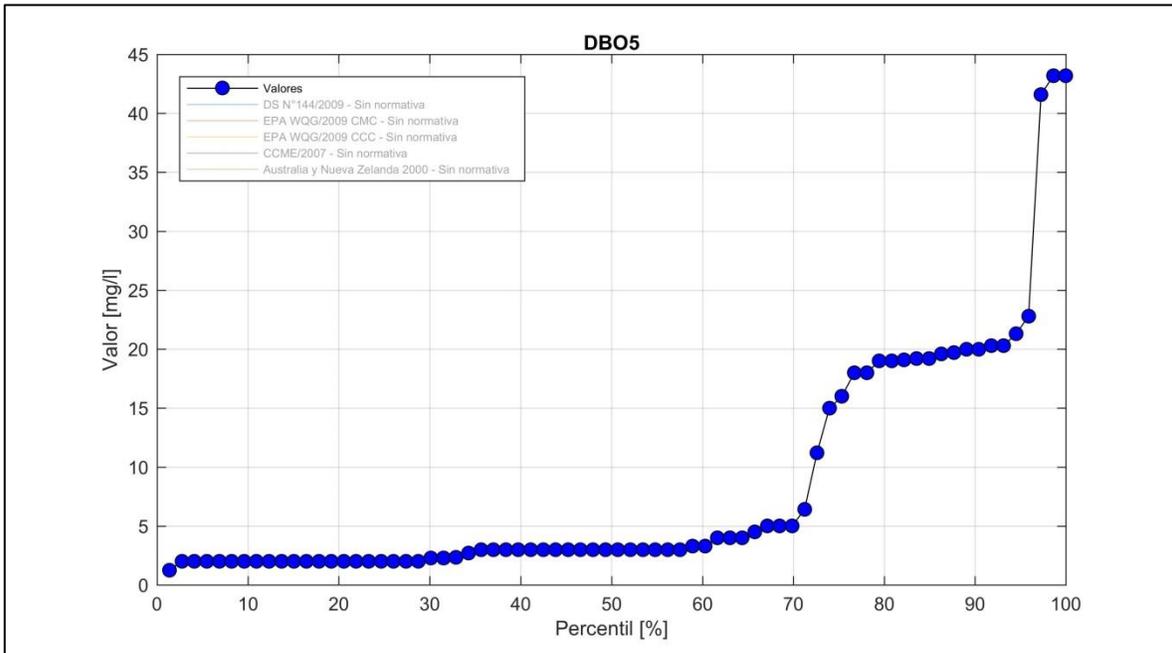


Figura 4.1-16. Demanda Bioquímica de Oxígeno en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

b) Otros parámetros de interés ambiental

- Sólidos Suspendidos

Las concentraciones de Sólidos en suspensión en la sección transversal de la columna de agua en la bahía históricamente han variado ampliamente, entre valores mínimos de 0,5 mg/L en la estación E-6 en 2015 y una concentración máxima de 55 mg/L en el punto 090-A-To registrado durante 2010.

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones Sólidos Suspendidos están distribuidas en una zona amplia desde punta algodonales hacia el sur (entre Playa Covadonga y muelle SOQUIMICH), donde se concentra además el mayor número de mediciones (Figura 4.1-17, abajo).

En términos promedio temporales, se observa una tendencia a la disminución luego de un valor máximo en 2005, en tanto que el mínimo se registró durante 2008 (Figura 4.1-17, arriba).

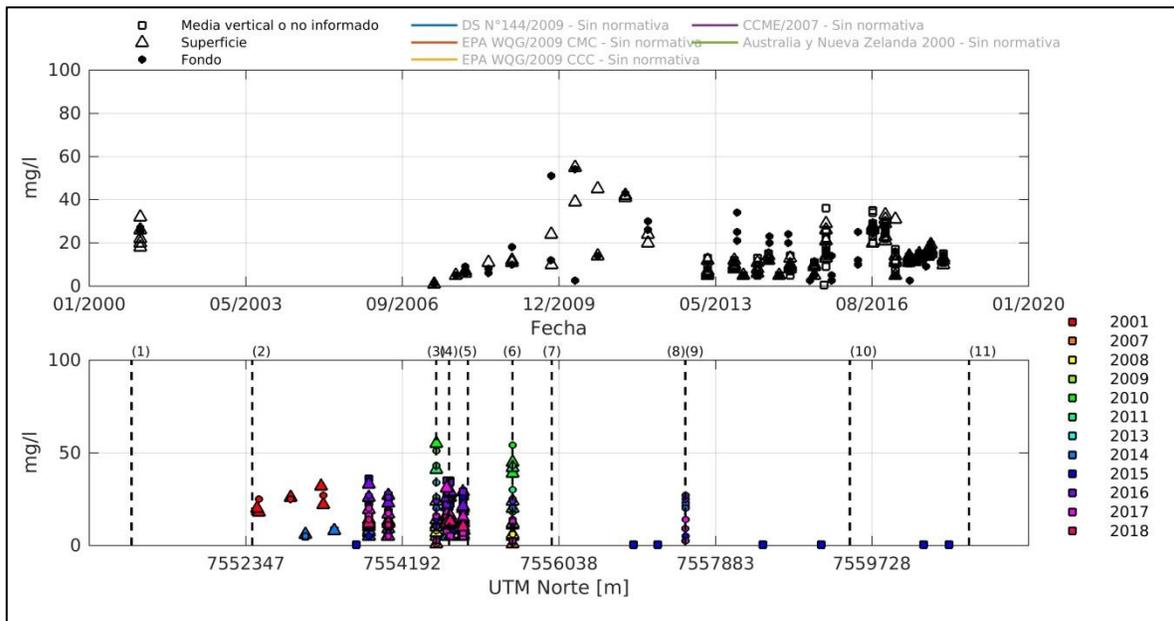


Figura 4.1-17. Concentración de Sólidos suspendidos en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En cuanto al porcentaje de excedencia, no se registran umbrales máximos informados en la normativa analizada en cuanto a solidos suspendidos (Figura 4.1-18).

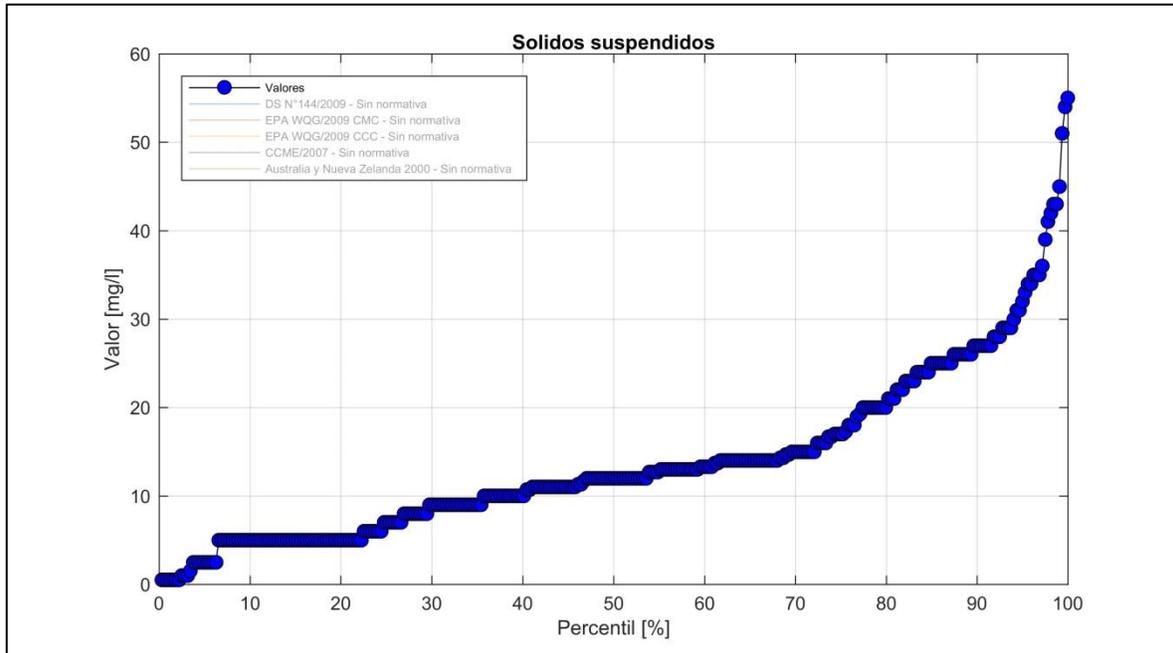


Figura 4.1-18. Concentración de Sólidos suspendidos en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Sólidos Disueltos

Las concentraciones de Sólidos en disolución en la sección transversal de la columna de agua en la bahía históricamente han oscilado entre valores mínimos de 29,1 mg/L en la estación PF-06 en 2013 y una concentración máxima de 46100 mg/L en el punto PF-05 registrado durante 2014.

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones de Sólidos Suspendidos están distribuidas de forma homogénea en una zona acotada de la bahía en el sector centro sur y al sur de punta Algodonales (al sur de Villa las rocas y muelle SOQUIMICH), donde se concentra además el mayor número de mediciones (Figura 4.1-19, abajo).

En términos promedio temporales, se observa una tendencia clara a la disminución desde el comienzo de los registros, con valor gradualmente menores hasta la actualidad (Figura 4.1-19, arriba).

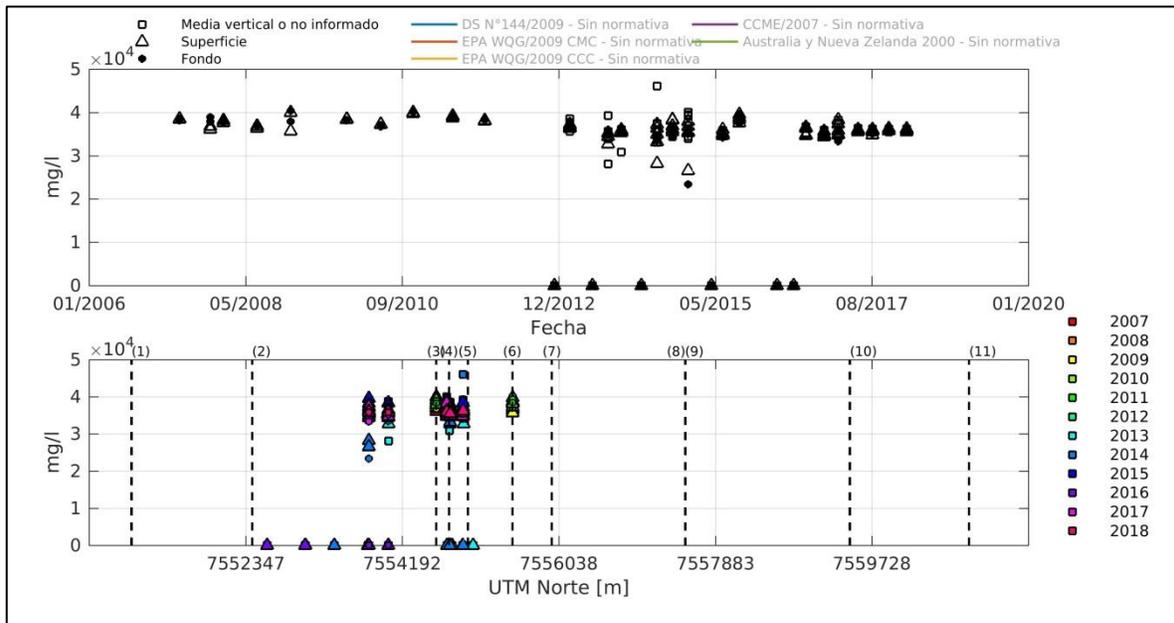


Figura 4.1-19. Concentración de Sólidos disueltos en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En cuanto al porcentaje de excedencia, no se registran umbrales máximos informados en la normativa analizada para los sólidos disueltos (Figura 4.1-20).

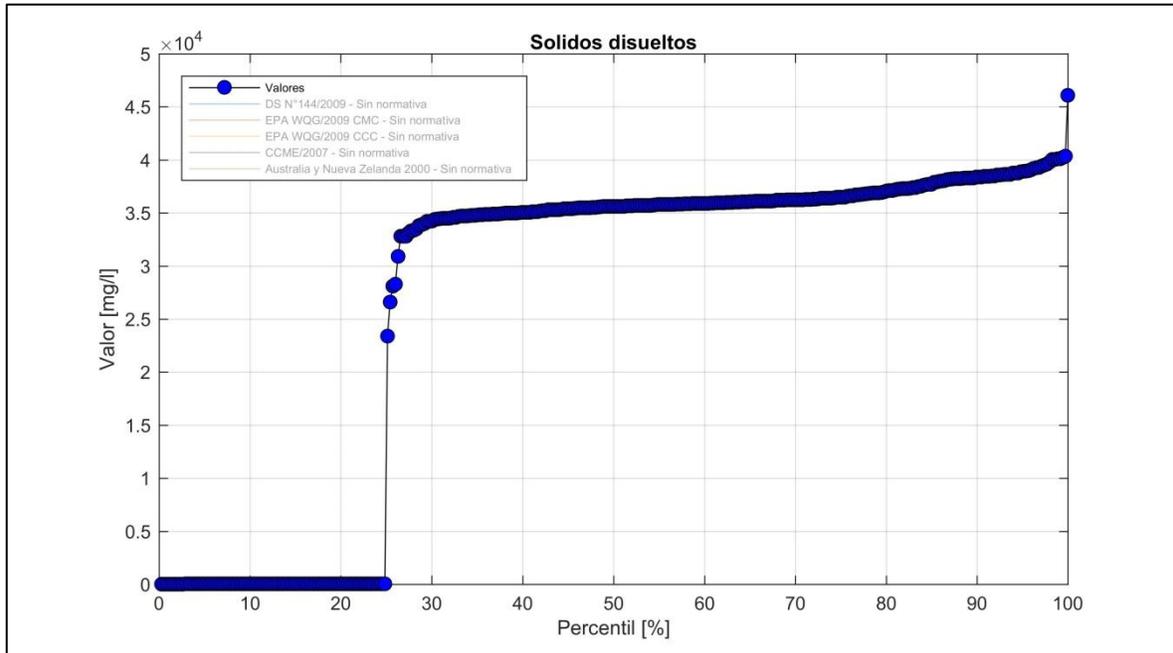


Figura 4.1-20. Concentración de Sólidos disueltos en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Turbidez

En el caso particular de la turbidez sus valores no se pueden analizar históricamente su variación, debido a que se registra tan solo una campaña de monitoreo que incorporó dicho parámetro. En este sentido, la variación fue entre un valor mínimo de 0,52 NTU registrado en el punto B-02 y un máximo de 0,81 NTU registrado en el punto A-03. Con lo anterior se observa que los registros más altos se presentaron en el sector centro norte de la bahía en la cercanía del sector Punta Paraguas (Figura 4.1-96, abajo).

En lo que respecta a la variación temporal, no puede observarse patrón alguno ya que la totalidad de los datos se registró durante una única campaña durante 2001 (Figura 4.1-96, arriba).

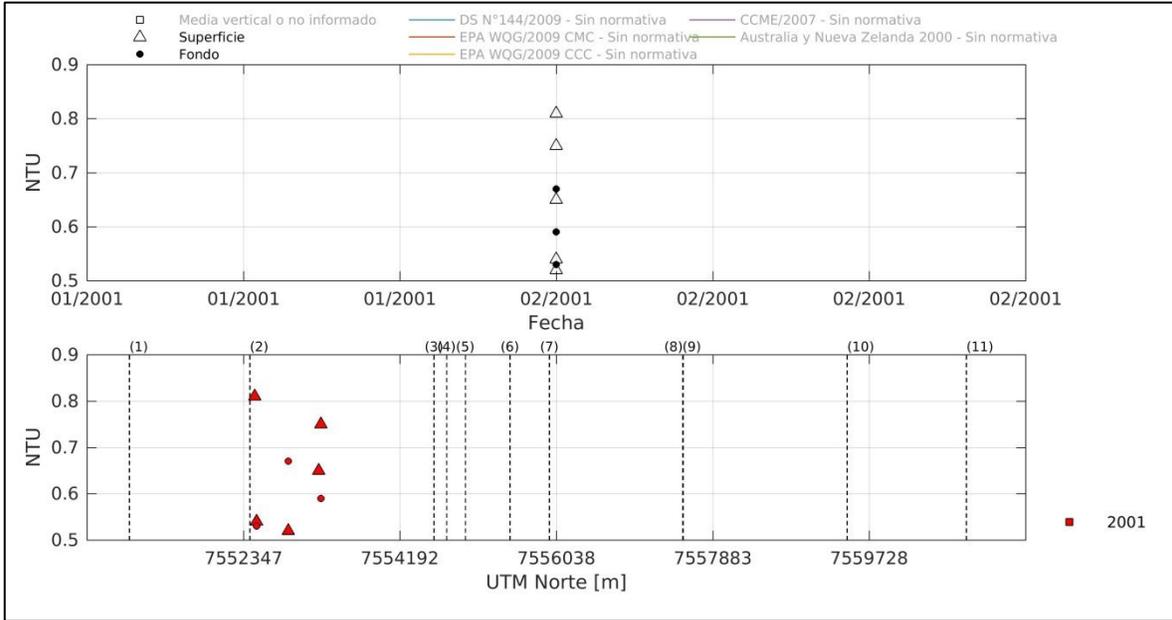


Figura 4.1-21. Turbidez en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En el caso de la turbidez no se registran valores de concentración máxima en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-22).

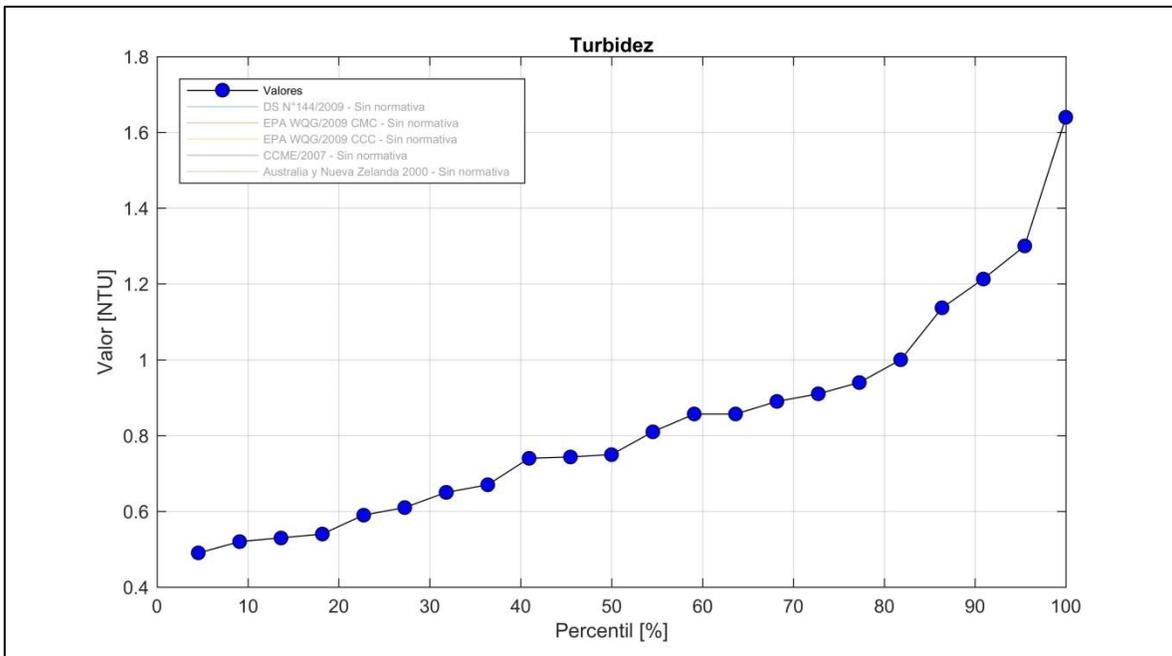


Figura 4.1-22. Turbidez en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Aceites y Grasas

La concentración de Aceites y Grasas en la columna de agua en la bahía históricamente ha variado ampliamente, entre valores mínimos bajo el límite de detección (0,05 mg/L) y una concentración máxima de 166 mg/L en el punto 090-A-To registrado durante 1999.

En términos promedio temporales, se observa una tendencia a la disminución luego de un valor máximo en 1999, en tanto que el mínimo se registró durante 2000 (Figura 4.1-23, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones Grasas y Aceites están distribuidas en una zona acotada en la zona sur de la bahía Algodonales, entre Villa las Rocas y muelle SOQUIMICH (Figura 4.1-23, abajo).

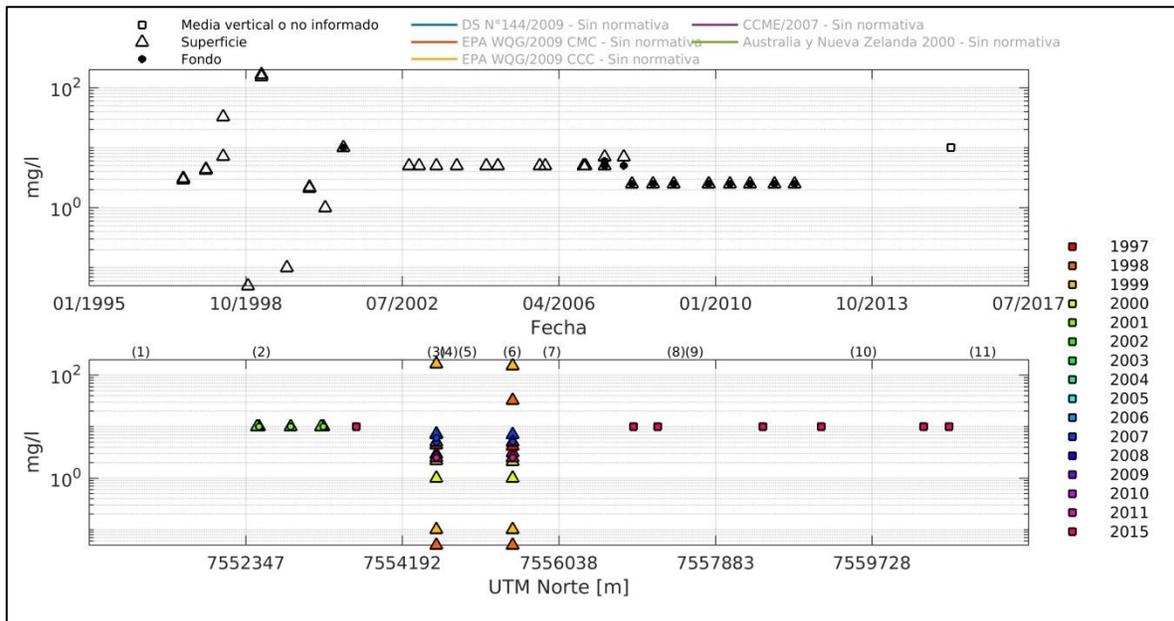


Figura 4.1-23. Concentración de Aceites y Grasas en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En cuanto al porcentaje de excedencia, no se registran umbrales máximos informados en la normativa analizada en cuanto a la concentración en columna de agua de Grasas y Aceites (Figura 4.1-18).

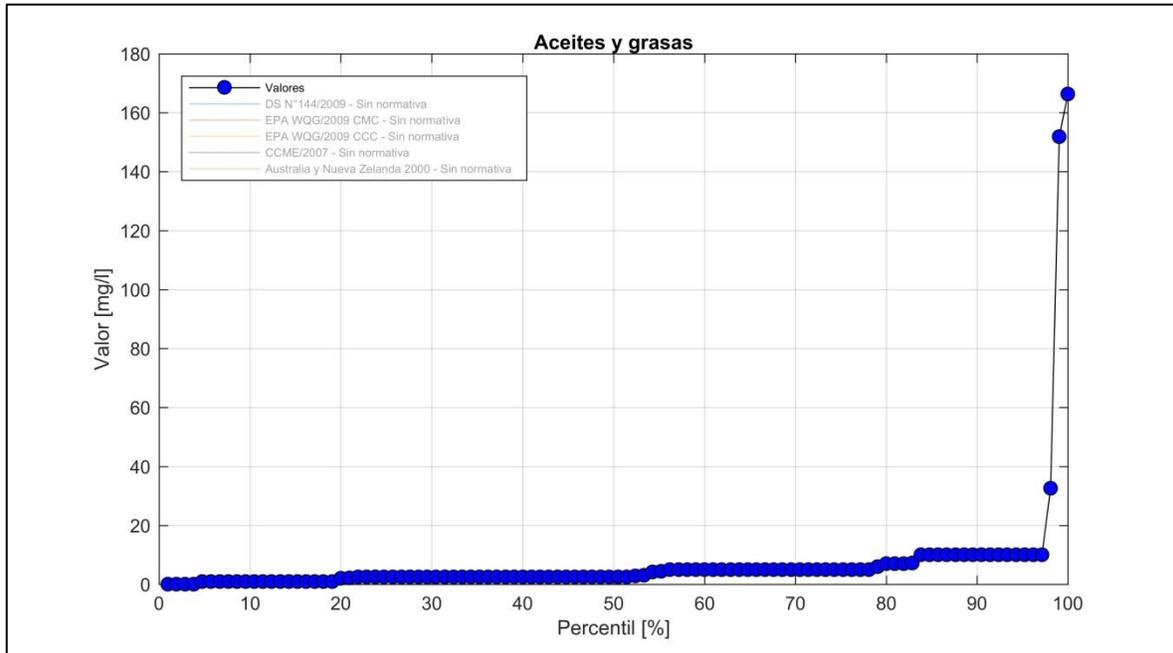


Figura 4.1-24. Concentración de Aceites y Grasas en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

c) *Agentes contaminantes no metálicos*

- Cloruro libre

Las concentraciones de Cloruro Libre en suspensión en la sección transversal de la columna de agua en la bahía históricamente han variado entre valores mínimos y máximos correspondientes a distintos límites de detección, con valores cuantificables entre estos límites (0,001 y 1 mg/L, respectivamente).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio, considerando que la mayor parte de los registros corresponden a valores de límite de detección, no se puede inferir donde se encontrarían los mayores valores (Figura 4.1-25, abajo). En este mismo contexto, en lo que se refiere a variación temporal, no se observa una tendencia de variación histórica (Figura 4.1-25, arriba).

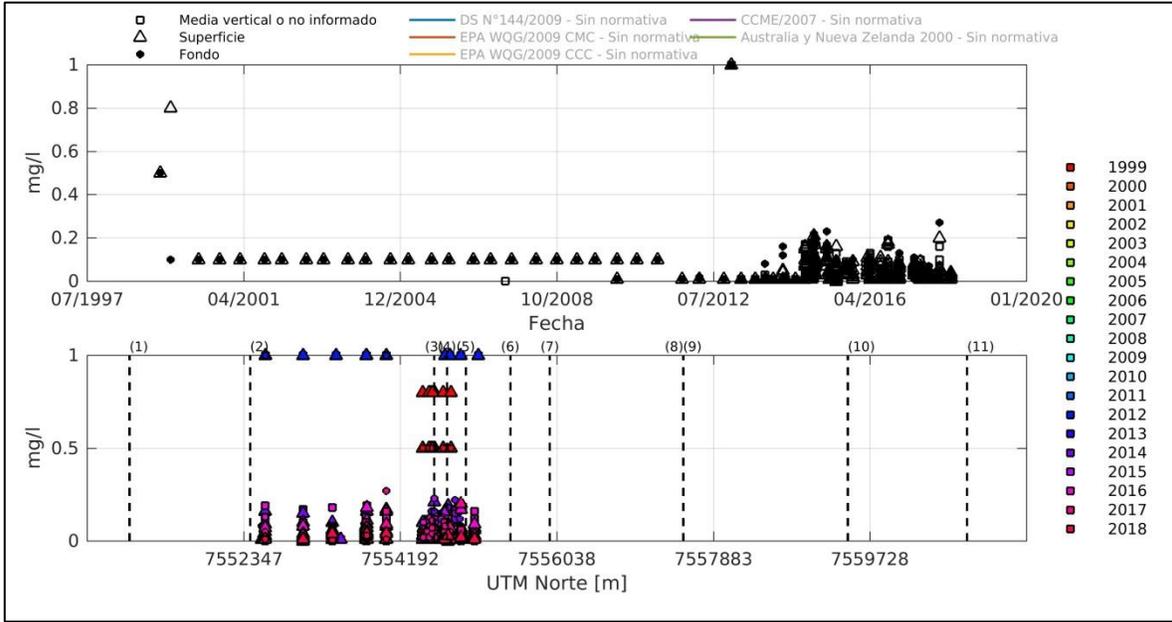


Figura 4.1-25. Concentración del ión Cloruro libre en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En cuanto al porcentaje de excedencia, no se registran umbrales máximos informados en la normativa analizada en cuanto a Cloruro libre en columna de agua (Figura 4.1-18).

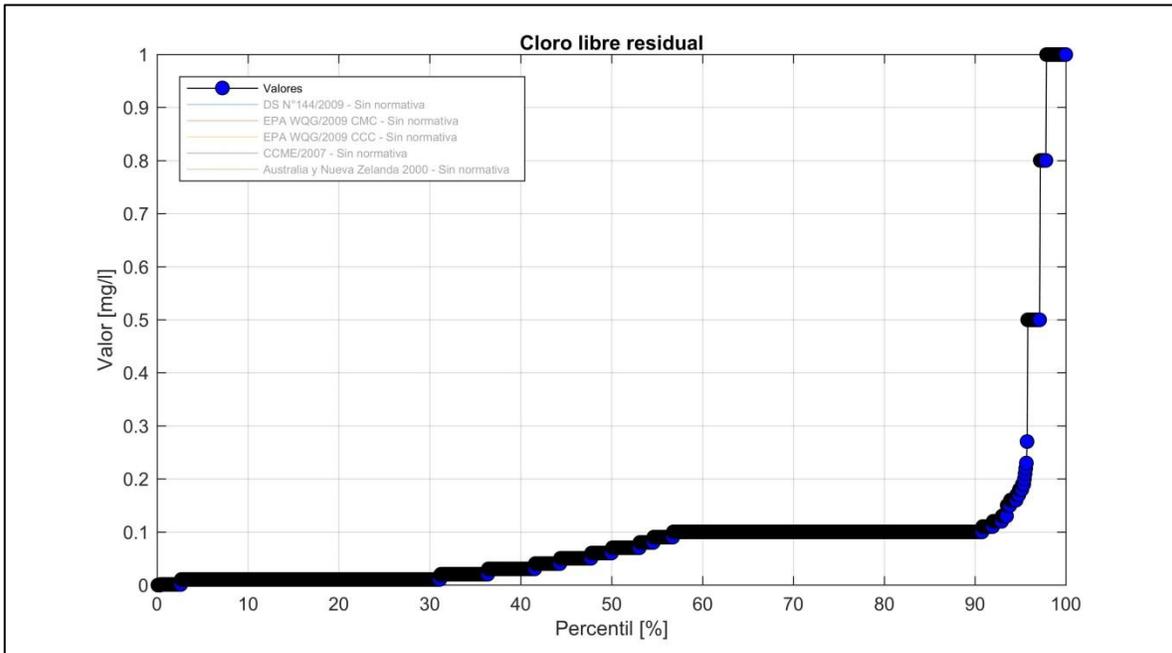


Figura 4.1-26. Concentración de Cloruro libre en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Nitrógeno Amoniacal o Amonio (NH₃⁺)

Las concentraciones del ion Amonio en disolución en la columna de agua en la bahía históricamente han oscilado entre valores mínimos de 0,004 mg/L en 1999 y una concentración máxima de 2,03 mg/L registrado durante 1998, ambas en la estación POAL 090-A-To. En términos promedio temporales, se observa una tendencia clara de disminución luego de un valor máximo en 1998, con valor gradualmente menores hasta la actualidad, incluyendo varios periodos con registros promedio bajo el límite de detección (Figura 4.1-27, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones de Amonio están distribuidas en la zona centro sur de la bahía, entre Villa las Rocas y Muelle Pesquero, donde se concentra además la mayoría de las mediciones realizadas (Figura 4.1-27, abajo).

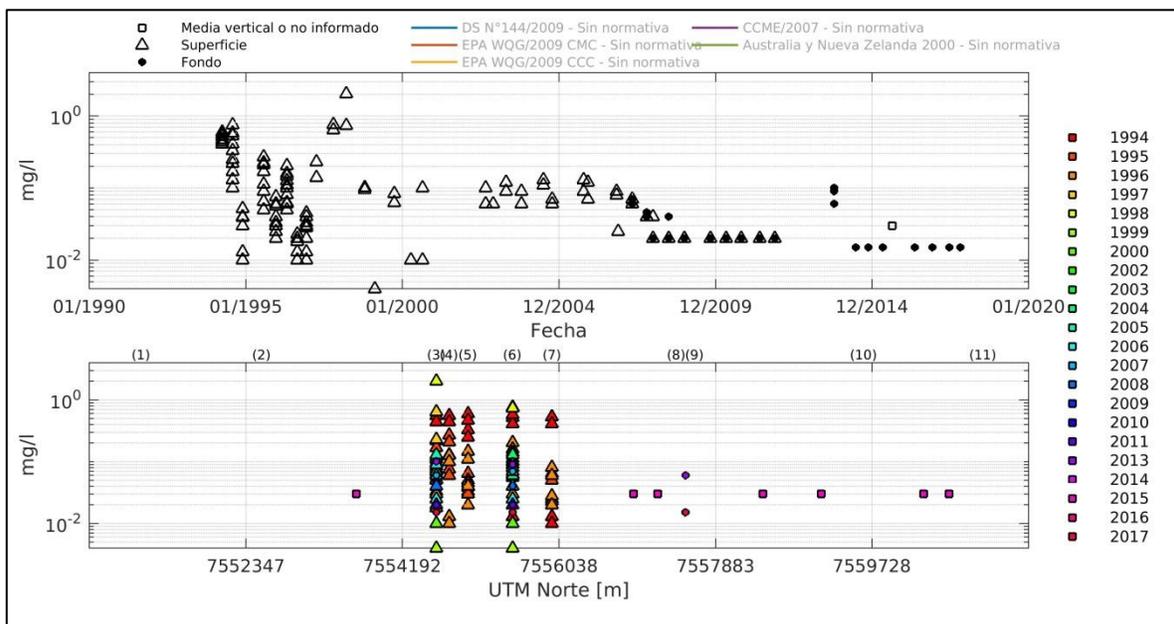


Figura 4.1-27. Concentración de Amonio en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En cuanto al porcentaje de excedencia, no se registran umbrales máximos informados en la normativa analizada para Amonio en la columna de agua (Figura 4.1-28).

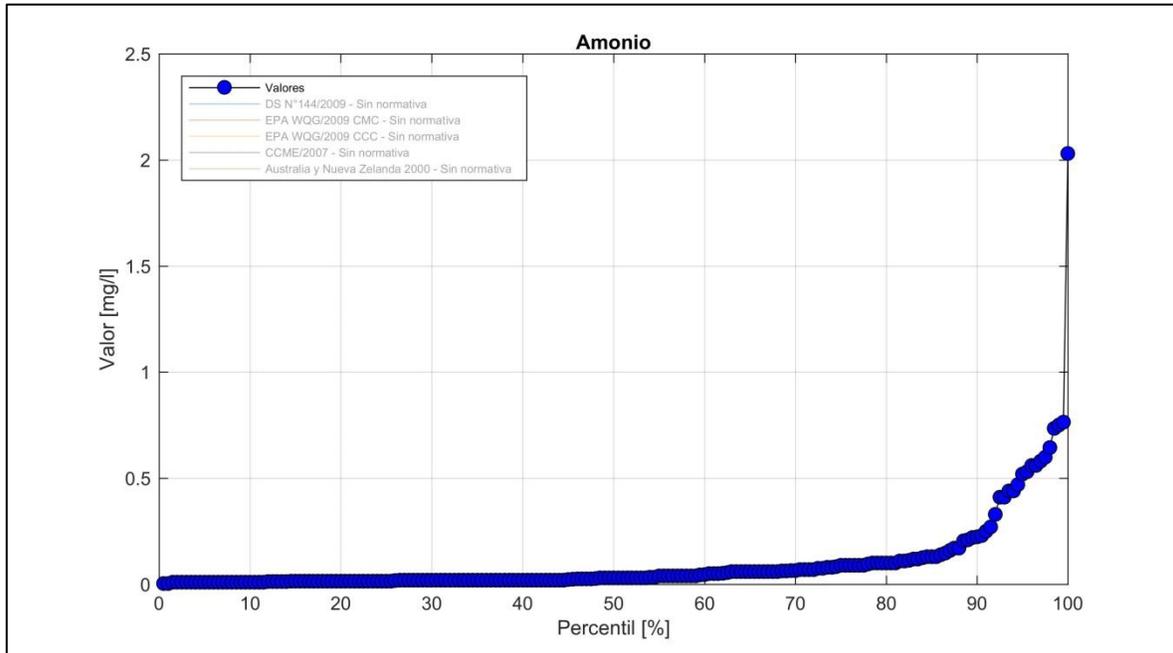


Figura 4.1-28. Concentración de Amonio en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Hidrocarburos totales

En la columna de agua de la bahía Algodonales se registraron concentraciones de Hidrocarburos Totales que presentaron escasa variación entre distintos límites de detección, con registros de concentración cuantificables, pero siempre dentro de este rango (0,0005 y 5,00 µg/L). En este mismo sentido, no se analiza la variación temporal, y debido a los bajos valores y su homogeneidad tampoco se analiza su variación espacial (Figura 4.1-29, arriba).

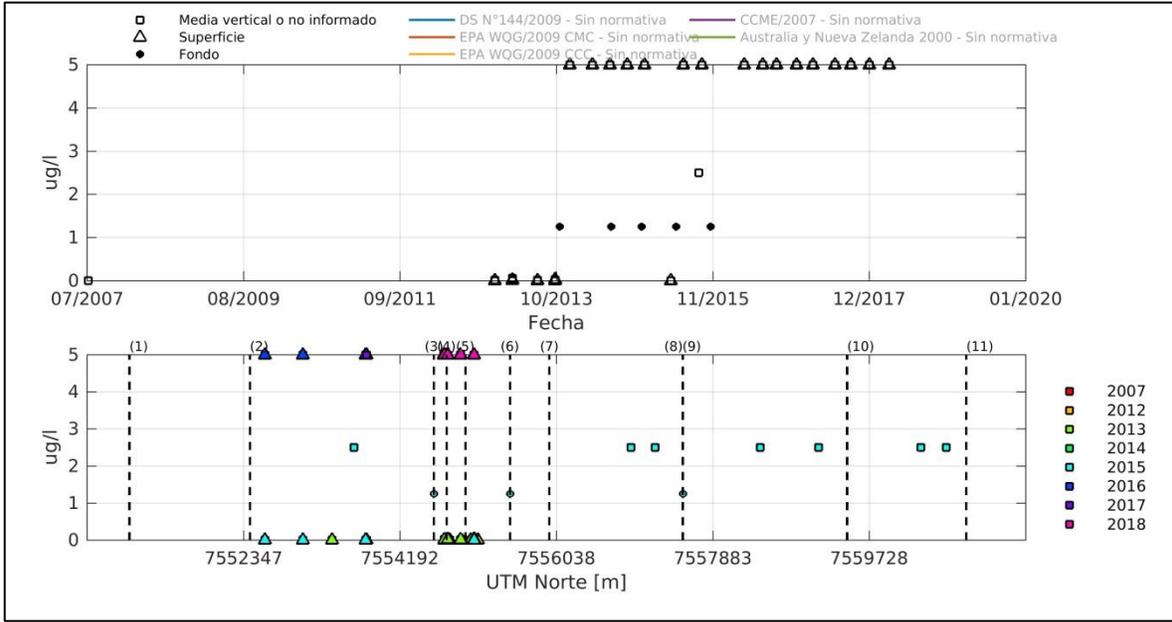


Figura 4.1-29. Hidrocarburos totales en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En el caso de este parámetro no se registran valores de concentración máxima en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-30).

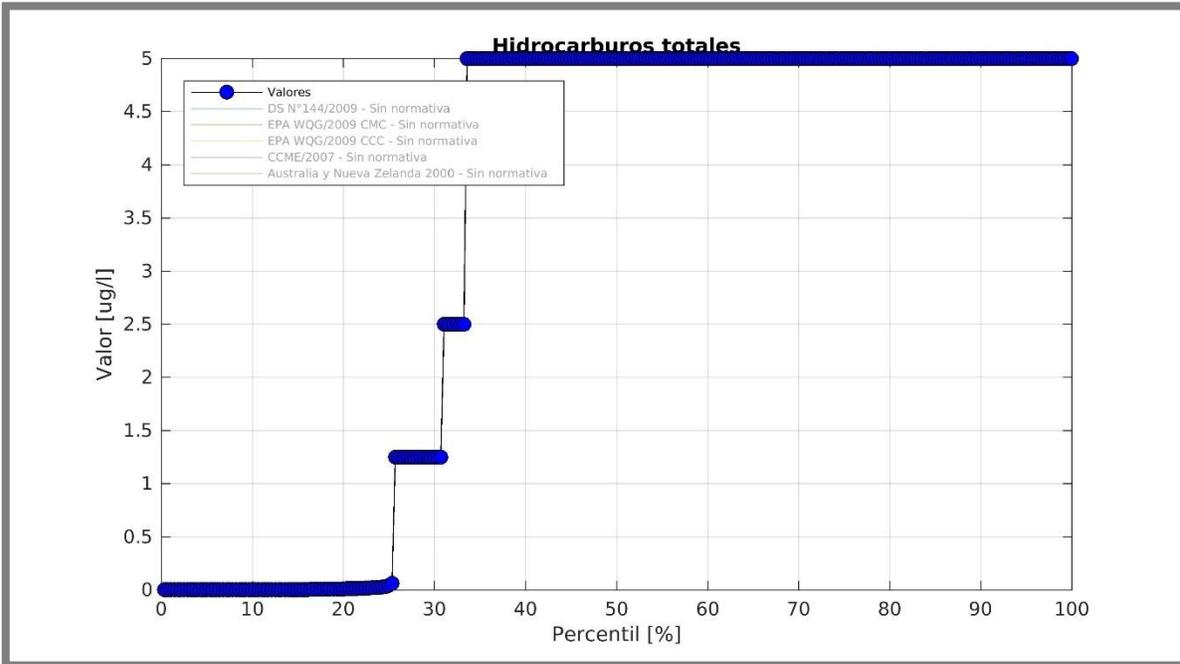


Figura 4.1-30. Hidrocarburos totales en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Hidrocarburos aromáticos totales

En cuanto a los hidrocarburos de tipo Aromáticos se registraron concentraciones que presentaron una amplia variación entre 0,0001 µg/L (bajo el límite de detección) y una concentración máxima histórica de 0,037 µg/L detectados en el punto CNG-A1 durante 2017. En este sentido se observa que las mayores concentraciones, se registran en una zona acotada cercana al punto de referencia 3, esto es Villa las Rocas (Figura 4.1-84, abajo).

En términos promedio temporales, se observan una tendencia al aumento considerando la mayoría de los promedios históricos mínimos al inicio del periodo y la máxima en 2017 (Figura 4.1-84, arriba).

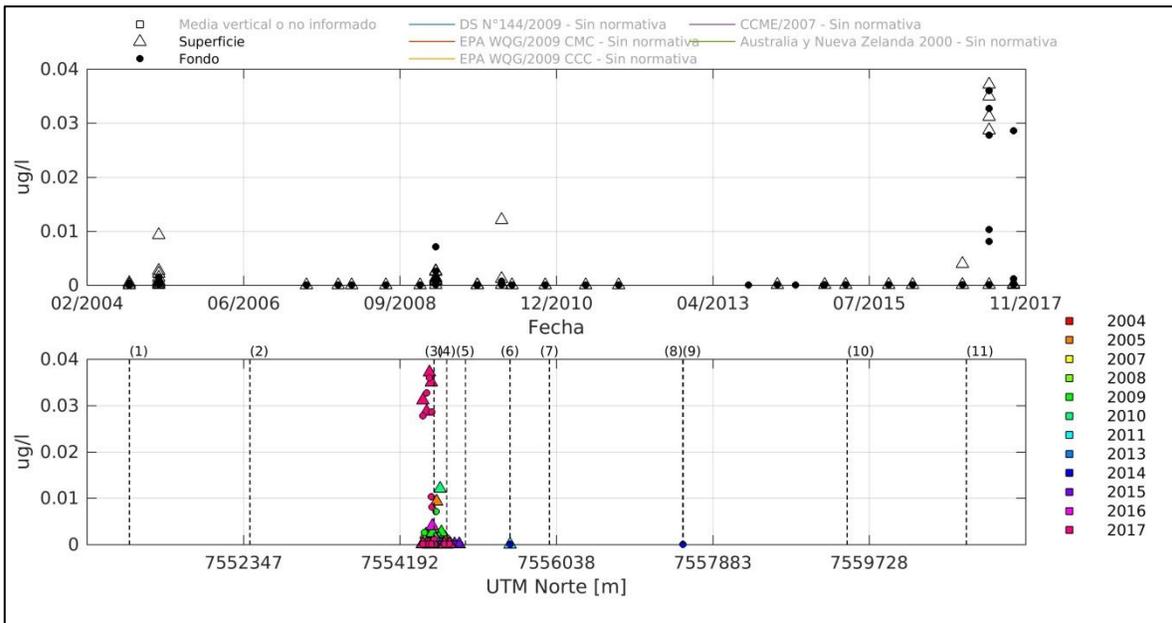


Figura 4.1-31. Hidrocarburos Aromáticos totales en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En el caso de este parámetro no se registran valores de concentración máxima en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-32).

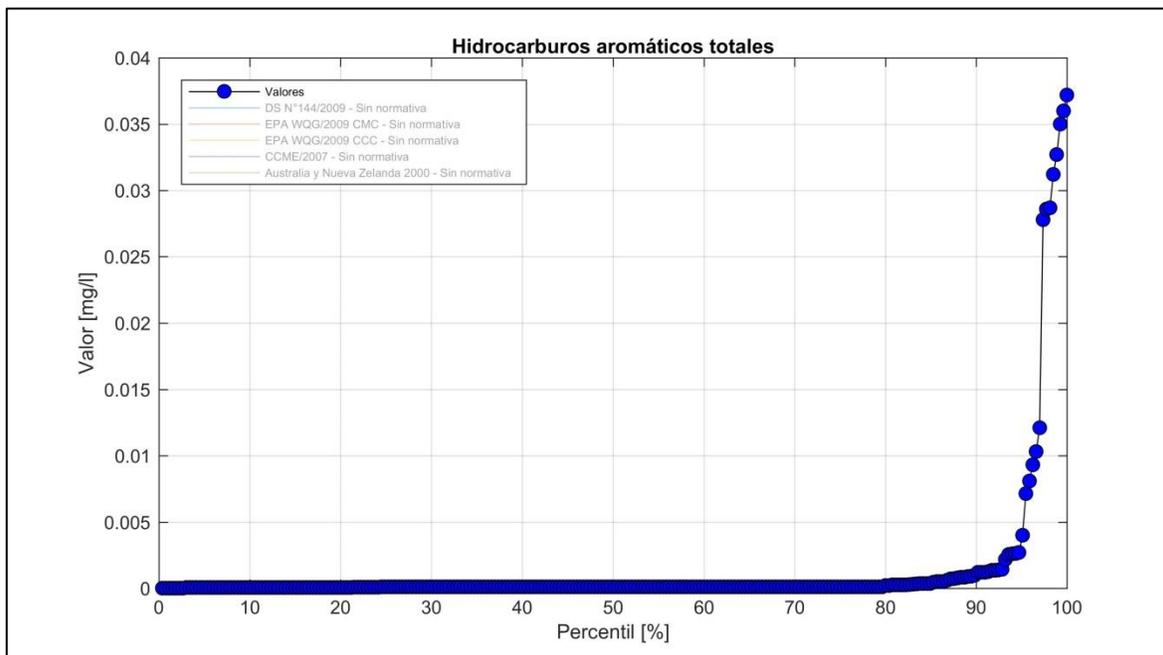


Figura 4.1-32. Hidrocarburos aromáticos en fracción total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

d) Metales y metaloides

En general, las aguas del medio marino contienen pequeñas concentraciones de metales (Ahumada 1994) entre otros componentes, sin embargo, la presencia de estos elementos en zonas costeras puede estar derivadas del desarrollo industrial y asentamientos urbanos (Castillo and Valdes 2011). Muchos de estos compuestos pueden venir de sólidos suspendidos y sedimentos, pudiendo ser reciclado varias veces en la interfaz agua-sedimento antes de ser retenidos definitivamente (Santschi et al. 1990). Debido a las características fisicoquímicas del medio marino, los efectos de descargas de contaminantes con metales pueden tener menor severidad que en aguas dulces ya que la alta capacidad buffer del medio neutraliza los ácidos y bases, y la presencia de electrolitos crea posibilidades de floculación y posterior sedimentación (Waldichuk 1974).

· Arsénico disuelto

Las concentraciones de arsénico disuelto en la sección transversal de la columna de agua de la bahía Algodonales históricamente han variado entre un valor mínimo de 0,90 $\mu\text{g/L}$ registrado en 2016 y un máximo de 3,40 $\mu\text{g/L}$ en 2014, ambos medidos en la estación 050-A-To.

En este sentido, se observa que las mayores concentraciones se han registrado de forma homogénea espacialmente en los puntos de monitoreo distribuidos en la zona de la bahía Algodonales, esto es, entre los puntos de referencia 3 y 8, entre Villa Las Rocas y Estadio, respectivamente (Figura 4.1-33, abajo).

En términos temporales, en promedio, las menores concentraciones se registraron durante 2013 y las mayores durante 2014, sin un patrón histórico definido (Figura 4.1-33, arriba).

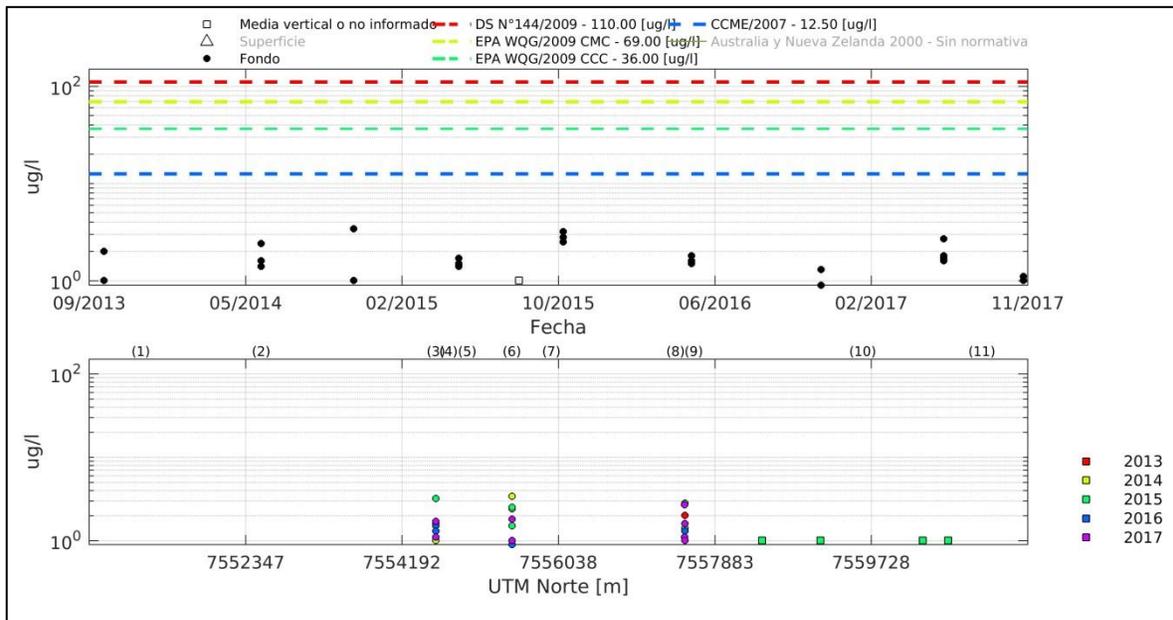


Figura 4.1-33. Concentración de Arsénico disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En lo que se refiere a los umbrales de concentración máximas normadas, se observa que la totalidad de los registros de concentración de Arsénico disuelto en la columna de agua durante el periodo estudiado han estado bajo los valores máximos sugeridos por dichas normas (Figura 4.1-34).

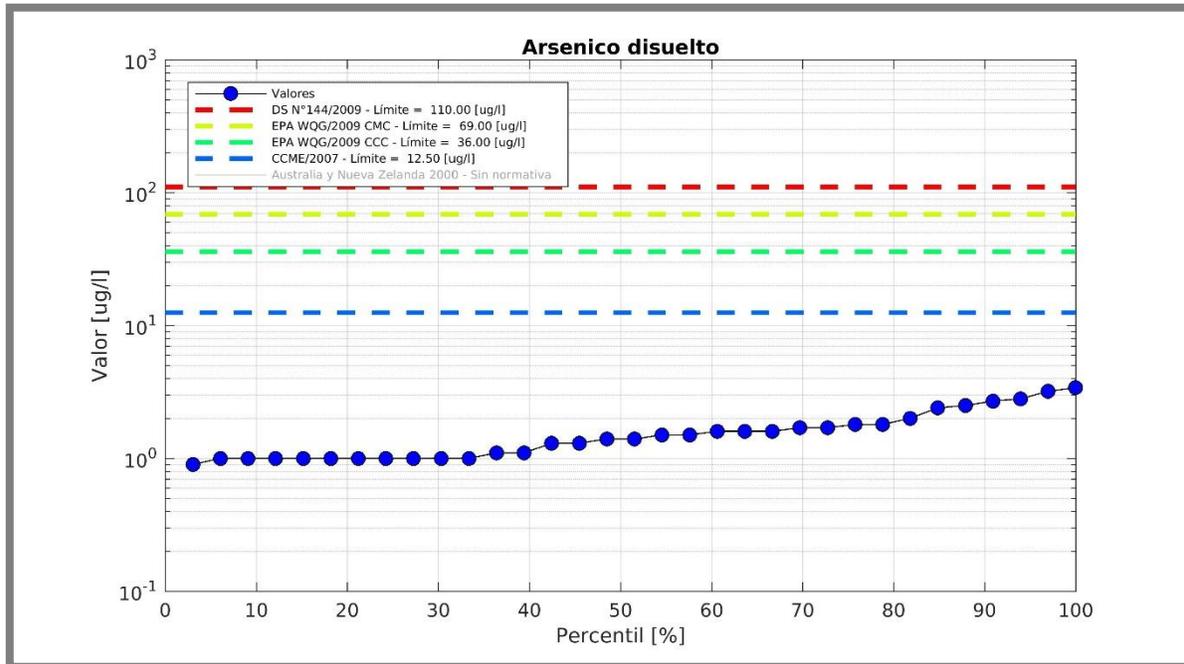


Figura 4.1-34. Concentración de Arsénico disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009), CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*; 2007), CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*) de WQG EPA (2009), y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000).

· Arsénico total

Las concentraciones de arsénico en su fracción total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo de 0,42 $\mu\text{g/L}$ registrado en el punto CNG-B1-PVA37 en 2007 y un máximo de 32,20 $\mu\text{g/L}$ registrado en el punto A-3 en 2005. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado entre 0,22 $\mu\text{g/L}$ registrado en 2007 en el punto CNG-B1-PVA37 y un máximo de 48,90 $\mu\text{g/L}$ durante 2005 en la estación A-01.

En lo que respecta a la variación espacial, se observa que las mayores concentraciones de Arsénico total se han registrado en el sector centro sur de la bahía entorno del punto de referencia 3, esto es en Frente Villa Las Rocas (Figura 4.1-35, abajo).

En términos temporales, las concentraciones promedio, han oscilado entre las menores concentraciones durante 2013 y las mayores durante 2005, y en términos generales se ha observado una disminución desde 2005 a la fecha solo alterada por un valor relativamente alto durante 2017, pero que se encuentra muy por debajo de los valores máximos históricos (Figura 4.1-35, arriba).

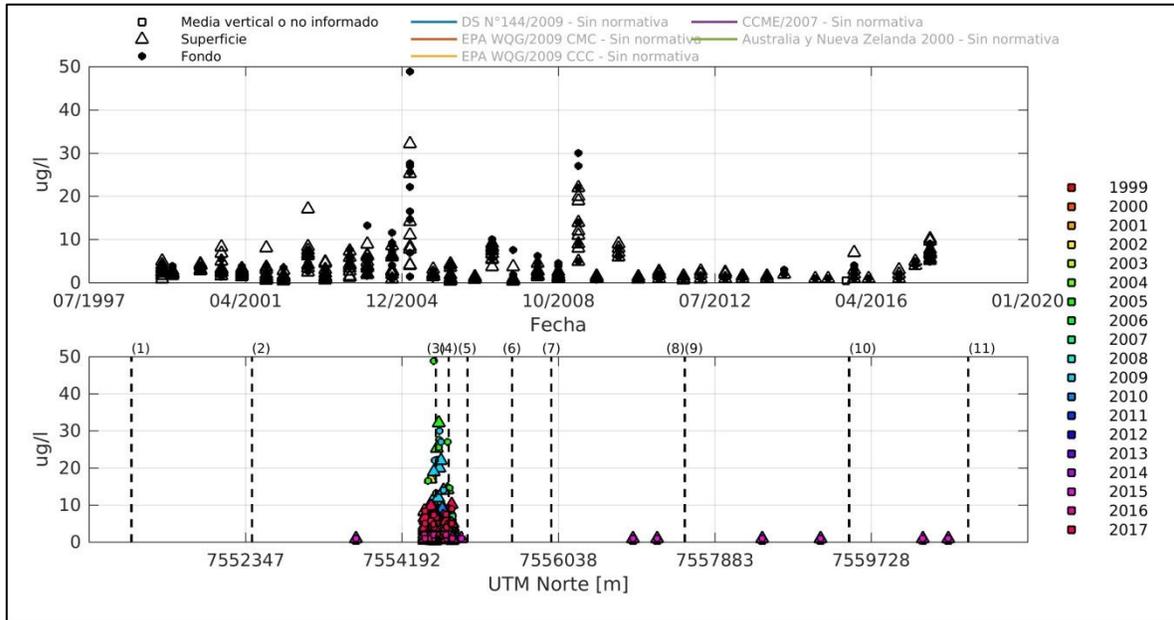


Figura 4.1-35. Concentración de Arsénico total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En el caso del Arsénico total no registran valores de concentración máxima en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-38).

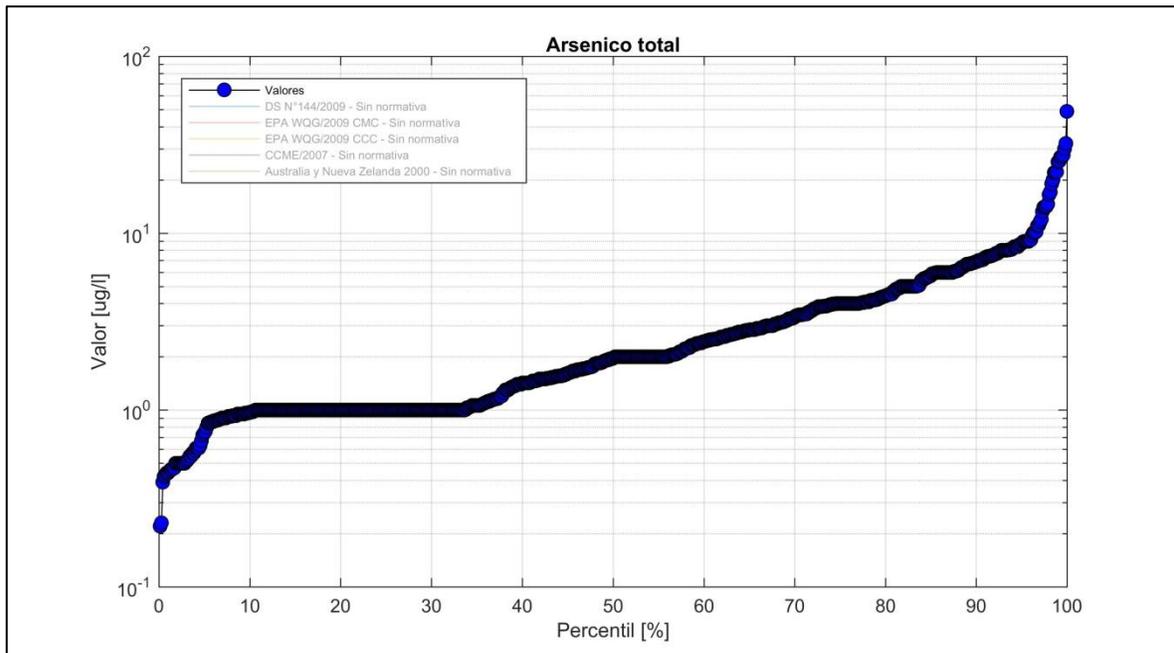


Figura 4.1-36. Concentración de Arsénico total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

Cadmio disuelto

Las concentraciones en fracción disuelta de Cromo en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre valores bajo el límite de detección (<0,025 y <0,19 µg/L, respectivamente). Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado también entre el límite de detección (<0,025 µg/L) registrado en los puntos monitoreados durante el periodo entre 2009 y 2011 y un máximo de 0,50 µg/L durante el periodo 2013 a 2017 (Figura 4.1-37, abajo).

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que las mayores concentraciones de Cadmio disuelto se han registrado de forma homogénea espacialmente en los puntos de monitoreo donde se registra la mayoría de las mediciones, esto es, entre los puntos de referencia 3 y 8, entre Villa Las Rocas y Estadio, respectivamente (Figura 4.1-37, abajo).

En términos de la variabilidad temporal las concentraciones no registran patrones de variación claros, con las menores concentraciones en los años 2010-2011 y las mayores durante 2013-2017 (Figura 4.1-37).

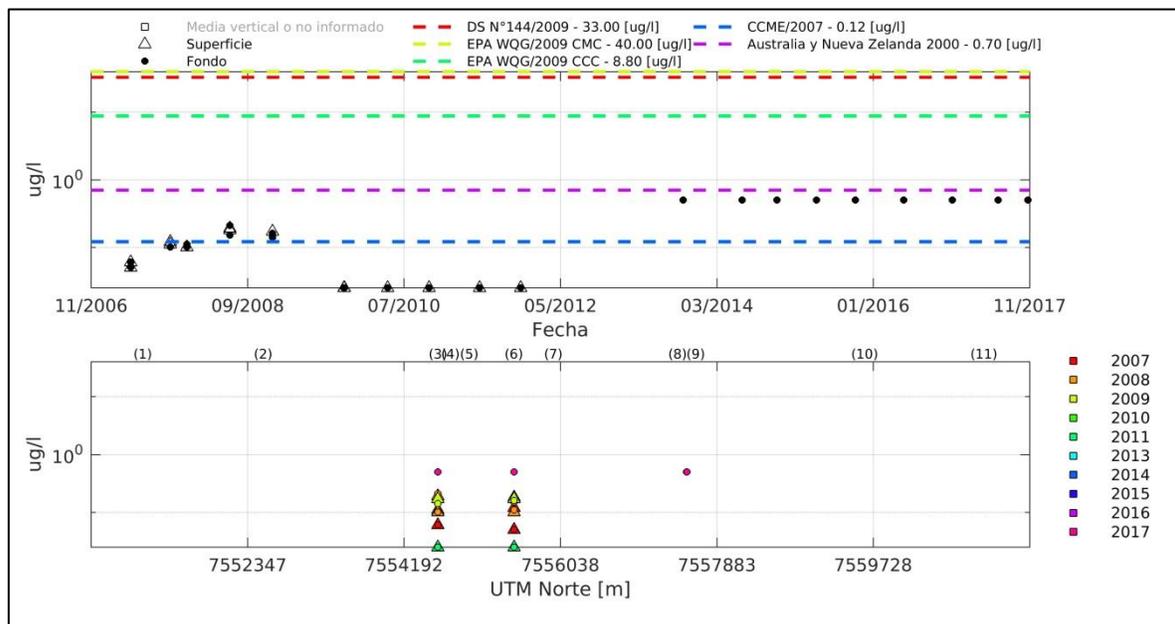


Figura 4.1-37. Concentración de Cadmio disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración en las normas analizadas, se observa que el 24% de los valores registrados en el periodo de monitoreo histórico de Cadmio en la columna de agua han estado por sobre el valor máximo

permitido, considerando en primer lugar el límite más restrictivo sugerido por Persaud (1993; efecto leve sobre los organismos). En cuanto a la normativa nacional, el máximo definido por MOP (1994) de concentración de Cadmio en sedimentos fue superado por el 23% de los registros históricos (Figura 4.1-38).

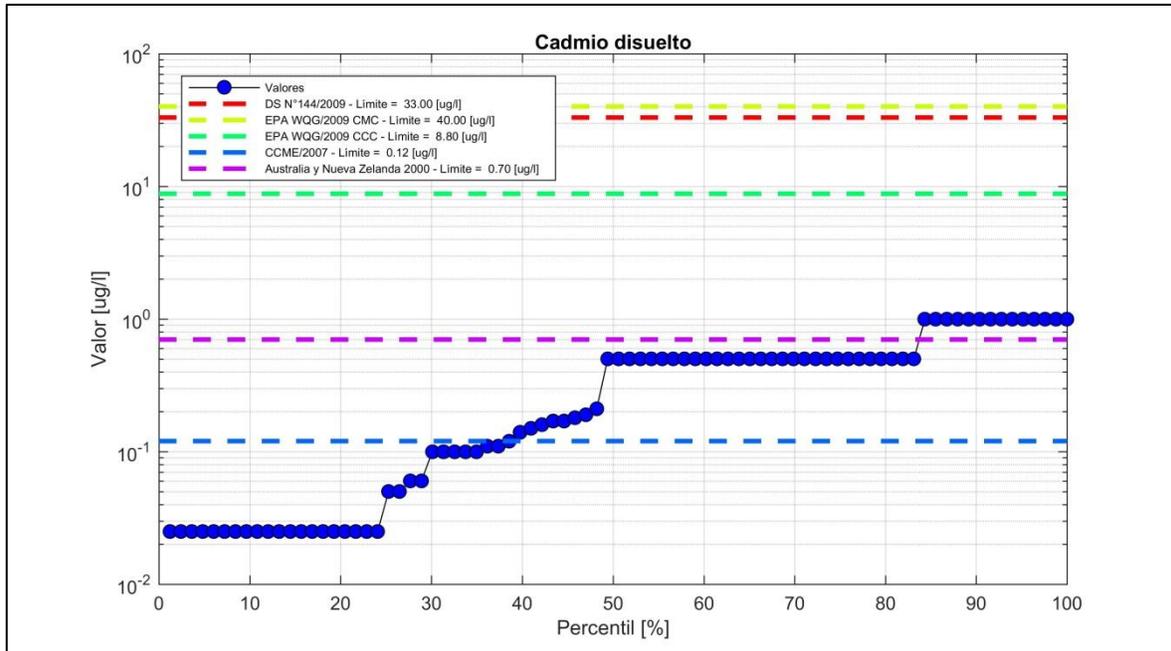


Figura 4.1-38. Concentración de Cadmio disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009), CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*; 2007), CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*) de WQG EPA (2009), y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000).

· Cadmio total

Las concentraciones de Cadmio total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección (<0,025 $\mu\text{g/L}$) registrado en los puntos monitoreados durante el periodo entre 2009 y 2011 y un valor mayor del mismo límite de detección, pero en el periodo entre 2000 y 2003 (<5,00 $\mu\text{g/L}$). Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado también entre el límite de detección (<0,025 $\mu\text{g/L}$) registrado en los puntos monitoreados durante el periodo entre 2009 y 2011 y un máximo de 13,00 $\mu\text{g/L}$ durante 2007 en la estación 050-A-To (Figura 4.1-39, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones en su fracción total se han registrado en la zona sur de la bahía Algodonales entre los puntos de referencia 3 y 6 principalmente (Figura 4.1-39, abajo).

En términos promedio temporales, con la excepción del valor máximo histórico puntual (13,00 µg/L) no se observan tendencias y los registros tanto máximo como mínimo promedio anual corresponden a valores de límite de detección (Figura 4.1-39, arriba).

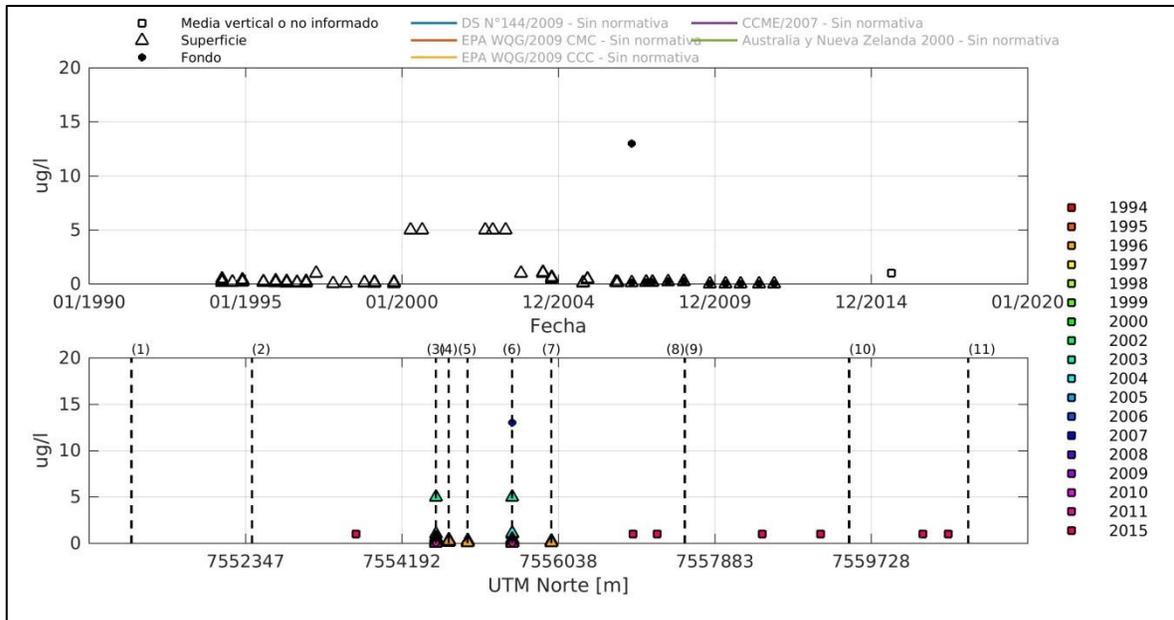


Figura 4.1-39. Concentración de Cadmio total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En el caso del Cadmio total no registran valores de concentración máxima en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-40).

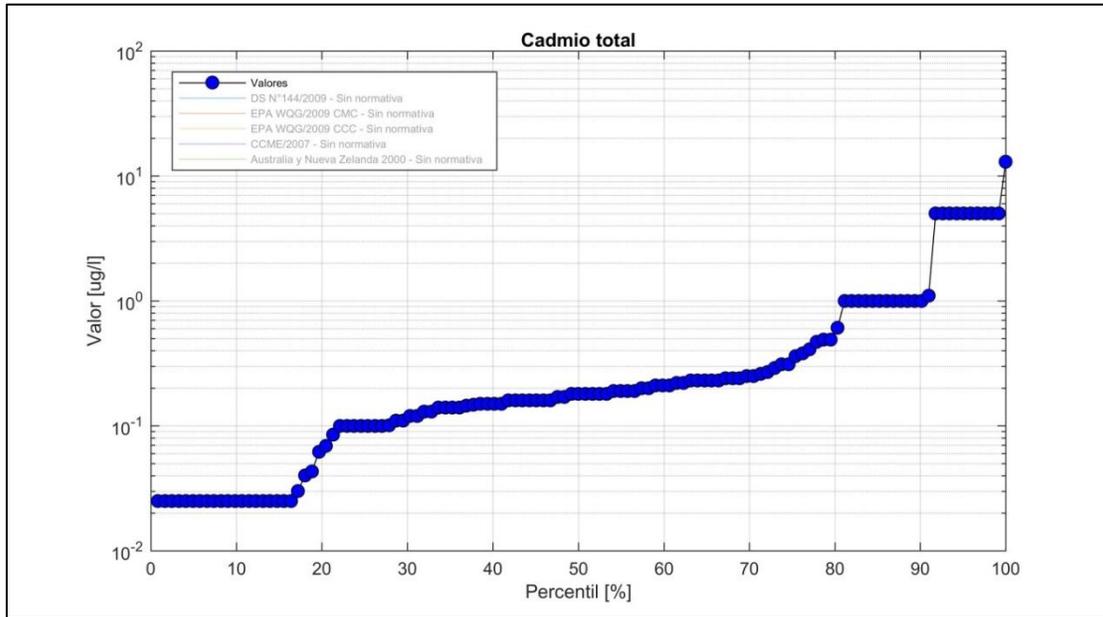


Figura 4.1-40. Concentración de Cadmio total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Cobre disuelto

Las concentraciones de cobre disuelto en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección (<0,025 µg/L) registrado en los puntos monitoreados durante 2009 y un valor máximo de 6,03 µg/L registrado en 090-A-To durante 2011. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones disueltas han variado también entre el límite de detección (<0,025 µg/L) registrado en los puntos monitoreados durante el periodo 2009 y un máximo de 17,00 µg/L durante 2015 en la estación 050-A-To (Figura 4.1-41, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones de cobre en su fracción disuelta se han registrado de forma amplia entre la sección norte del área de estudio y límite sur de la bahía Algodonales, esto es entre Frente Villa Las Rocas y Punta Duendes (Figura 4.1-41, abajo).

En cuanto a la variación temporal promedio se observa un patrón de aumento del valor medio, observándose el registro mínimo durante 2009 y el registro máximo durante 2015, con valores gradualmente mayores en el periodo analizado (Figura 4.1-41, arriba).

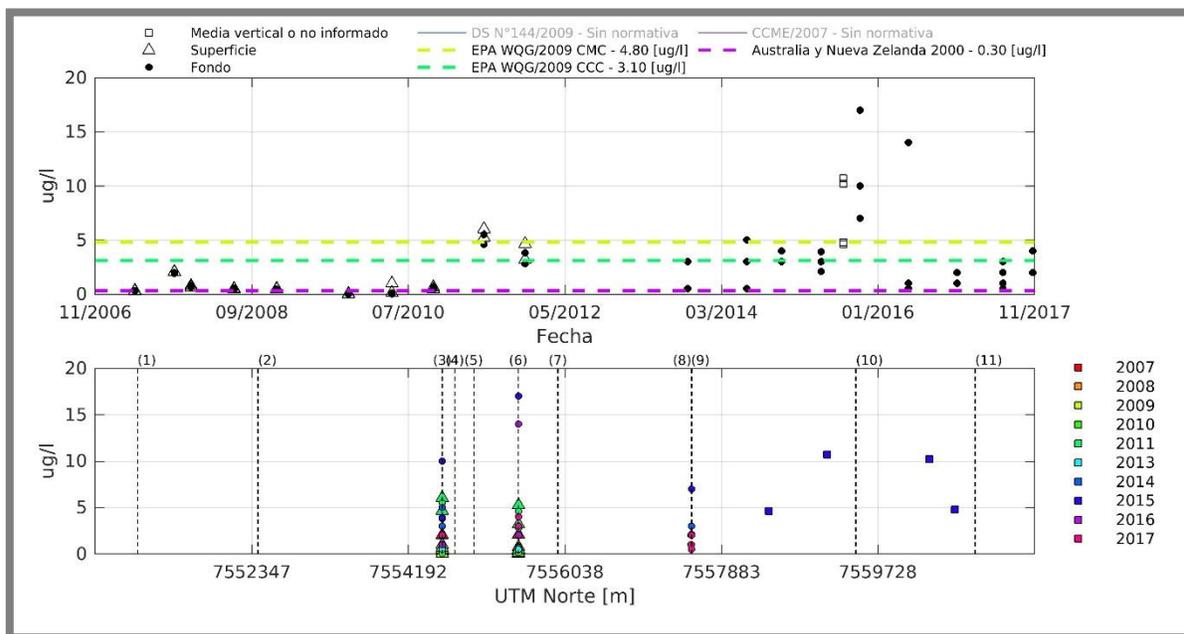


Figura 4.1-41. Concentración de Cobre disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En lo que se refiere a los umbrales de concentración máximas normadas, se observa que el 89% de los registros históricos de concentración de Cobre disuelto en la columna de agua

han estado por sobre el valor máximo sugerido la norma para Australia y Nueva Zelanda (2000), siendo éste el umbral más restrictivo (Figura 4.1-42).

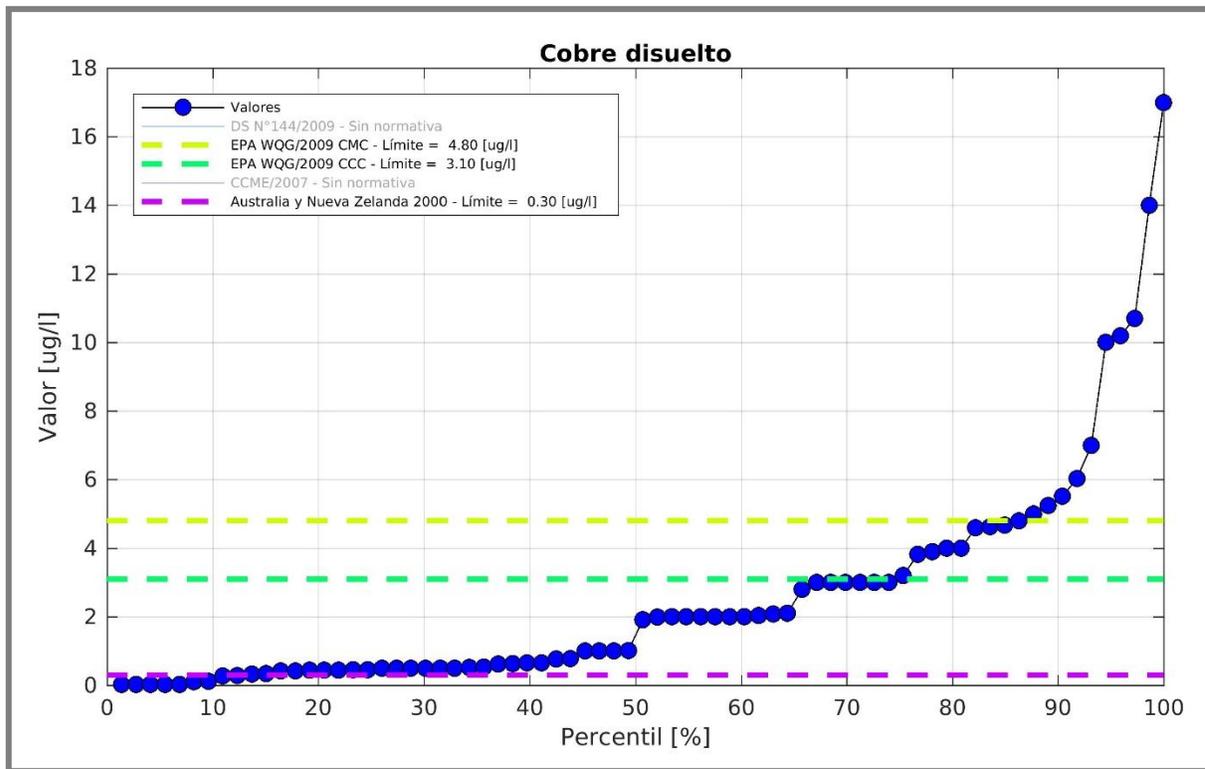


Figura 4.1-42. Concentración de Cobre disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*) de WQG EPA (2009), y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000).

· Cobre total

Las concentraciones de Cobre en su fracción total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado ampliamente entre un valor mínimo bajo el límite de detección (<0,001 µg/L) registrado en 2016 y un valor máximo de 541,61 µg/L en 050-A-To en 1996. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado también entre el límite de detección (<0,001 µg/L) registrado en los puntos monitoreados durante el periodo 2016 y un máximo de 277,20 µg/L durante 2005 en la estación CNG-R-PVA37 (Figura 4.1-43, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de las concentraciones en el área de estudio se observa que los mayores valores del Cobre en fracción total se han registrado en la zona centro de la bahía, entre Frente Villa Las Rocas y Muelle Pesquero, respectivamente (Figura 4.1-43, abajo).

En términos promedio temporales, a diferencia de la fracción disuelta del cobre, se observa un patrón de disminución de la concentración promedio anual, observándose el registro

máximo en 1996 y el mínimo durante 2018, con valores gradualmente menores en el inter-periodo (Figura 4.1-43, arriba).

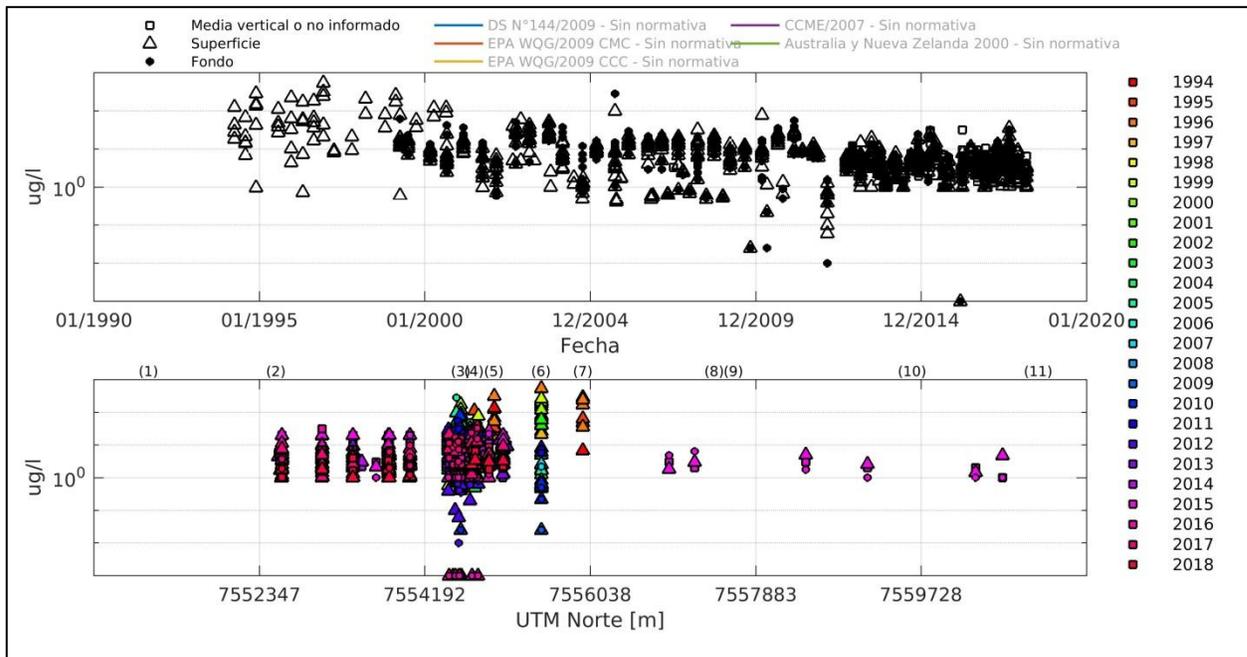


Figura 4.1-43. Concentración de Cobre total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En el caso del Cobre en su fracción total no se registran valores de concentración máxima en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-44).

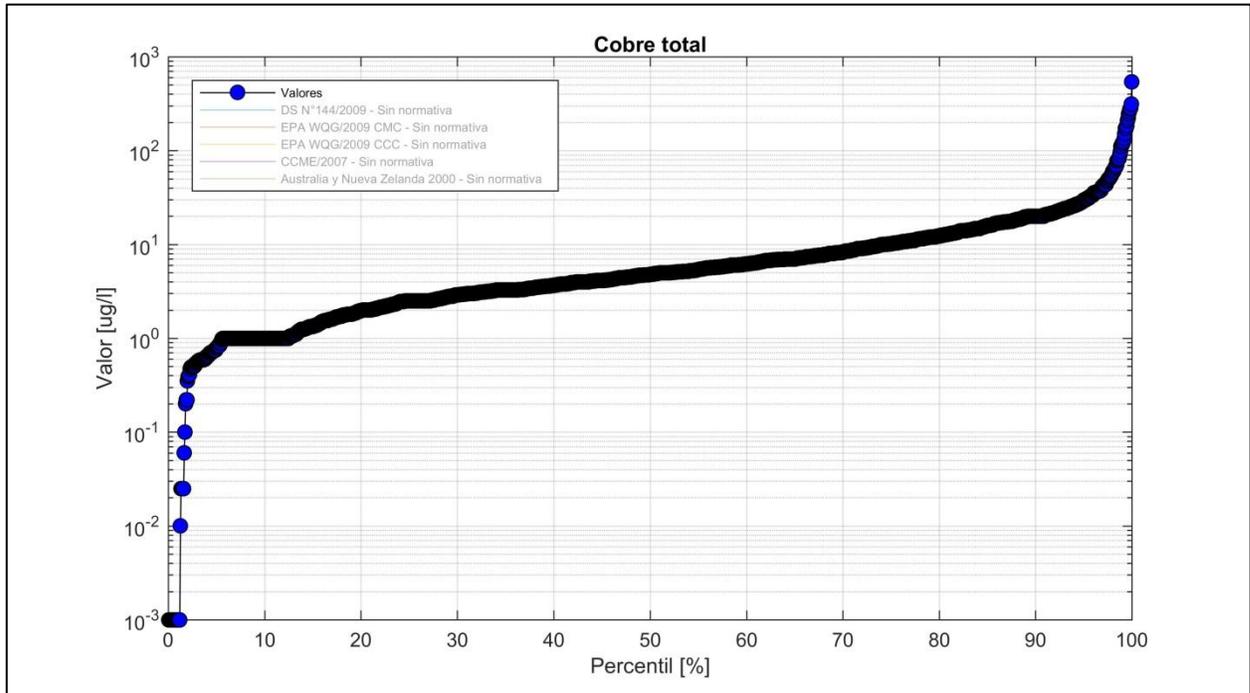


Figura 4.1-44. Concentración de Cobre total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Cromo disuelto

Las concentraciones de Cromo disuelto en la sección superficial de la columna de agua de la bahía Algodonales históricamente han variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección ($<0,025 \mu\text{g/L}$) registrado en todos los puntos monitoreados entre 2009 y 2011 y un máximo de $0,62 \mu\text{g/L}$ en 2008 medido en la estación 050-A-To. En cambio, en la zona profunda de la columna de agua, los valores han oscilado entre un mínimo bajo el límite de detección y un máximo de $0,64 \mu\text{g/L}$ registrado también en el punto 050-A-To durante 2008.

En cuanto se refiere a la distribución espacial de los valores, se observa que las mayores concentraciones se han registrado de forma homogénea espacialmente entre los puntos de referencia 3 y 6, entre Villa Las Rocas y Muelle SOQUIMICH, respectivamente (Figura 4.1-45, abajo).

En términos promedio temporales, no se observan tendencias en la concentración anual en el periodo analizado, con el registro mínimo en el periodo 2010-2011 y el máximo en 2008 (Figura 4.1-45, arriba).

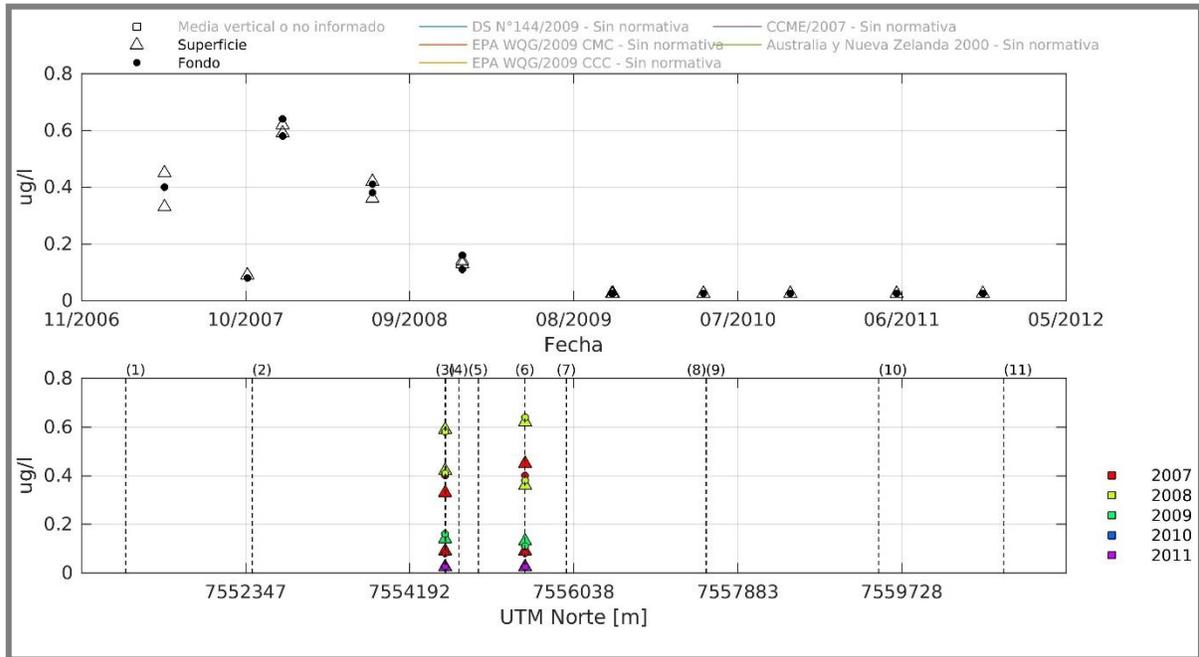


Figura 4.1-45. Concentración de Cromo disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En el caso del Cromo disuelto no registran valores de concentración en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-46).

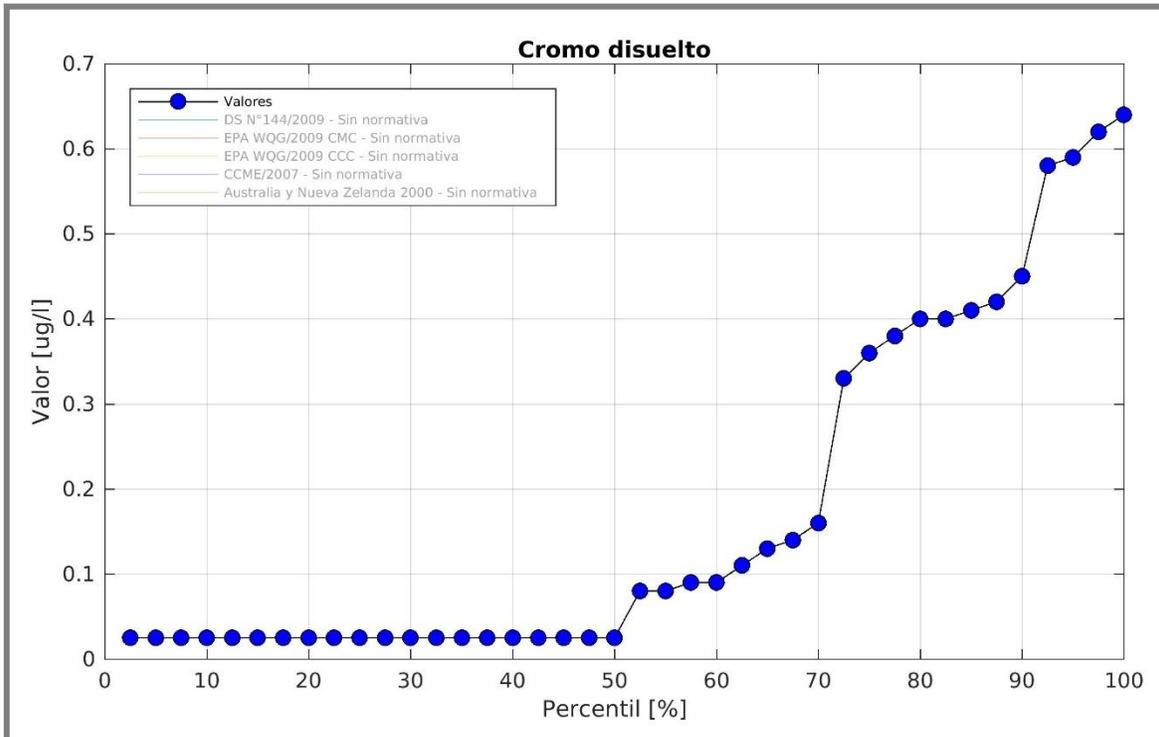


Figura 4.1-46. Concentración de Cromo disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Cromo total

Las concentraciones de Cromo total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección (<0,025 $\mu\text{g/L}$) registrado en los puntos monitoreados durante el periodo entre 2009 y 2011 y un valor máximo de 92,80 $\mu\text{g/L}$ registrado en 090-A-To durante 1998. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones totales han variado también entre el límite de detección (<0,025 $\mu\text{g/L}$) registrado en los puntos monitoreados durante el periodo entre 2009 y 2011 y un máximo de 1,20 $\mu\text{g/L}$ durante 2007 en la estación 090-A-To (Figura 4.1-47, abajo).

En cuanto a la distribución espacial de las concentraciones en el área de estudio se observa que los mayores valores de Cromo total se registraron en la zona centro de la bahía, entre Frente Villa Las Rocas y Muelle Pesquero, respectivamente (Figura 4.1-47, abajo).

En términos promedio temporales, se observa un patrón de disminución de la concentración promedio anual, observándose el registro máximo en 1998 y el mínimo en el periodo 2010-2011, con valores gradualmente menores, cabe señalar que de los metales este es el segundo que presenta la mayor tasa de disminución (Figura 4.1-47, arriba).

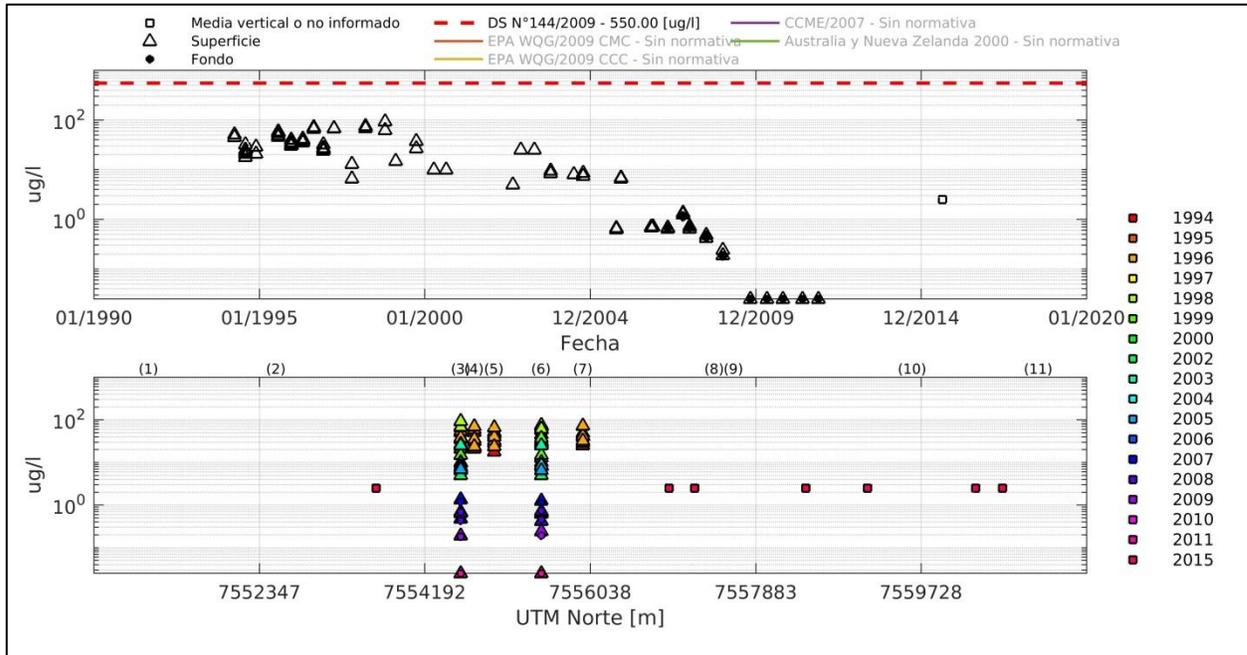


Figura 4.1-47. Concentración de Cromo total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En cuanto a los umbrales de concentración máximas normadas, se observa que la totalidad de los registros de concentración de Cromo total en la columna de agua durante el periodo estudiado han estado bajo los valores máximos sugeridos por dichas normas (Figura 4.1-48).

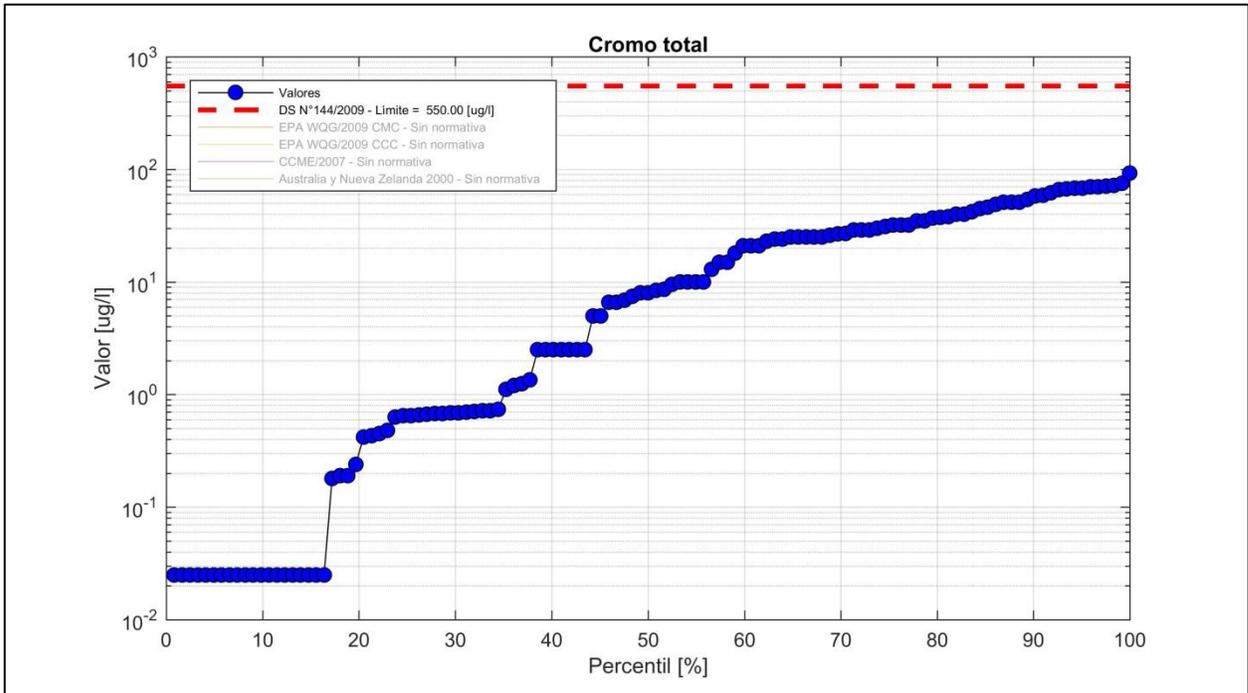


Figura 4.1-48. Concentración de Cromo total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en el D.S. N°144 (2009).

· Hierro disuelto

Las concentraciones de Hierro disuelto en la sección transversal de la columna de agua de la bahía Algodonales, son solo reportadas mediante una campaña realizada durante 2015, en esta variaron entre un valor mínimo de 5,78 $\mu\text{g/L}$ en el punto E-01 y un máximo de 31,00 $\mu\text{g/L}$ en E-02 (Figura 4.1-49, abajo).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio, y considerando los pocos valores registrados, se observa que las mayores concentraciones del Hierro disuelto se presentan entorno a la zona norte del área estudiada, entre Playa Punta Paraguas y Punta Duendes (Figura 4.1-49, abajo).

Debido a la escasez de información, no se analiza la evolución en términos promedio temporales de la concentración de Hierro en su fracción disuelta (Figura 4.1-49, arriba).

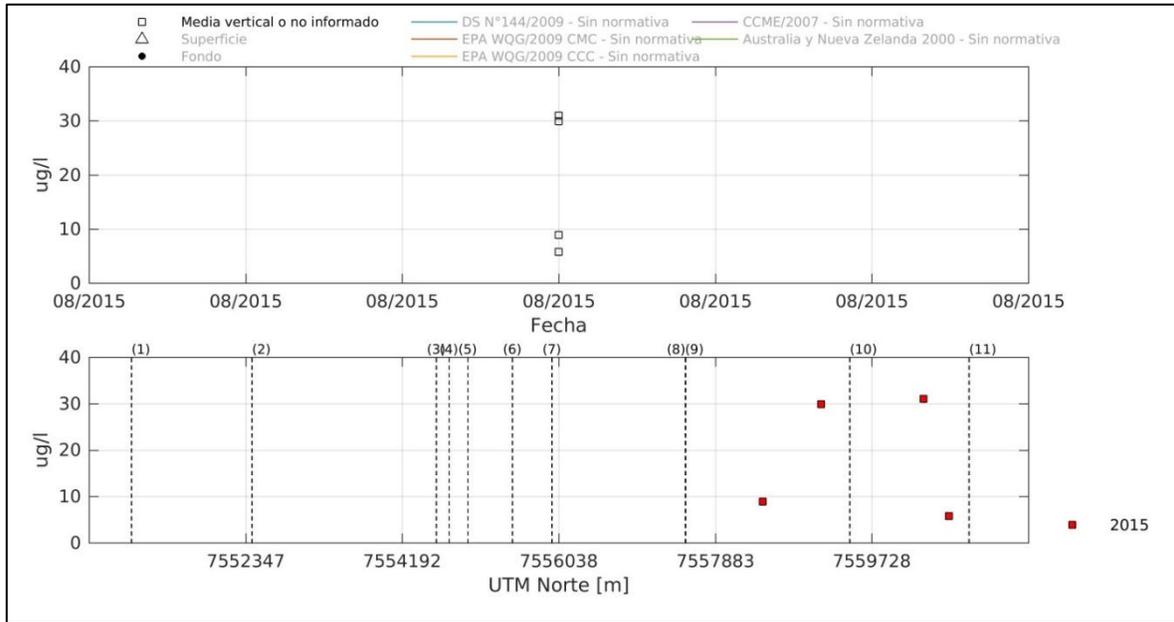


Figura 4.1-49. Concentración de Hierro disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En el caso del Hierro disuelto no se registran valores de concentración en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-50).

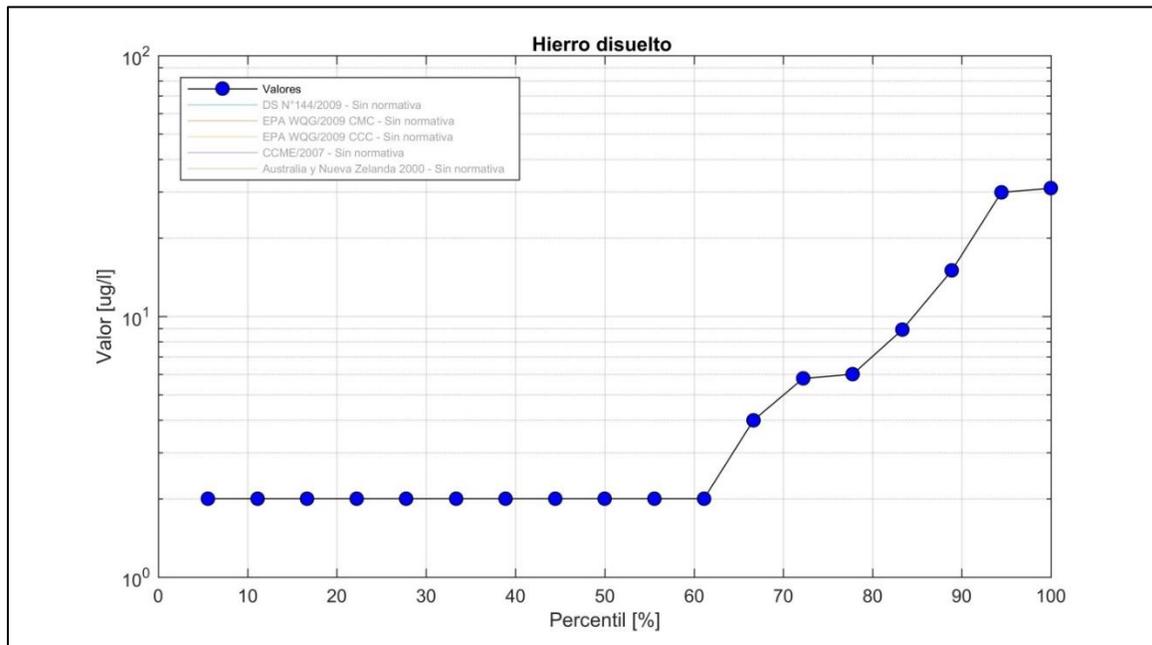


Figura 4.1-50. Concentración de Hierro disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Hierro total

En el caso particular de las concentraciones de Hierro total en la columna de agua no se puede analizar históricamente su variación, debido a que se registra tan solo una campaña de monitoreo que incorporó dicho parámetro. En este sentido, en el estrato superficial, la variación fue entre un valor mínimo de 3,23 µg/L registrado en el punto E-05 y un máximo de 15,60 µg/L registrado en el punto E-04. Y, en el estrato profundo, varió entre 2,50 µg/L en el punto CONTROL y 9,36 µg/L en E-04.

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio, los registros de 2015 de la fracción total de Hierro tuvieron sus mayores valores en la zona al norte de la bahía Algodonales, entre Altura Calle Washington y Playa Punta Paraguas (Figura 4.1-51, abajo).

Al igual que la fracción disuelta de Hierro, no se analiza la evolución temporal de la concentración de Hierro total (Figura 4.1-51, arriba).

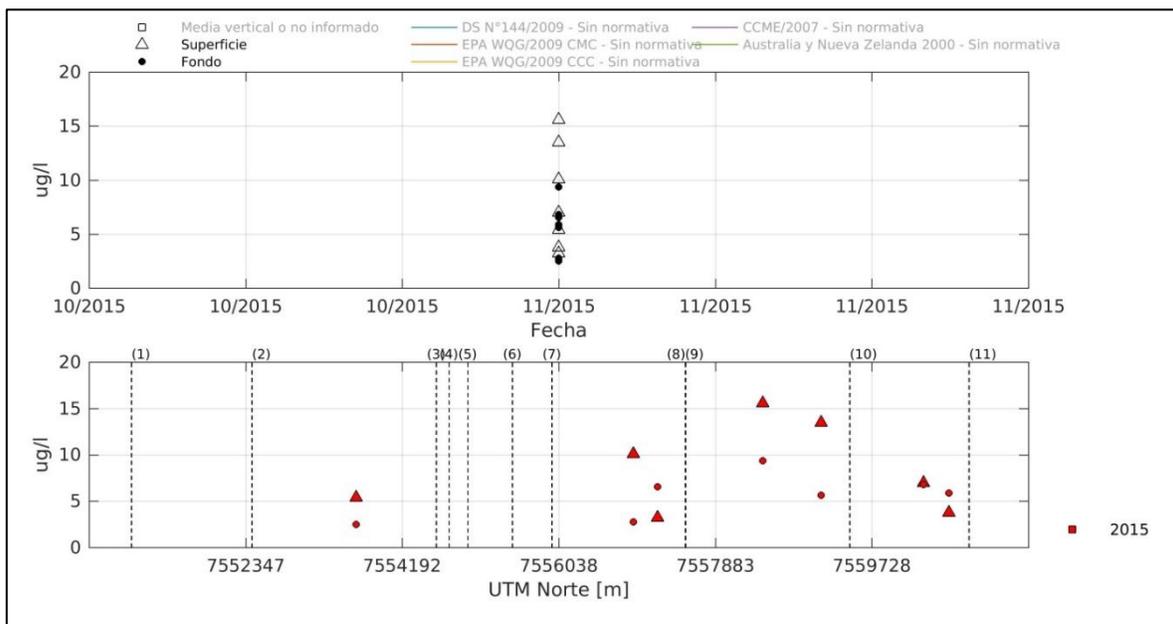


Figura 4.1-51. Concentración de Hierro total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a valores de concentración máxima de Hierro total en columna de agua no se encontraron en la normativa revisada (Figura 4.1-52).

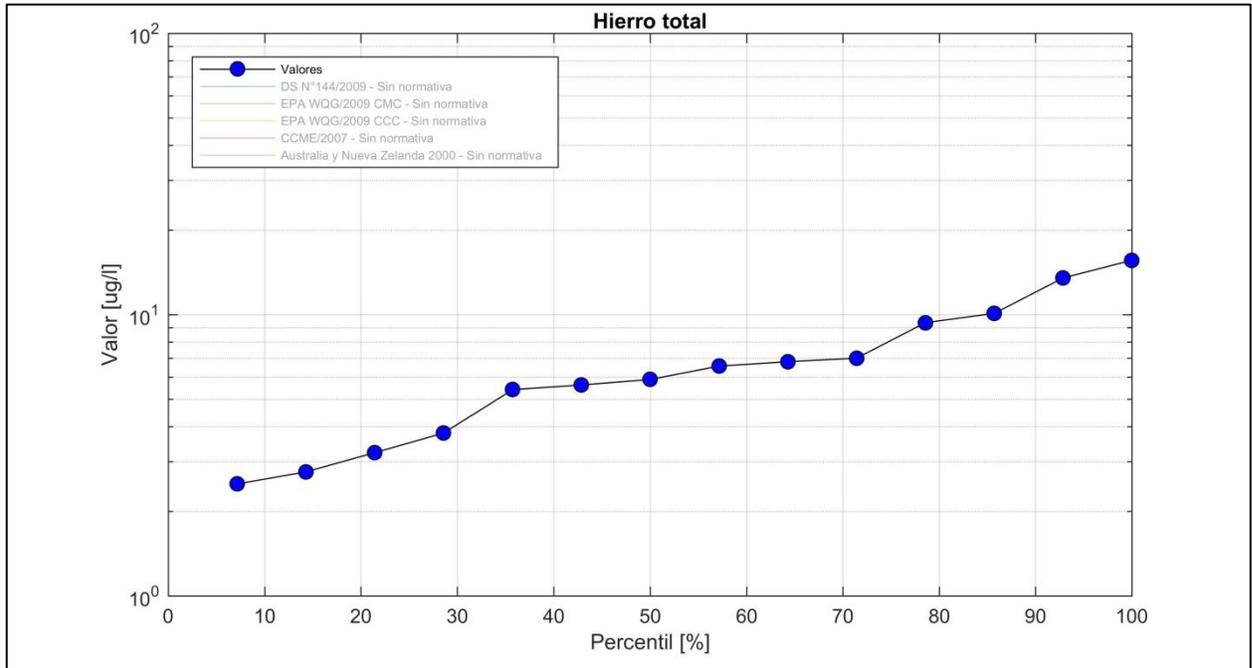


Figura 4.1-52. Concentración de Hierro total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Mercurio disuelto

Las concentraciones de Mercurio en su fracción disuelta en la sección superficial y profunda de la columna de agua de la bahía han variado únicamente entre valores bajo el límite de detección analítico en todas las campañas realizadas, razón por la cual no se analiza la evolución temporal de la concentración promedio (Figura 4.1-53, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones del Mercurio en su fracción disuelta se registraron hacia el sector sur de la bahía, entre Frente Villa Las Rocas y Muelle SOQUIMICH (Figura 4.1-53, abajo).

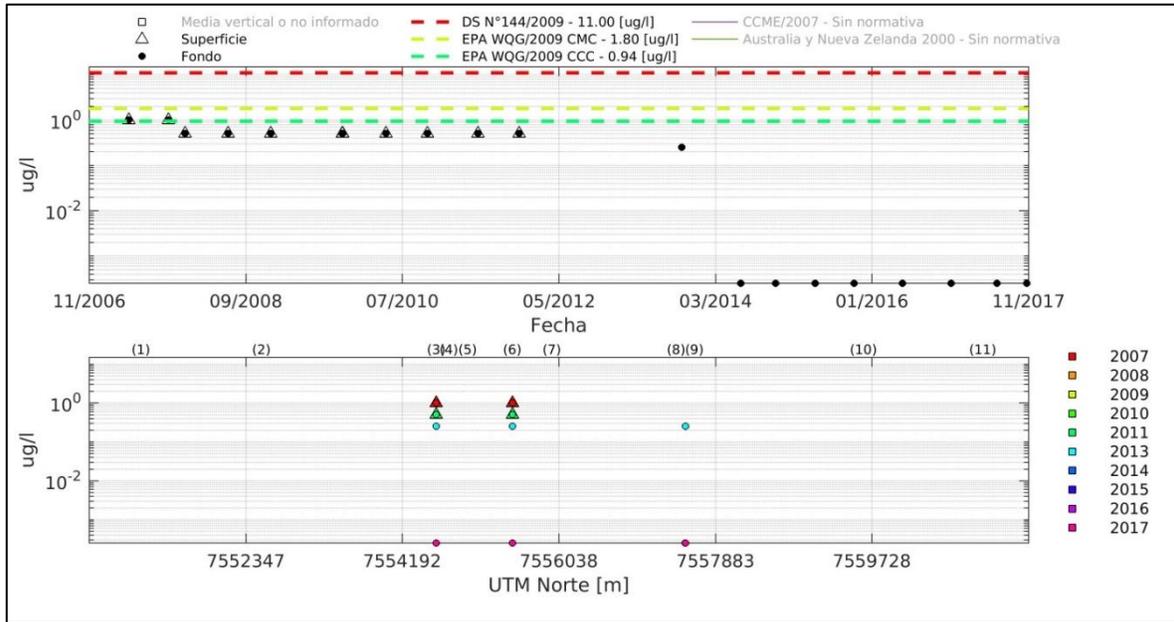


Figura 4.1-53. Concentración de Mercurio disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración, se observa que en el caso del Mercurio la norma ISQG Canadiense (2002) es la más restrictiva, y en este contexto un 26% de los valores registrados en el periodo de monitoreo han estado por sobre el valor máximo permitido (Figura 4.1-54).

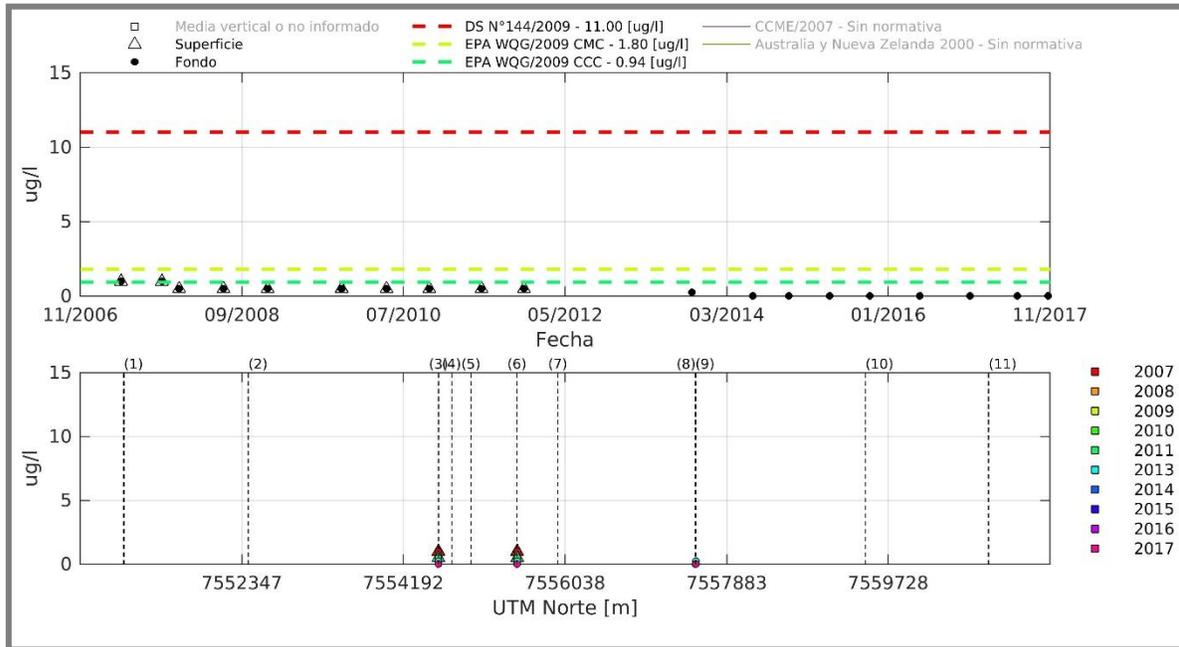


Figura 4.1-54. Concentración de Mercurio disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009), CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*) de WQG EPA (2009).

· Mercurio total

Las concentraciones de Mercurio en su fracción total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección (0,045 µg/L) y un máximo de 62,00 µg/L registrado en el punto 050-A-To en 1998. Por otra parte, en la zona del fondo de la columna de agua las concentraciones han permanecido en todo el periodo bajo el límite de detección.

En cuanto a la distribución espacial de los valores, al igual que en su fracción disuelta, las mayores concentraciones del Mercurio total se registraron hacia el sector sur de la bahía, entre Frente Villa Las Rocas y Muelle SOQUIMICH (Figura 4.1-55, abajo).

En términos promedio temporales, no se observa un patrón claro de variación, principalmente debido a un valor máximo histórico que genera una alta desviación del promedio de los valores anuales, de todas formas, los registros mínimos y máximos anuales se observaron durante 1997 y 1998, respectivamente (Figura 4.1-55, arriba).

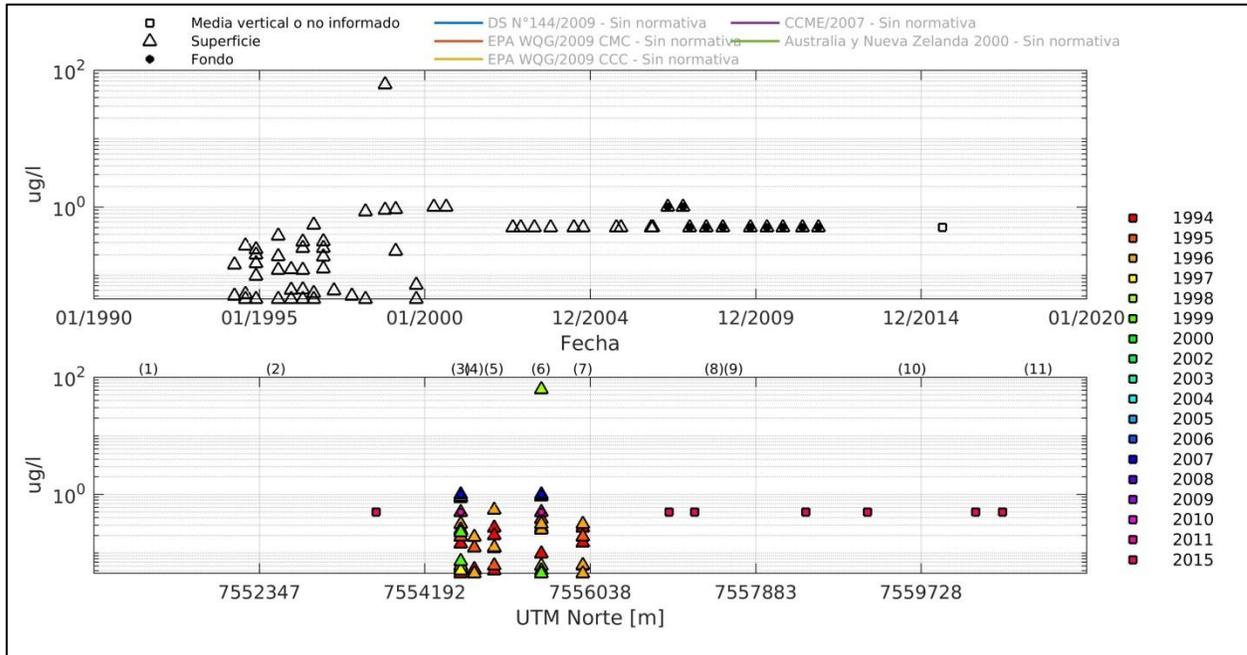


Figura 4.1-55. Concentración de Mercurio total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En el caso del Plomo en su fracción total no registran valores de concentración en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-56).

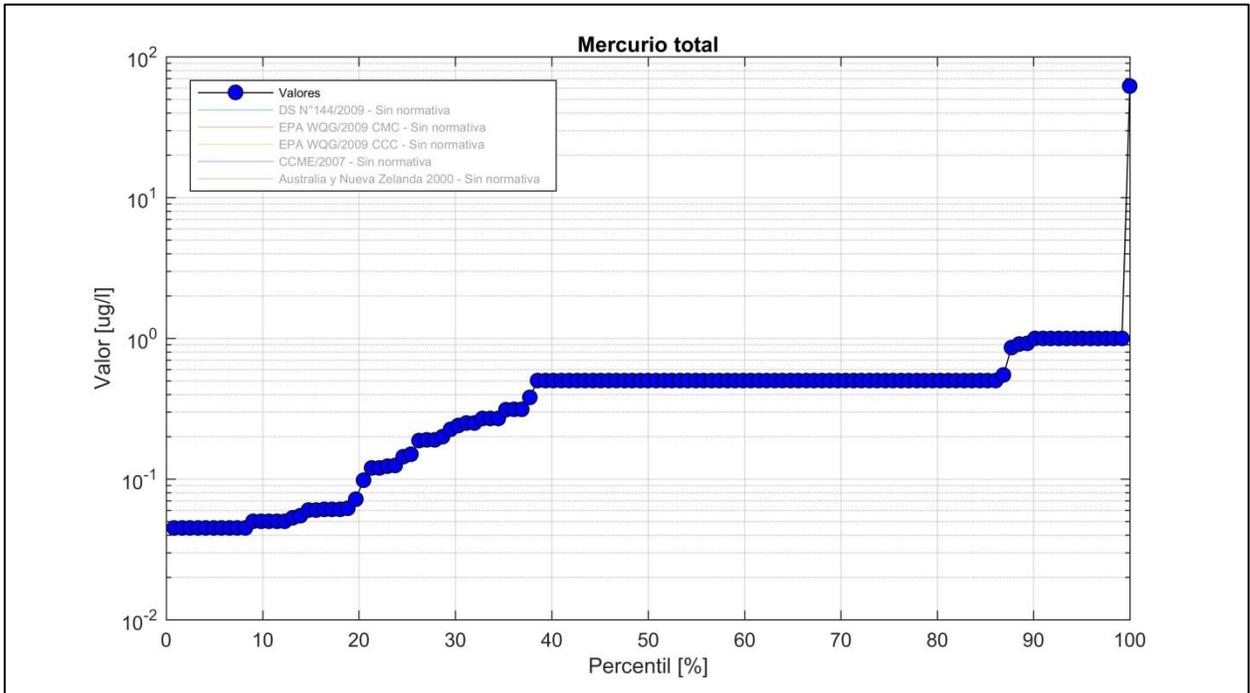


Figura 4.1-56. Concentración de Mercurio total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Níquel disuelto

En la columna de agua de la bahía Algodonales las concentraciones de Níquel disuelto variaron entre un mínimo bajo el límite de detección analítico (1,00 µg/L) registrado en varios puntos y periodos y un máximo de 88,00 µg/L registrado durante 2015 en el punto PF-06.

En cuanto a la distribución espacial de las mayores concentraciones de Níquel disuelto, se observó que estas se registraron al sur de la bahía, entre Playa Covadonga y Frente Villa Las Rocas, respectivamente (Figura 4.1-57, abajo).

En términos promedio temporales, se observa un periodo particular de valores más altos durante 2015, el cual se encuentra fuera de la tendencia general de los registros, el que tiene varios mínimos observados en 2012, 2013, 2016 y 2018, de esta forma no se aprecia un patrón de variación central (Figura 4.1-57).

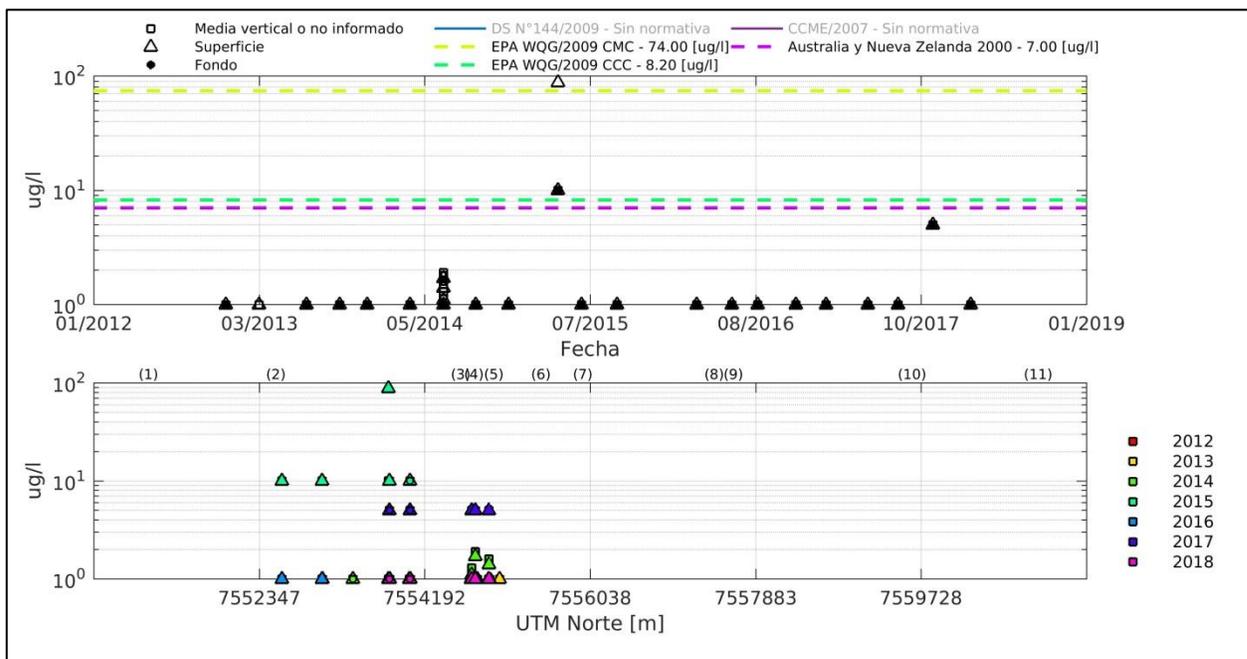


Figura 4.1-57. Concentración de Níquel disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración de Níquel disuelto, se observa que el 8,4% de los valores registrados en el periodo de monitoreo histórico en la columna de agua han estado por sobre el valor máximo permitido, considerando el límite más restrictivo (norma para Australia y Nueva Zelanda, 2000) (Figura 4.1-58).

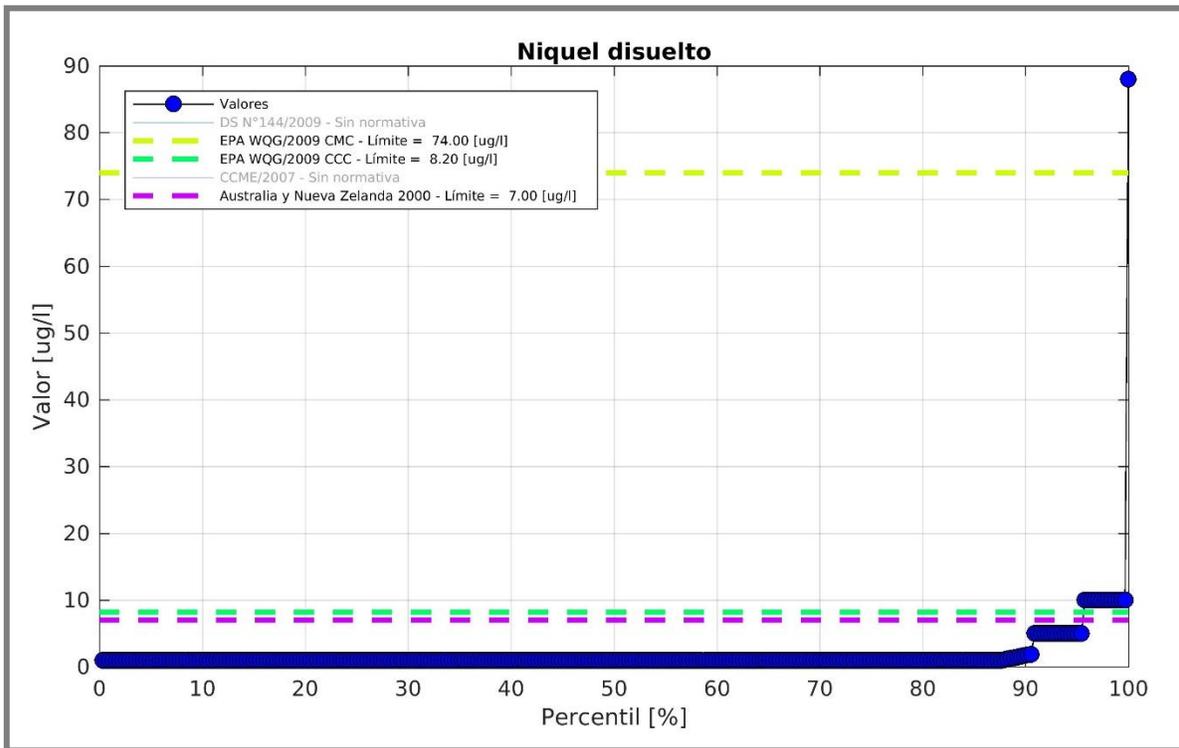


Figura 4.1-58. Concentración de Níquel disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*) de WQG EPA (2009), y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000).

· Níquel total

Las concentraciones de Níquel total en términos generales dentro de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo de 0,008 µg/L registrado en el punto PF-04 durante 2017 y un valor máximo de 10,19 µg/L en PF-06 también durante 2017.

En cuanto a la distribución espacial de los valores se observa que, excluyendo un valor puntual máximo (en Frente Villa Chilex), las concentraciones de Níquel total se distribuyen de forma homogénea (en cuanto a su valor) a lo largo del área de estudio, entre Playa Covadonga y Punta Duendes (Figura 4.1-59, abajo).

En lo que se refiere a la variación temporal de los registros, más allá de un peak de concentración durante 2017, en términos promedio no se aprecia una tendencia de variación (Figura 4.1-59, arriba).

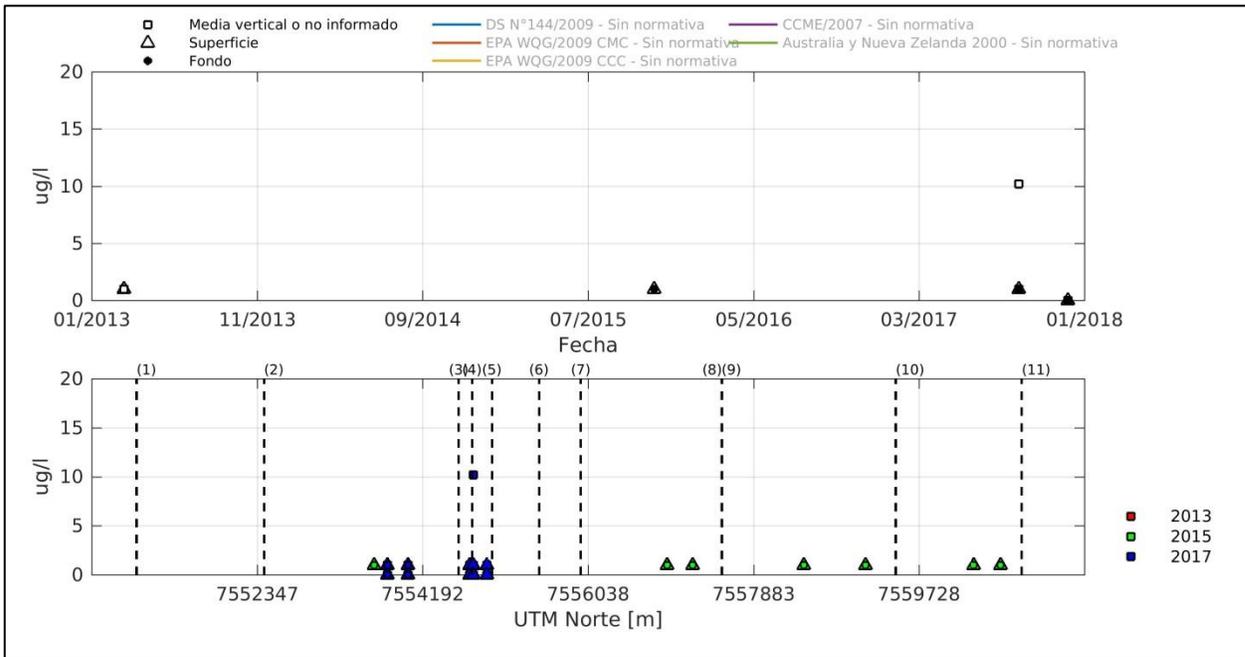


Figura 4.1-59. Concentración de Níquel total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración en las para Níquel total en la columna de agua no se encontraron umbrales establecidos (Figura 4.1-60).

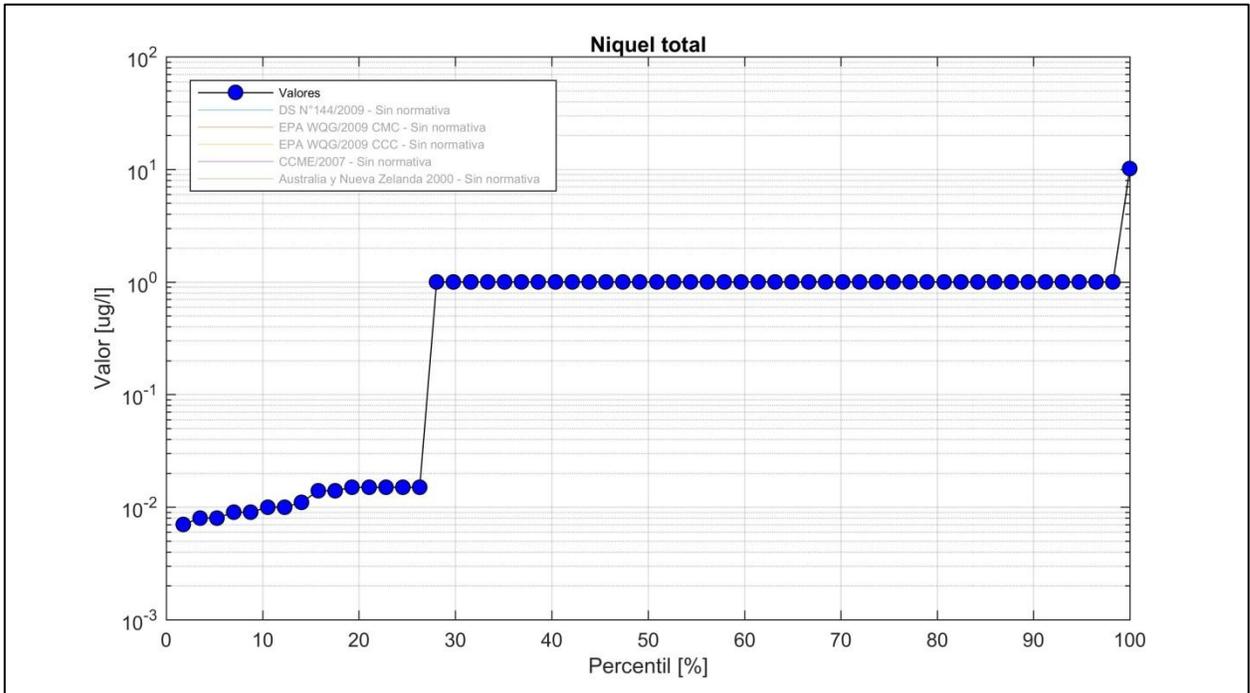


Figura 4.1-60. Concentración de Níquel total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Plomo disuelto

Las concentraciones en fracción disuelta de Plomo en la sección superficial de la columna de agua de la bahía han variado históricamente entre valores bajo el límite de detección (<0,025 µg/L) en todas las estaciones monitoreadas entre 2009 y 2011, y un máximo registrado de 1,23 µg/L registrado en el punto 090-A-To durante 2007. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones similarmente han variado también entre el límite de detección (<0,025 µg/L) y un máximo de 1,25 µg/L durante el periodo 2013 a 2017 (Figura 4.1-61, abajo).

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que las mayores concentraciones de Plomo en su fracción disuelta se han registrado de forma homogénea espacialmente en los puntos de monitoreo donde se registra la mayoría de las mediciones, esto es, entre los puntos de referencia 3 y 8, entre Villa Las Rocas y Estadio, respectivamente (Figura 4.1-61, abajo).

En términos promedio temporales, no se observan tendencias en la concentración anual en el periodo analizado, con el registro mínimo en el periodo 2010-2011 y el máximo en 2013-2017 (Figura 4.1-61, arriba).

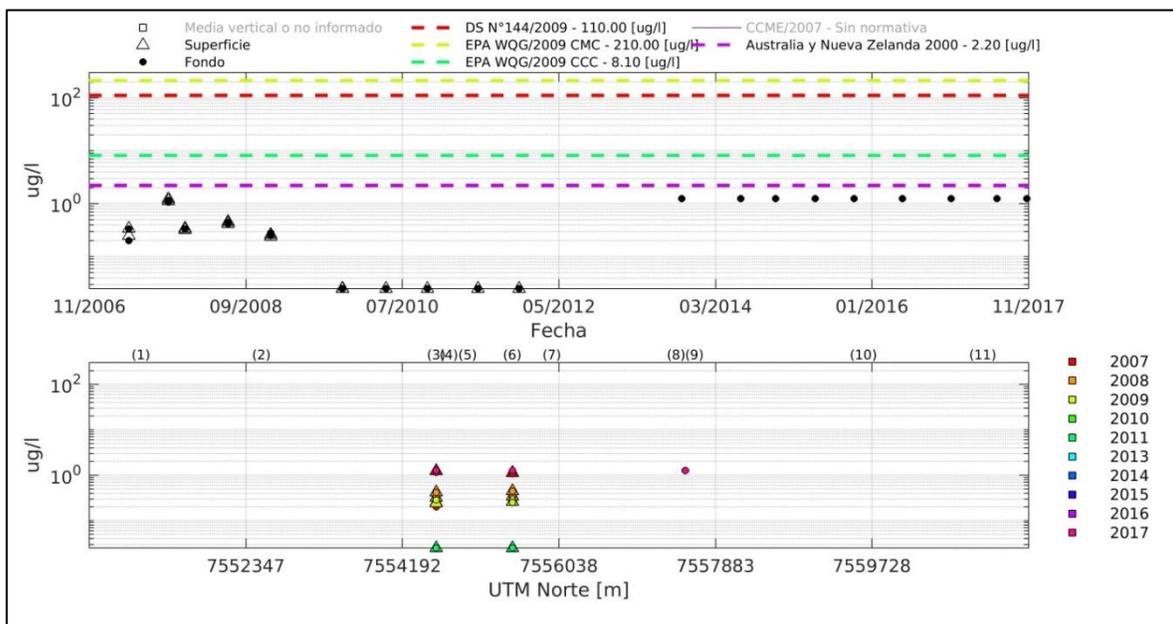


Figura 4.1-61. Concentración de Plomo disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En cuanto a los umbrales de concentraciones máximas encontrados en los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el 17% de los registros históricos de concentración

de Plomo en su fracción disuelta en la columna de agua han estado por sobre el valor máximo sugerido por la norma para Australia y Nueva Zelanda (2000) (Figura 4.1-62).

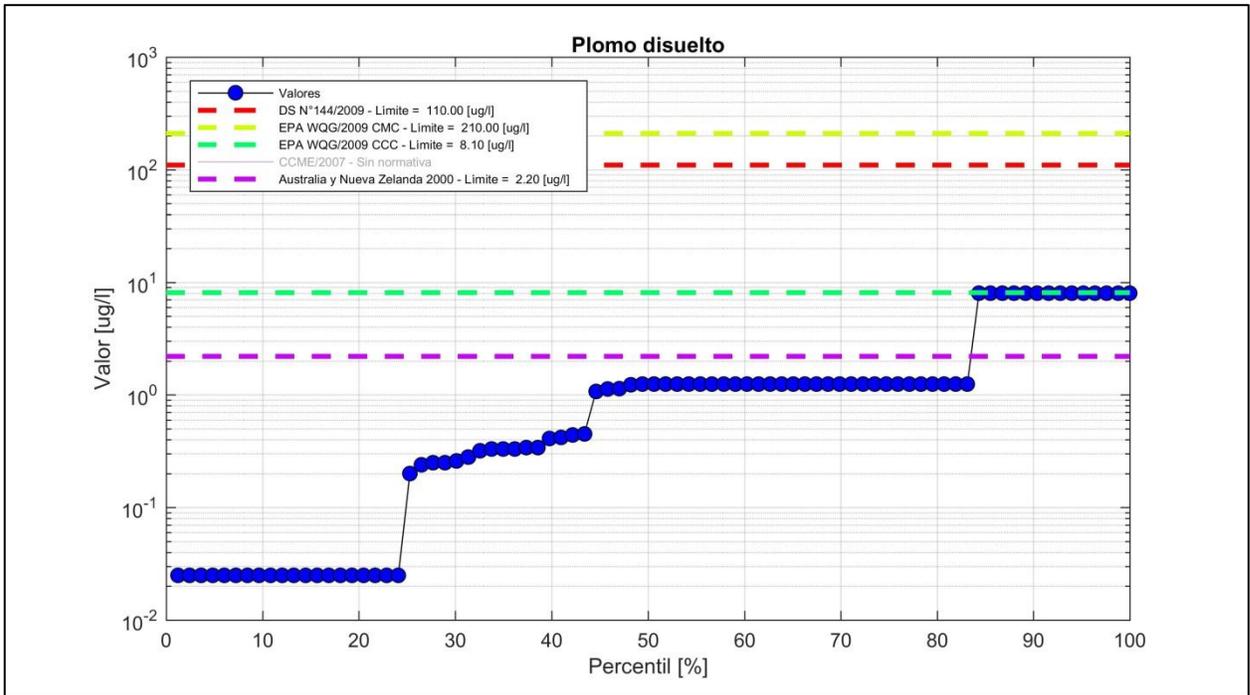


Figura 4.1-62. Concentración de Plomo disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009), CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*) de WQG EPA (2009), y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000).

· Plomo total

Las concentraciones de Plomo total en la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo de 0,012 µg/L registrado en 050-A-To durante 1997 y un máximo de 30,00 µg/L registrado en los puntos 050-A-To y 090-A-To en 2000.

En cuanto a la distribución espacial de las concentraciones de Plomo en la bahía se observa que los mayores valores en su fracción total se distribuyen al norte y al sur de la punta Algodonales, entre Playa Covadonga y Muelle SOQUIMICH (Figura 4.1-63, abajo).

En términos promedio temporales, no se observa un patrón claro de variación debido principalmente a un valor máximo histórico que genera una alta desviación del promedio de los valores anuales, durante 2000 y 2014, con los registros mínimos anuales en el periodo 2010-2011 (Figura 4.1-63, arriba).

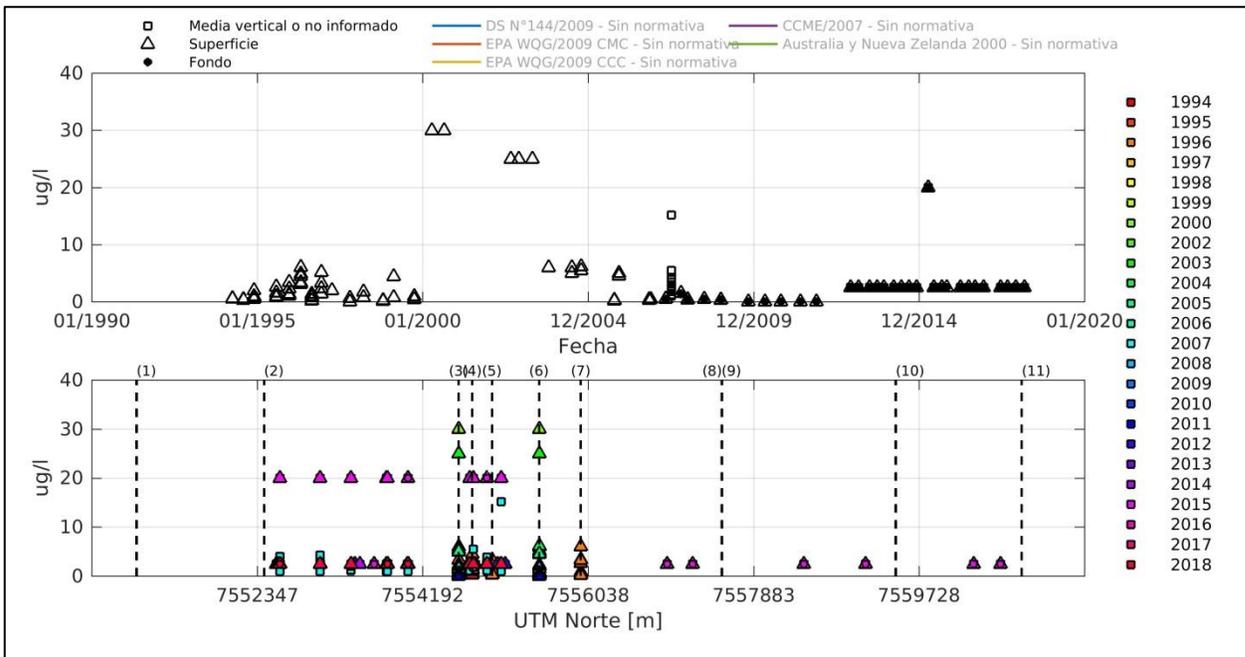


Figura 4.1-63. Concentración de Plomo total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En el caso del Plomo en su fracción total no registran valores de concentración en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-64).

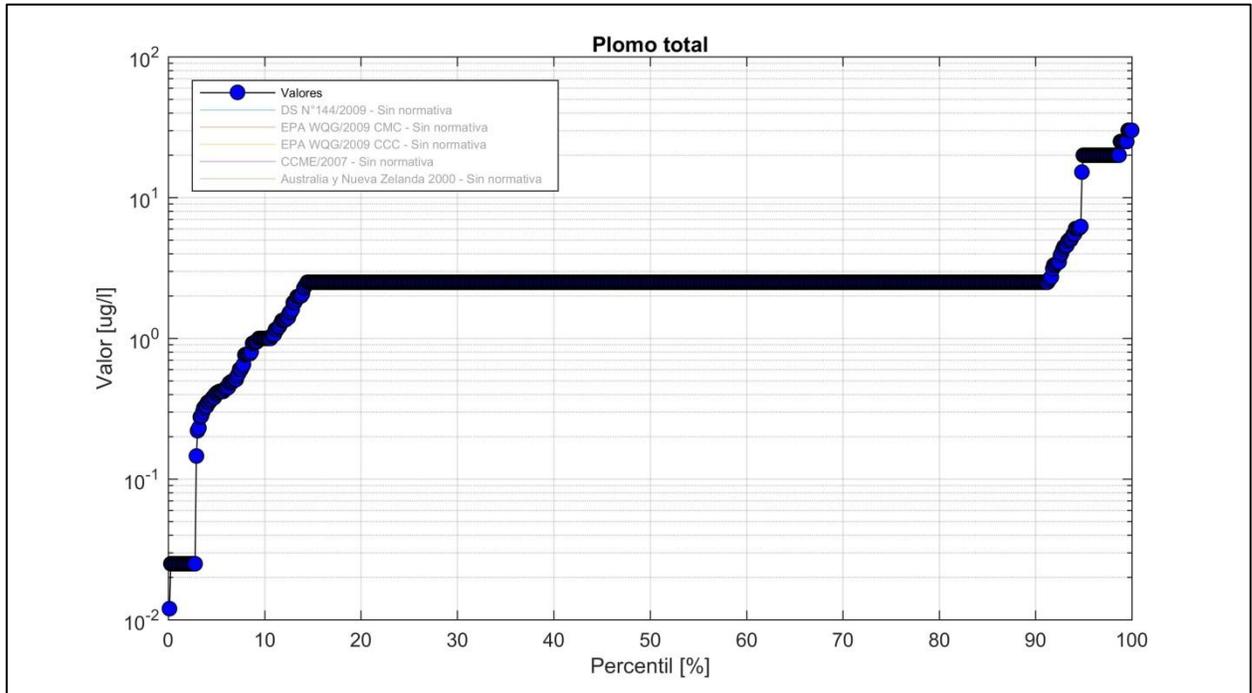


Figura 4.1-64. Concentración de Plomo total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

Selenio total

Las concentraciones de Selenio en su fracción total en la sección superficial y profunda de la columna de agua de la bahía han variado únicamente entre valores registrados en una campaña realizada en 2015, con todos los valores bajo el límite de detección analítico. En este mismo sentido, no se analiza la evolución temporal ni espacial de las concentraciones (Figura 4.1-65).

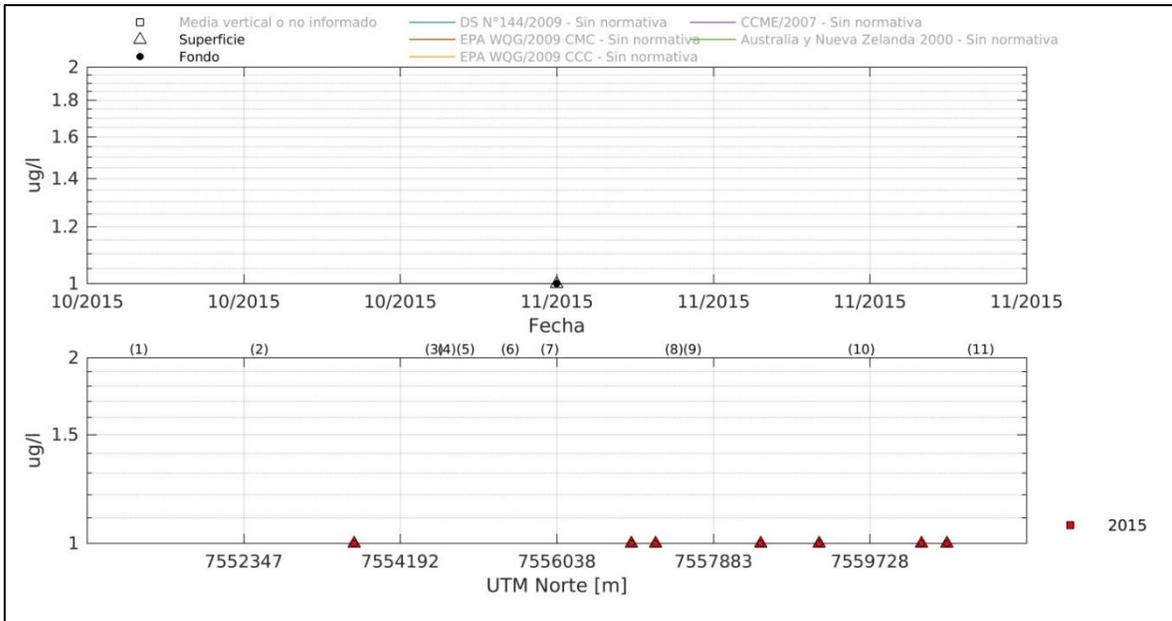


Figura 4.1-65. Concentración de Selenio total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En lo que se refiere a los umbrales de concentración máximas normadas, se observa que la totalidad de los registros de concentración de Selenio en la columna de agua durante el periodo estudiado han estado bajo los valores máximos sugeridos por dichas normas (Figura 4.1-66).

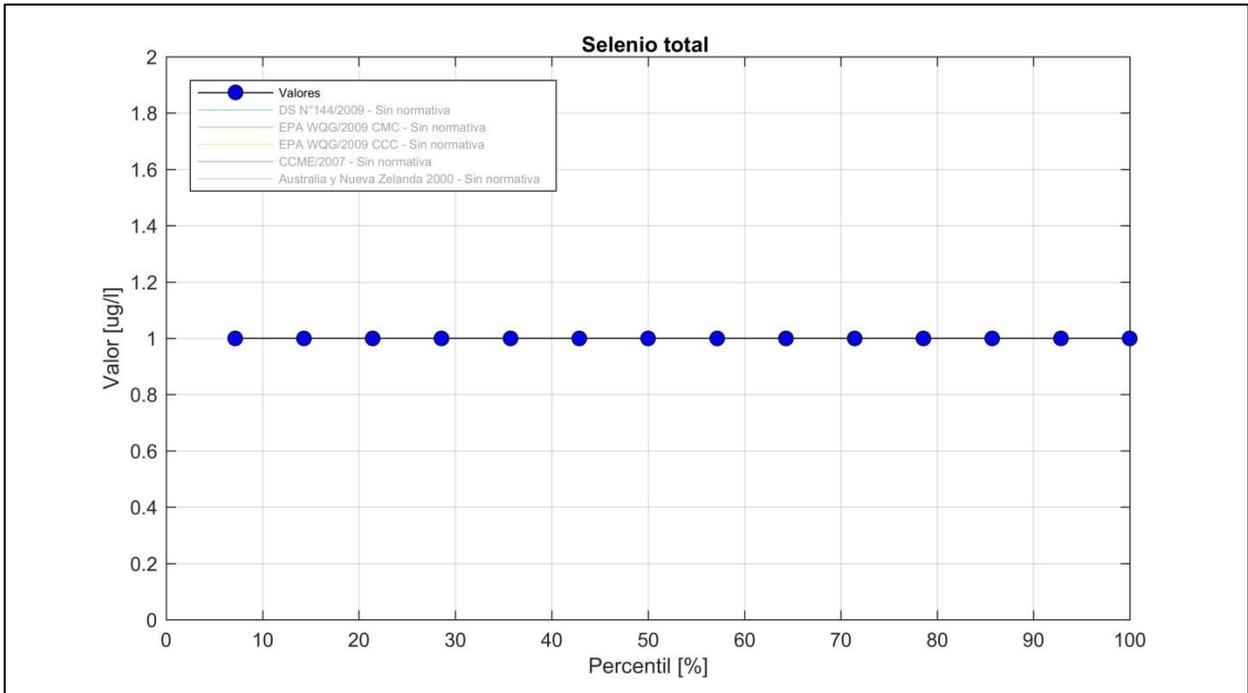


Figura 4.1-66. Concentración de Selenio total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Vanadio disuelto

Las concentraciones de Vanadio en su fracción disuelta en la columna de agua de la bahía han variado históricamente entre valores bajo el límite de detección (1,80 $\mu\text{g/L}$) registrado en el punto PF-05 monitoreado durante 2015, y de 47,30 $\mu\text{g/L}$ en el punto PF-03 registrado en 2012.

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que las mayores concentraciones de Vanadio disuelto, considerando un elevado valor puntual máximo en Frente Villa Chilex, se han registrado al sur de la bahía, entre Playa Covadonga y Muelle Carbón (Figura 4.1-67, abajo).

En términos promedio temporales, se observa un patrón de disminución de la concentración promedio anual, observándose el registro máximo en 2012 y el mínimo en el periodo 2015, con valores gradualmente menores a lo largo del periodo estudiado (Figura 4.1-67, arriba).

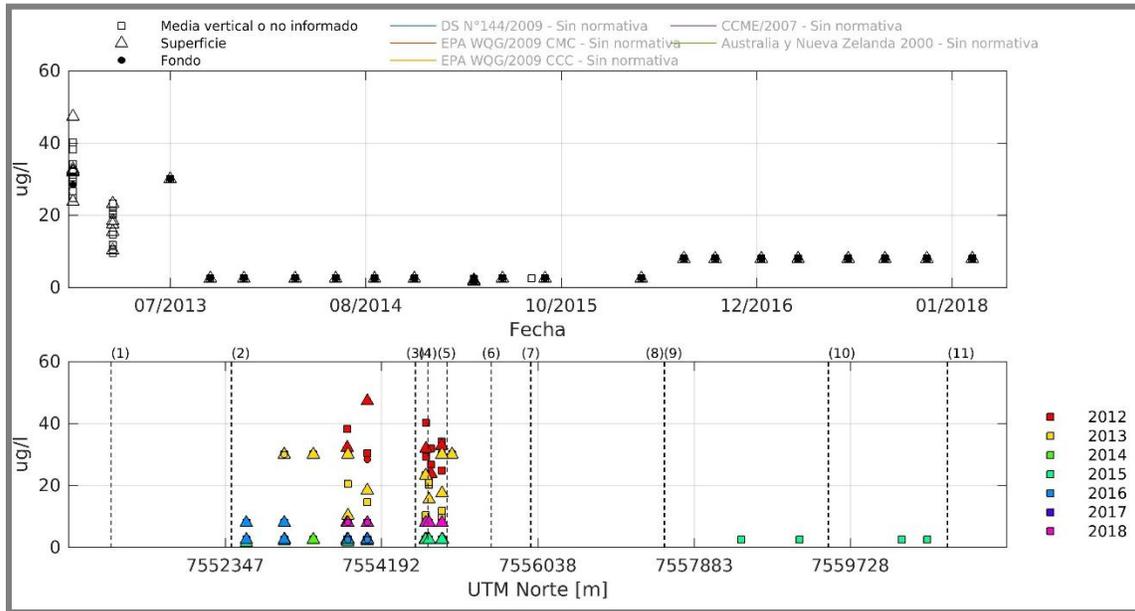


Figura 4.1-67. Concentración de Vanadio disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

Al igual que en el caso del Selenio, el Vanadio no registran valores de concentración en sedimentos regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-68).

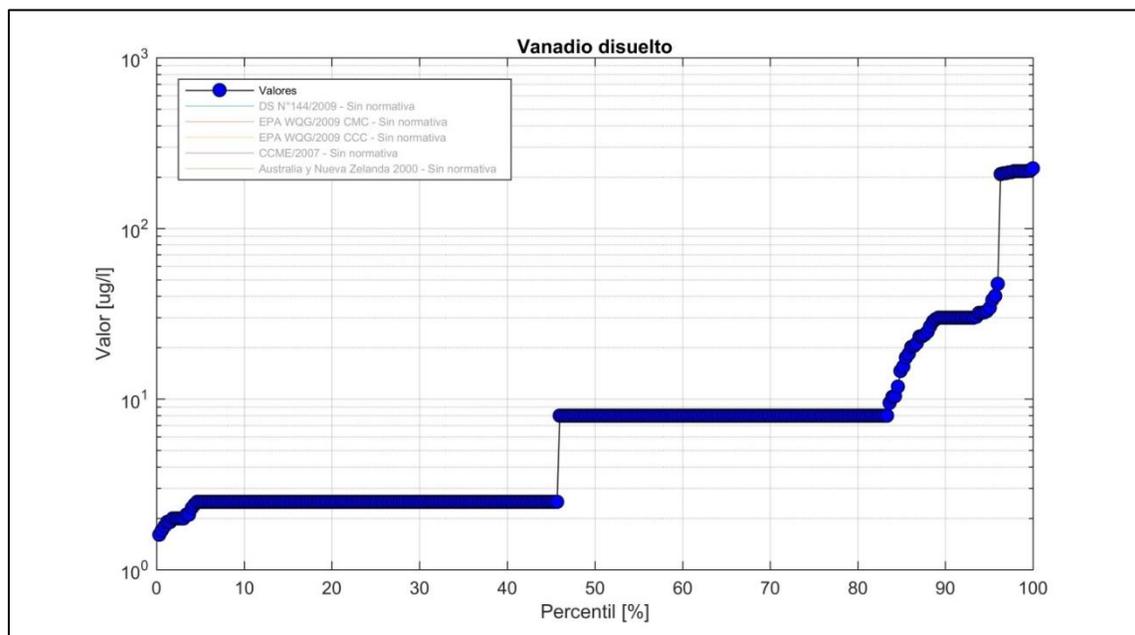


Figura 4.1-68. Concentración de Vanadio disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Vanadio total

Las concentraciones de Vanadio total en la columna de agua de la bahía han variado históricamente entre valores bajo distintos límites de detección de 2,50 µg/L registrado en los puntos monitoreados durante el periodo entre 2015 y de 8,00 µg/L en los puntos monitoreados en el periodo 2017.

En cuanto a la variación espacial de los registros, al igual que en la fracción suspendida, las mayores concentraciones de Vanadio total se han registrado al sur de la bahía, entre Playa Covadonga y Muelle Carbón (Figura 4.1-69, abajo).

En términos promedio temporales, a diferencia de la fracción disuelta de este metal, se observa un patrón de aumento de la concentración promedio anual, aunque se registran solo 3 campañas, observándose el registro mínimo durante 2015 y el máximo en 2017 (Figura 4.1-69, arriba).

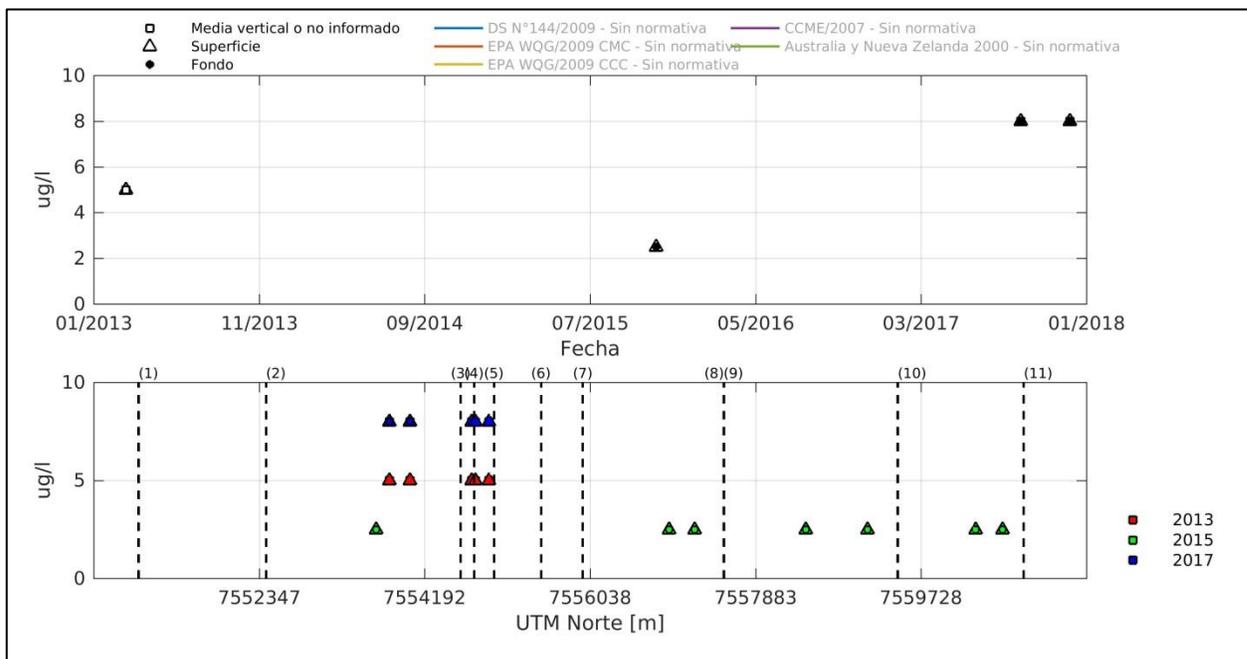


Figura 4.1-69. Concentración de Vanadio total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

Al igual que en el caso del Selenio, el Vanadio no registran valores de concentración en sedimentos regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-70).

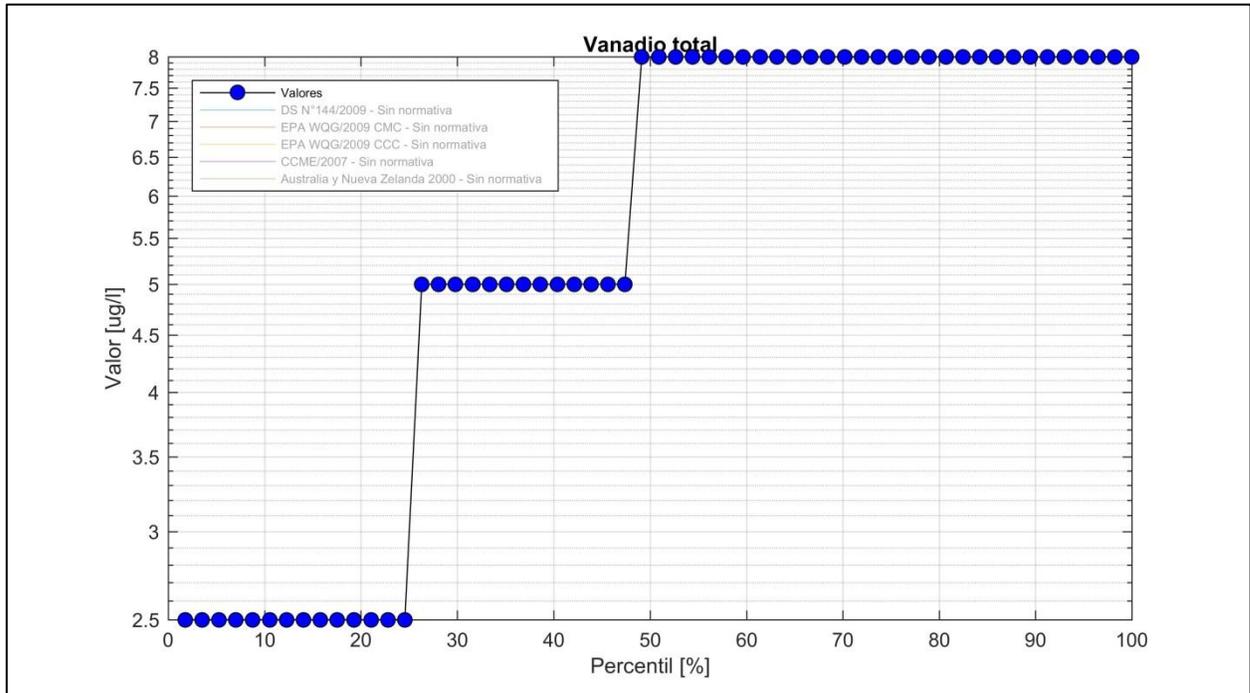


Figura 4.1-70. Concentración de Vanadio total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Zinc disuelto

Las concentraciones de Zinc disuelto tanto en la sección superficial como profunda de la columna de agua de la bahía históricamente han variado de una forma similar, entre valores mínimos bajo el límite de detección ($<0,025 \mu\text{g/L}$) y valores máximos de $12,20 \mu\text{g/L}$ en el estrato superficial del punto 090-A-To, y $11,34 \mu\text{g/L}$ en el estrato profundo del punto 050-A-To, ambos registrados durante 2011.

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones del Zinc en su fracción disuelta están distribuidas en una zona acotada de la bahía en el sector centro sur (entre Frente Villa Las Rocas y Muelle SOQUIMICH), debido a la inexistencia de mediciones en otras zonas (Figura 4.1-71, abajo).

En términos promedio temporales, se observa un patrón de valores máximos en los extremos del periodo estudiado, en 2007 y 2011, con los registros mínimos anuales en el inter-periodo 2008-2010 (Figura 4.1-71, arriba).

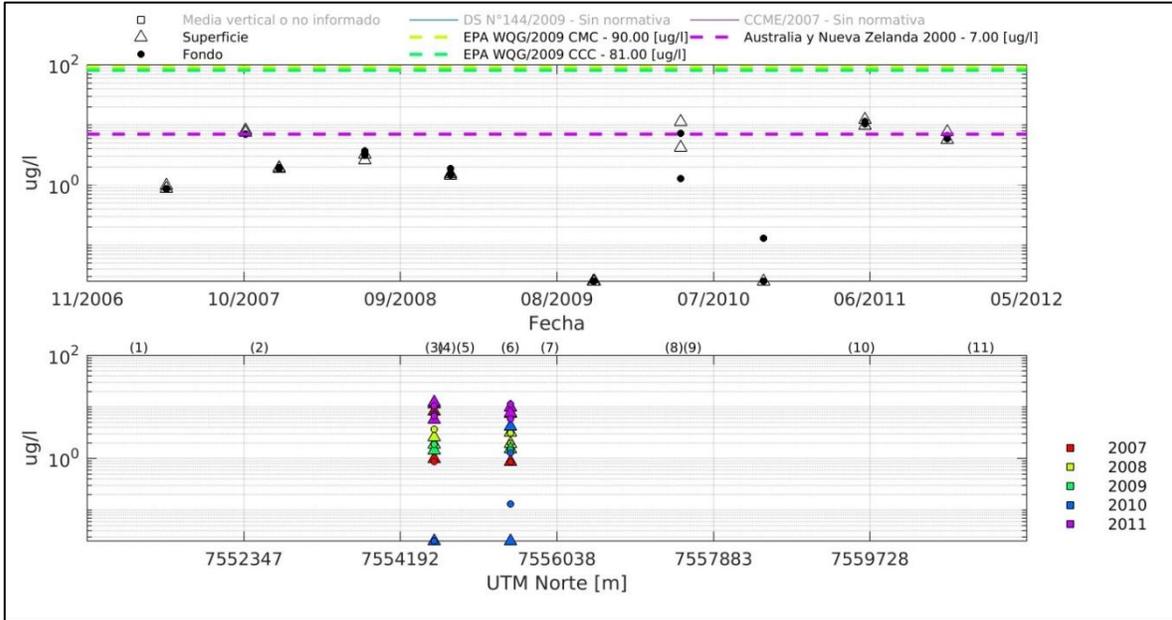


Figura 4.1-71. Concentración de Zinc disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En cuanto a los umbrales de concentraciones máximas encontrados en los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el 18% de los registros históricos de concentración de Zinc disuelto en la columna de agua han estado por sobre el valor máximo sugerido por el límite más restrictivo, la norma para Australia y Nueva Zelanda (2000) (Figura 4.1-72).

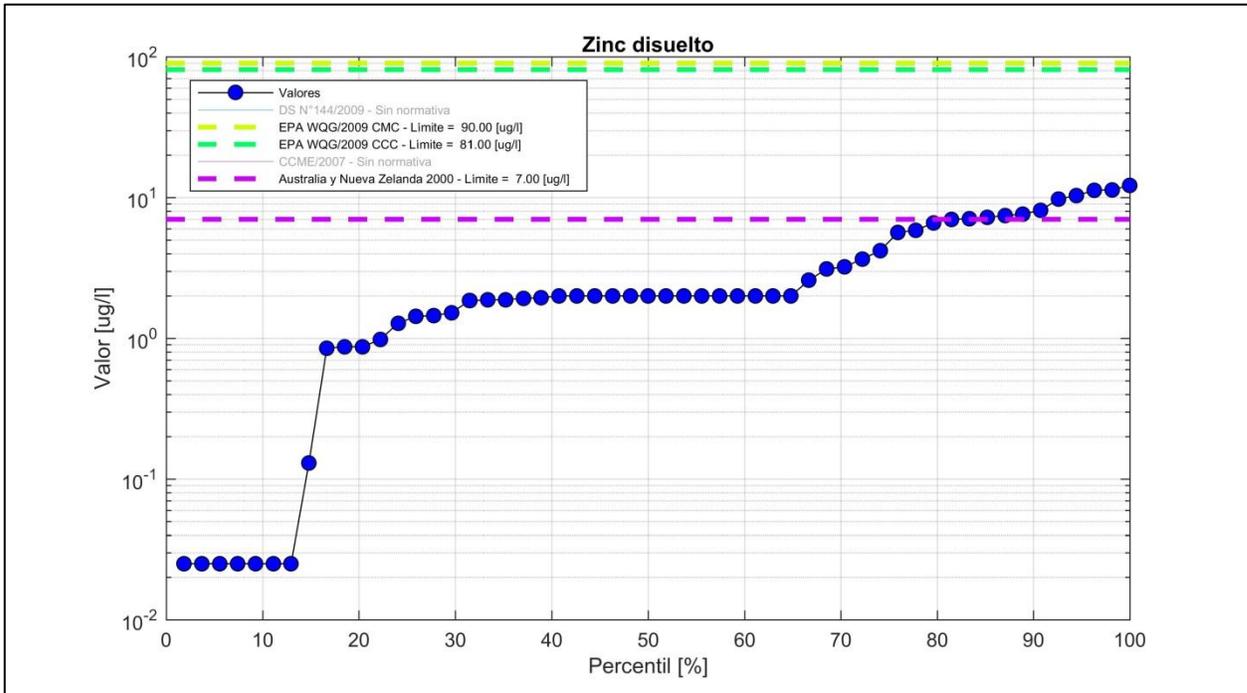


Figura 4.1-72. Concentración de Zinc disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*) de WQG EPA (2009), y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000).

· Zinc total

Las concentraciones de Zinc total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado ampliamente entre un valor mínimo bajo el límite de detección (<0,025 $\mu\text{g/L}$) y un valor máximo de 276,00 $\mu\text{g/L}$ registrado en 090-A-To durante 1994. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones totales han variado también entre el límite de detección (<0,025 $\mu\text{g/L}$) registrado en los puntos monitoreados durante el periodo 2009 y un máximo de 17,85 $\mu\text{g/L}$ durante 2011 en la estación 050-A-To (Figura 4.1-73, abajo).

En cuanto a la distribución espacial de las concentraciones en el área de estudio se observa que los mayores valores del Zinc total se han registrado en la zona centro sur de la bahía, entre Frente Villa Las Rocas y Muelle Pesquero, respectivamente (Figura 4.1-73, abajo).

En términos de concentración promedio anual y su variación temporal, se observa un patrón de gran disminución de la concentración promedio anual, observándose el registro máximo en 1994 y el mínimo en el periodo 2006, con valores gradualmente menores y manteniendo valores bajos en las campañas más recientes, cabe destacar que este metal es el que presenta la mayor tasa de disminución histórico (Figura 4.1-73, arriba).

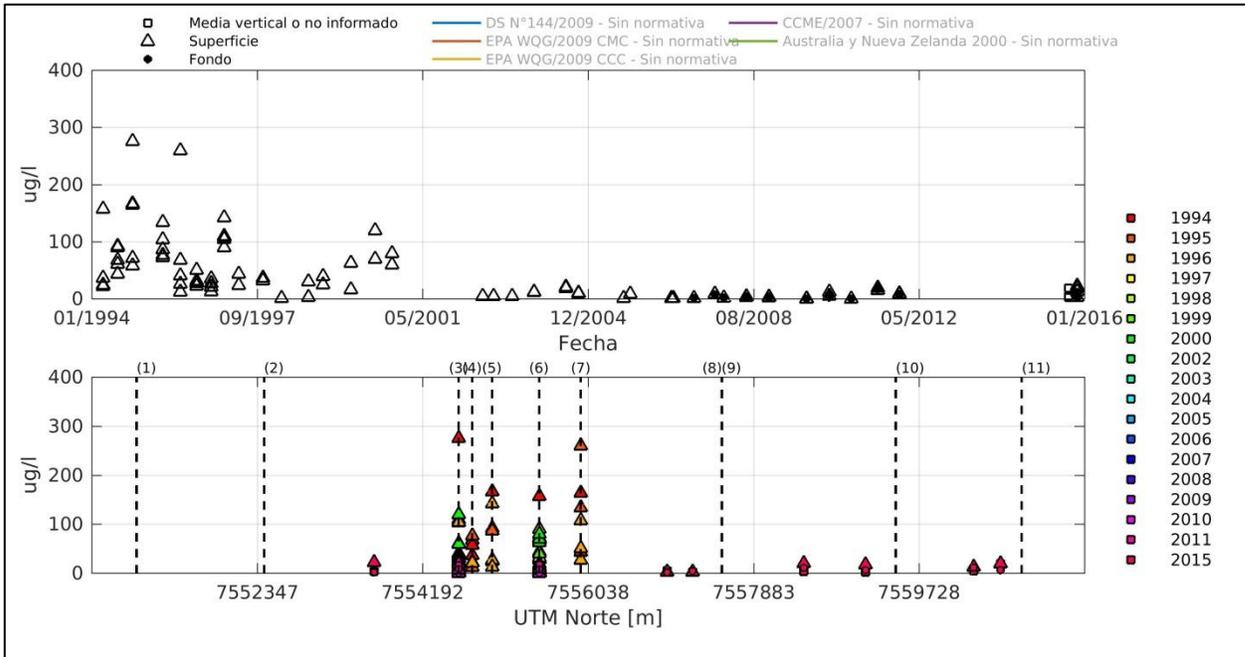


Figura 4.1-73. Concentración de Zinc total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En cuanto a los umbrales de concentraciones máximas encontrados en los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el 69% de los registros históricos de concentración de arsénico en la columna de agua han estado por sobre el valor máximo sugerido por Persaud (1993) sobre el cual se registran efectos leves sobre los organismos, siendo este umbral el más restrictivo. Por otra parte, en cuanto a la normativa nacional, el límite máximo definido por MOP (1994) se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de arsénico en sedimentos se refiere, en este caso, el 21% de los registros históricos superan este valor máximo permitido (Figura 4.1-74).

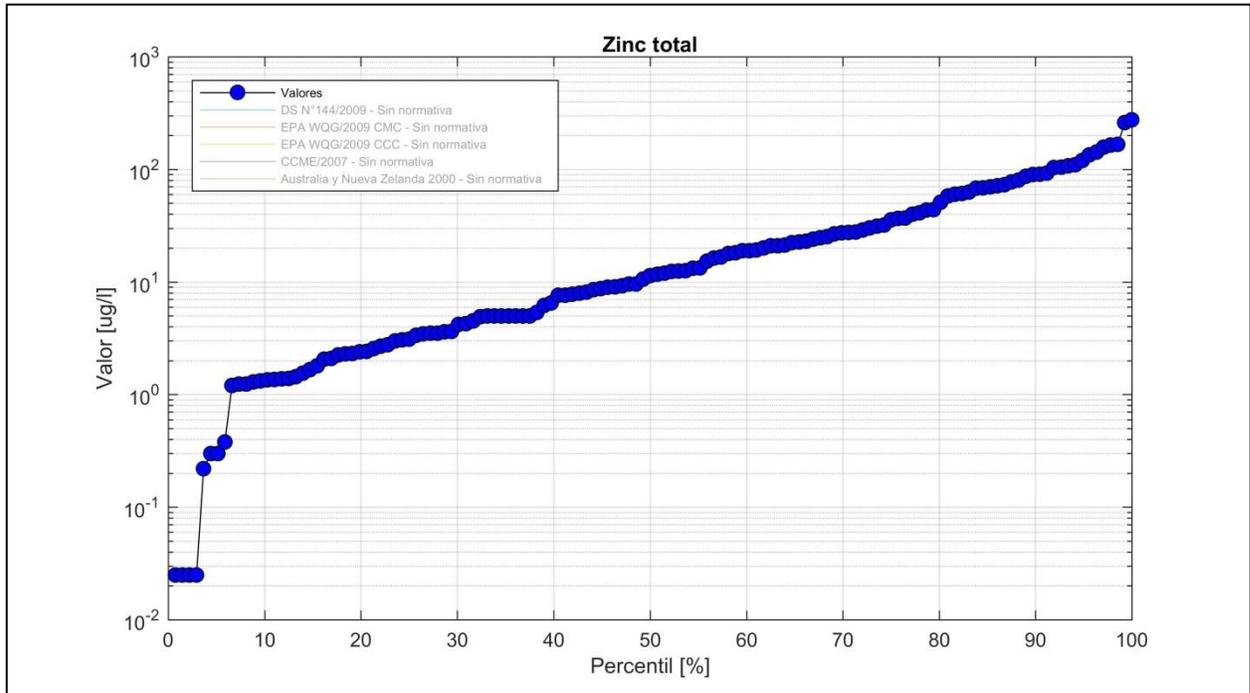


Figura 4.1-74. Concentración de Zinc total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

e) *Parámetros de Productividad y Nutrientes*

· Nitratos

Las concentraciones de Nitrato en la sección transversal de la columna de agua en la bahía históricamente han variado ampliamente, entre valores mínimos de 0,024 $\mu\text{g/L}$ en la estación PF-05 en 2007 y una concentración máxima de 281 $\mu\text{g/L}$ en el punto 050-A-To registrados durante 2004.

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones del Nitrato están distribuidas en una zona acotada de la bahía en el sector centro sur (entre Frente Villa Las Rocas y Muelle SOQUIMICH), donde se concentra además el mayor número de mediciones (Figura 4.1-19, abajo).

En términos promedio temporales, se observan dos patrones de variación dentro del periodo estudiado, una tendencia decreciente en el periodo 1994-2004, separado por las campañas con los máximos puntuales históricos, y un segundo periodo con tendencia creciente desde 2005 hasta el presente, con valores cada vez mayores (Figura 4.1-19, arriba).

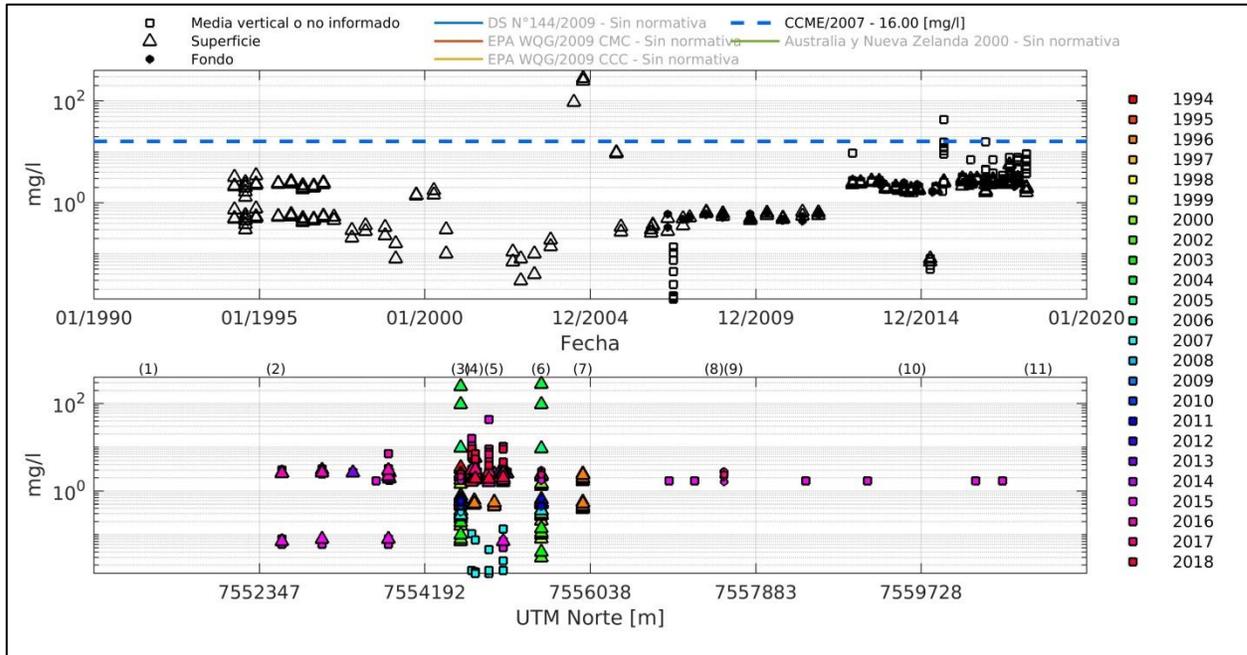


Figura 4.1-75. Concentración de Nitrato en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En cuanto al porcentaje de excedencia de los umbrales de concentraciones máximas encontrados en los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el 1% de los registros históricos de concentración de Nitrato en la columna de agua han estado por sobre el valor máximo sugerido por la norma del CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007) (Figura 4.1-76).

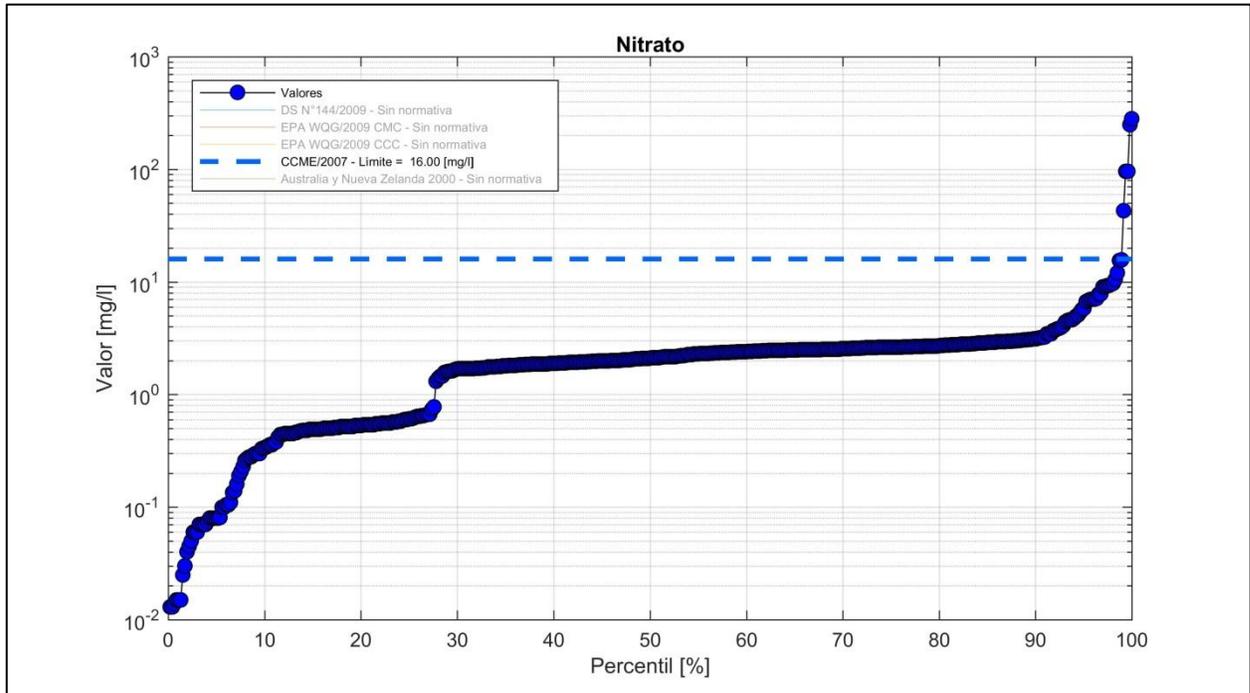


Figura 4.1-76. Concentración de Nitrato en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*; 2007).

· Fósforo Total

Las concentraciones del nutriente Fósforo en su fracción total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección (<0,005 mg/L) registrado en 2000 y un valor máximo de 0,648 en 050-A-To en 1997. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado también entre 0,01 mg/L registrado en los puntos monitoreados durante el periodo 2008-2011 y un máximo de 0,44 mg/L durante 2001 en la estación B-02 (Figura 4.1-77, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones de Fósforo total están distribuidas de forma homogénea (en cuanto a su valor) en el sector delimitado por Playa Covadonga y Playa el Panteón, donde se concentra además la totalidad de mediciones (Figura 4.1-77, abajo).

En términos promedio temporales, no se observa un patrón de variación definido dentro del periodo estudiado, con máximo promedio en 1997 y periodos con mínimos anuales bajo el límite de detección en diversos años, incluyendo los últimos 4 años del periodo analizado (Figura 4.1-77, arriba).

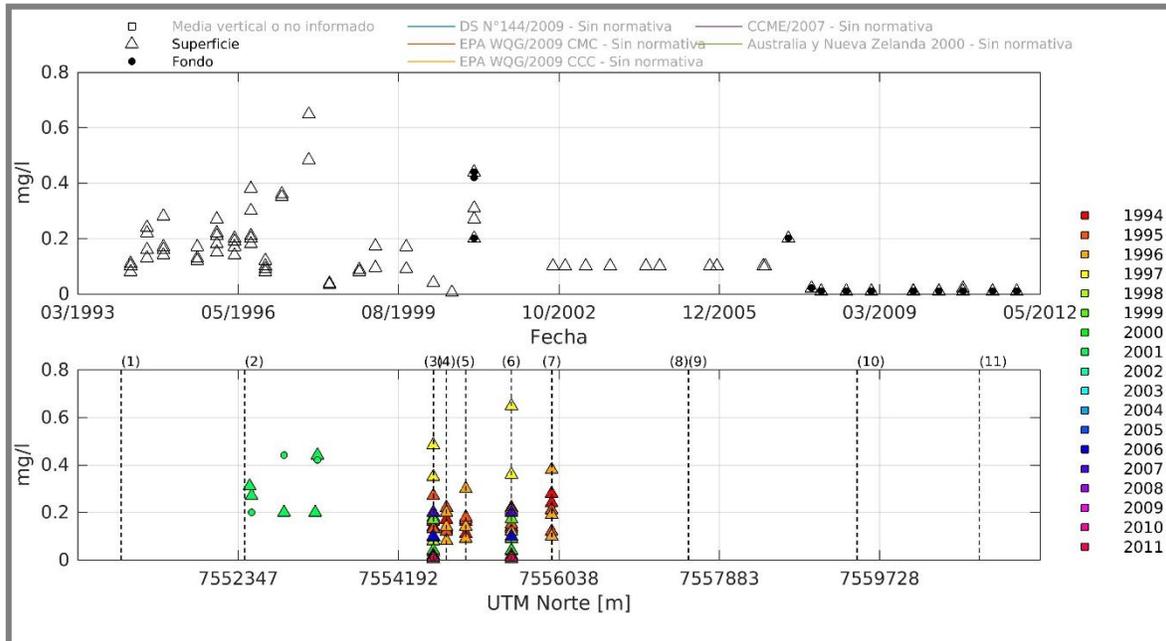


Figura 4.1-77. Concentración de Fósforo total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En el caso del Fósforo total no se registran valores de concentración máxima en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-78).

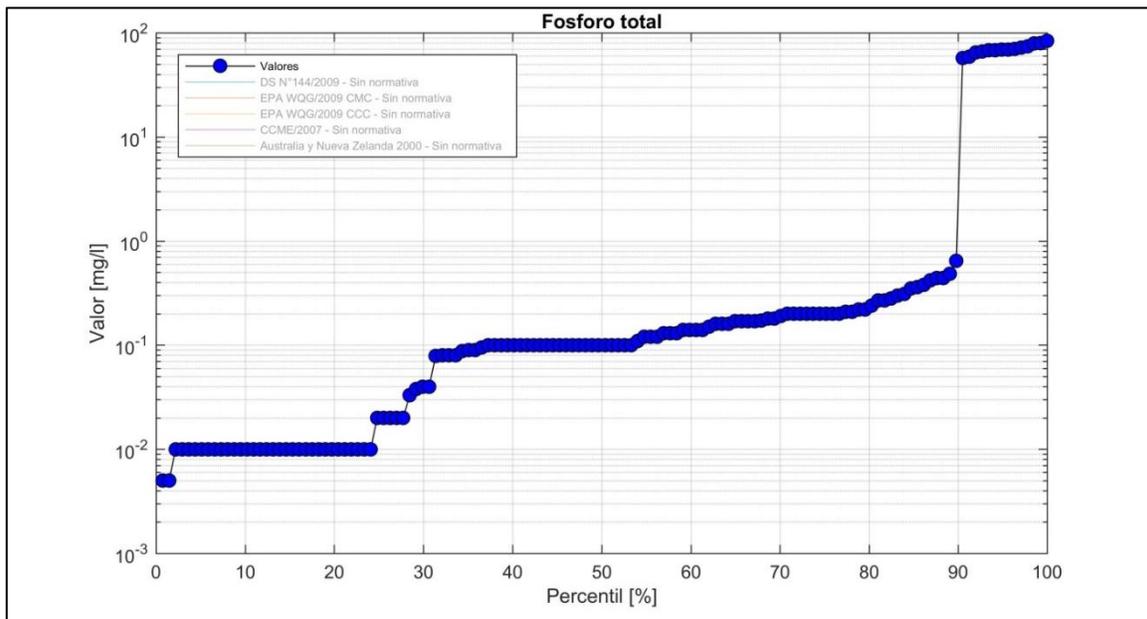


Figura 4.1-78. Concentración de Fósforo total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

f) Contaminantes Biológicos

· Coliformes Totales

La concentración de bacterias Coliformes en su fracción total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente ha variado ampliamente entre un valor mínimo bajo el límite de detección (<1,0 NMP/100mL) y un valor máximo de 5.400 NMP/100mL en 070-A-To durante 1996. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado también entre el límite de detección <1,8 NMP/100mL y un máximo de 350 NMP/100mL durante 2016 en la estación CNG-A2 (Figura 4.1-79, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones Coliformes Totales están distribuidas en una zona acotada de la bahía en el sector centro sur (entre Frente Villa Las Rocas y Muelle SOQUIMICH), donde se concentra además el mayor número de mediciones (Figura 4.1-79, abajo).

En términos temporales, no se observa una tendencia o patrón definido de los valores promedio, dentro del periodo estudiado, sólo destaca un promedio máximo en 1996 y periodos con mínimos anuales bajo el límite de detección en algunos años (Figura 4.1-79, arriba).

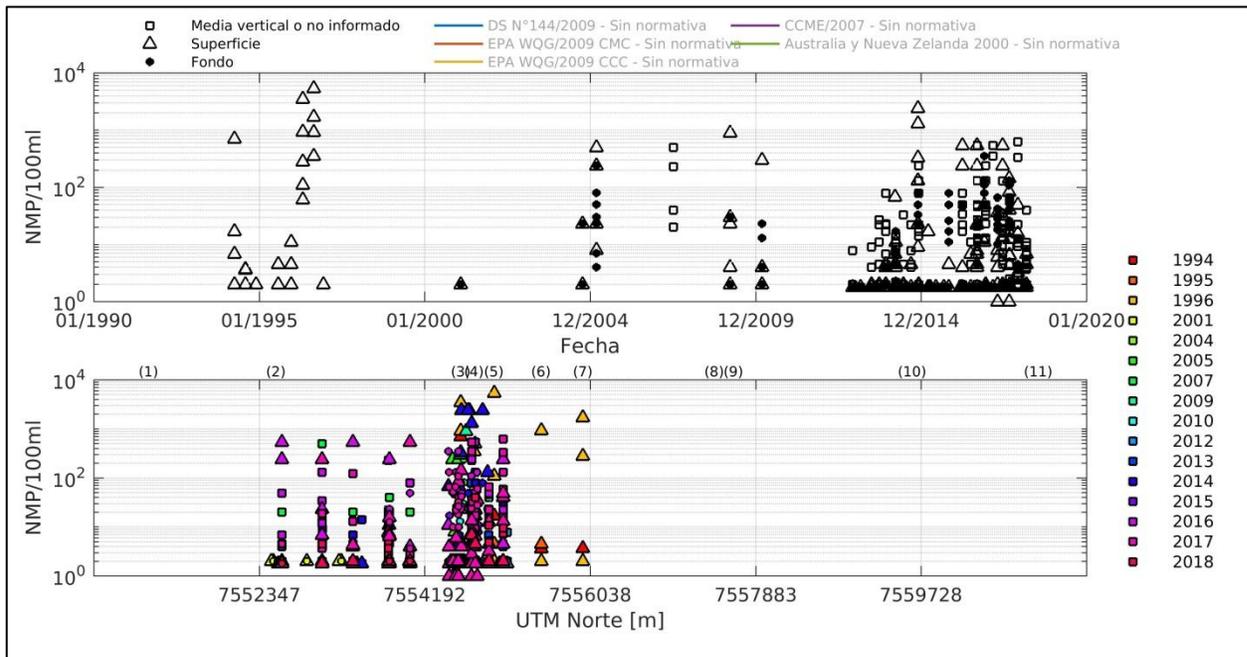


Figura 4.1-79. Concentración de bacterias Coliformes Totales en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En el caso de la concentración de Coliformes Totales no se registran valores de concentración máxima en columna de agua regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-80).

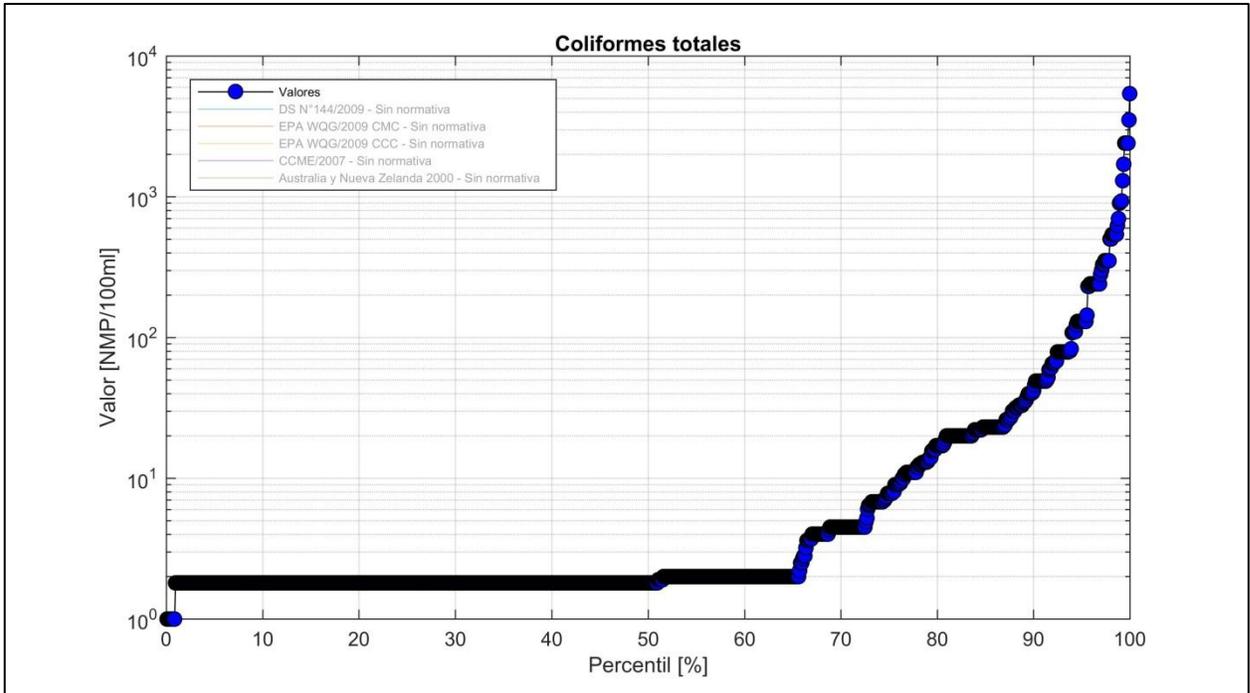


Figura 4.1-80. Concentración de Coliformes Totales en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

Coliformes Fecales

Las concentraciones de bacterias Coliformes Fecales tanto en la sección superficial como profunda de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección (<1,8 NMP/100mL) y un valor máximo de 2.400 NMP/100mL en 1999 y 920 en 2014, en superficie y fondo respectivamente, ambas mediciones máximas fueron registradas en el punto 050-A-To (Figura 4.1-81, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores en el área de estudio se observa que las mayores concentraciones de Coliformes fecales están distribuidas de forma homogénea (en cuanto a su valor) en el sector delimitado por Playa Covadonga y Playa el Panteón, donde se concentra además la totalidad de mediciones (Figura 4.1-81, abajo).

En términos promedio temporales, no se observa un patrón definido, solo una relativa disminución en términos generales luego de un máximo histórico durante 1999 (Figura 4.1-81, arriba).

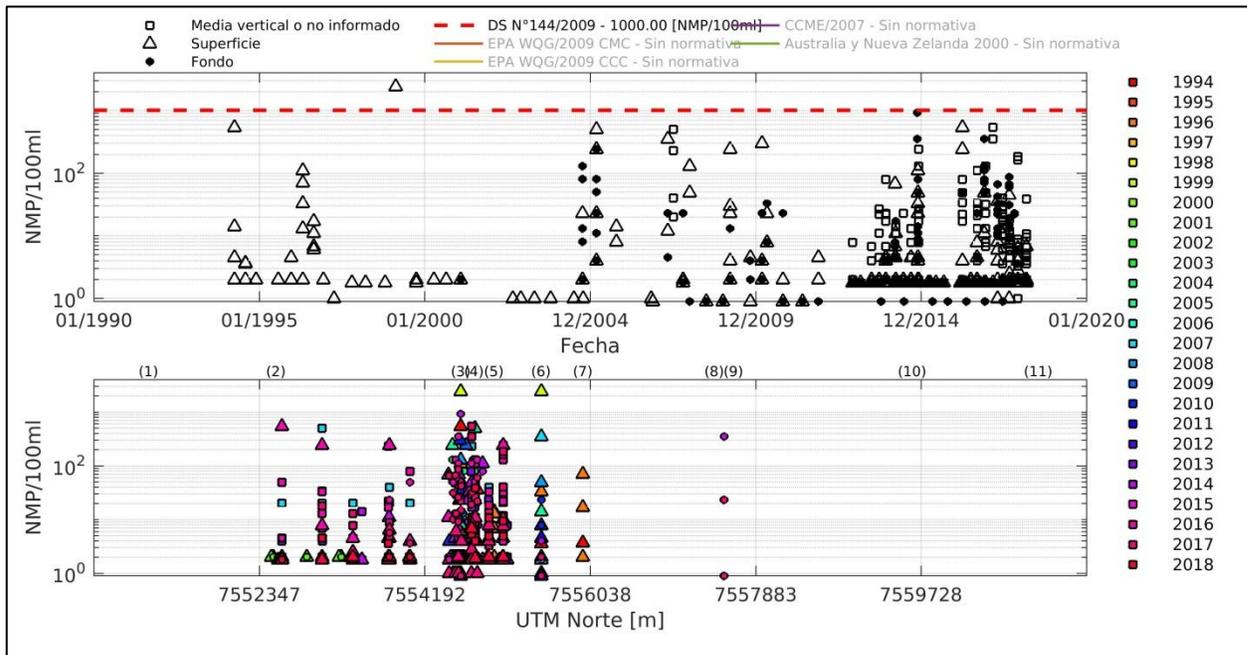


Figura 4.1-81. Concentración de Coliformes Fecales en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas que aplican a la columna de agua.

En cuanto al porcentaje de excedencia de los umbrales de concentraciones máximas encontrados en los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el sólo en 1% de los registros históricos de concentración de bacterias Coliformes Fecales en la columna

de agua han estado por sobre el valor máximo establecido en la normativa nacional por el D.S. N°144 del 2009 (Figura 4.1-82).

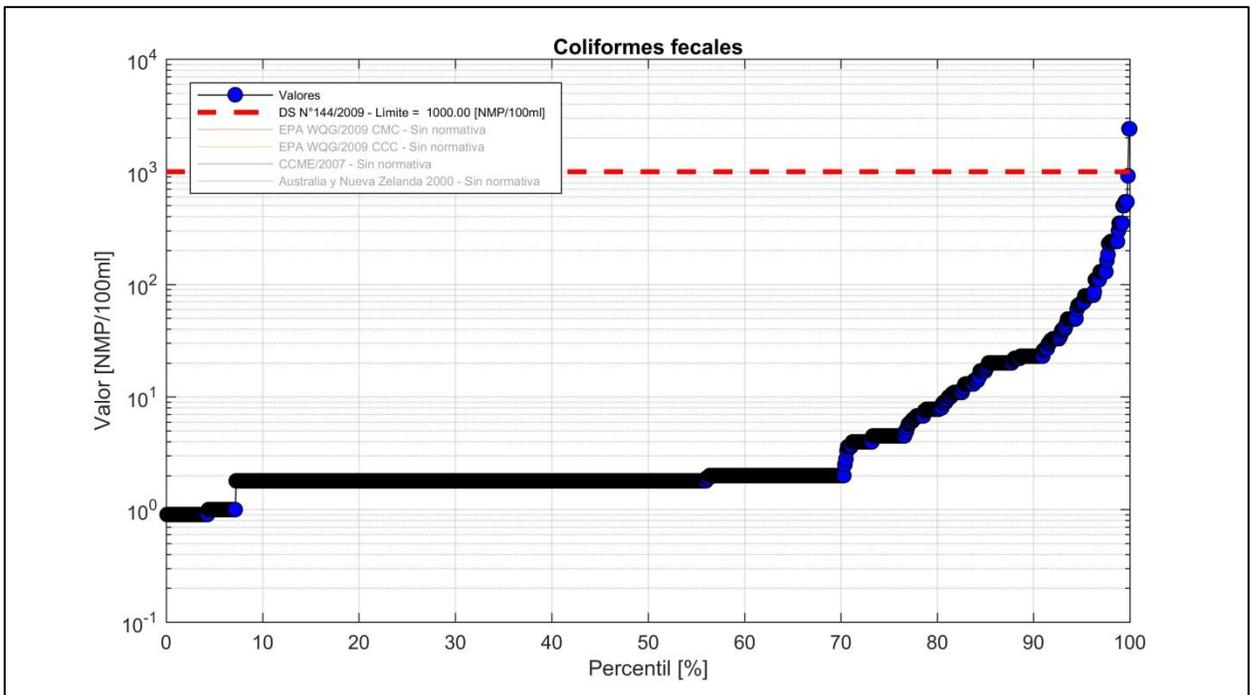


Figura 4.1-82. Concentración de Coliformes Fecales en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles. Además, se presenta el umbral de concentración máxima establecido por el D.S. N°144 del 2009.

ii. Sedimentos

Al igual que para los parámetros de calidad química de agua, para la descripción de la calidad química de sedimentos se utilizó la información recopilada de PVA de industrias de la zona, además de información presente en las líneas base de distintas EIAs y DIAs recopiladas a partir de la base de datos presente en el Servicio de Evaluación Ambiental, y de la información presente en el POAL.

Análogo al caso del análisis de la calidad del agua, la forma de presentar la información consistió en mostrar gráficos espaciales y temporales para cada uno de los parámetros seleccionados. Esto es, gráficos espaciales que muestran el valor del parámetro en cuestión para cada una de las zonas de Tocopilla, coincidentes con las denominadas por POAL y sectores de importancia. Estas figuras, permiten identificar de forma general el estado de bahía Algodonales por cada una de las zonas. Los gráficos temporales, consisten en el ordenamiento temporal de la totalidad de los datos. Esto permite identificar la evolución de los parámetros e identificar si es que la calidad ambiental ha cambiado los últimos años.

Las normativas utilizadas para caracterizar los sedimentos del área de estudio fueron las siguientes:

- Manual para la cuantificación de externalidades de proyectos portuarios del MOP (1994).
- Persaud (1993). Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Cuyos criterios son:
 - o LEL: Lowest Effect Level.
 - o SEL: Severe Effect Level.
- Australian and Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters. Sediment quality guidelines.

En la Tabla 4.1-6 se muestran los valores referenciales utilizados para contrastar los valores encontrados en la recopilación de información, asociado a la calidad ambiental del sedimento en bahía Algodonales.

Tabla 4.1-6 Normativa nacional e internacional utilizada para contrastar los parámetros de calidad ambiental del sedimento marino en bahía Algodonales

Parámetros	Unidad	MOP, 1994	Persaud, 1993 (Canadá)		CCME, 2002 (Canadá)		Buchman, 2008 (NOAA)		Australia and New Zealand Environment, 2000		Ecological Screening Criteria ASM (New Jersey)	
			LEL	SEL	ISQG	PEL	ERL	ERM	ISQG (Low)	ISQG (High)	ERL	ERM
Arsénico	mg/kg	57	6	33	7,24	41,6	8,2	70	20	70	8,2	70
Cadmio	mg/kg	1	0,6	10	0,7	4,2	1,2	9,6	1,5	10	1,2	9,6
Cromo Total	mg/kg	55	26	110	52,3	160	81	370	80	370	81	370
Cobre	mg/kg	130	16	110	18,7	108	34	270	65	270	34	270
Zinc	mg/kg	160	120	820	124	271	150	410	200	410	150	410
Plomo	mg/kg	66	31	250	30,2	112	46,7	218	50	220	47	218
Mercurio	mg/kg	0,2	0,2	2	0,13	0,7	0,15	0,71	0,15	1	0,15	0,71
Níquel	mg/kg	35	16	75	-	-	20,9	51,6	21	52	21	52
Hierro	mg/kg	-	20000	40000	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganeso	mg/kg	-	460	1100	-	-	-	-	-	-	-	260
Plata	mg/kg	-	-	-	-	-	1	3,7	1	3,7	1	3,7
Antimonio	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	2	25	-	9,3
Aluminio	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8
Carbono Orgánico Total	%	-	1	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg/kg	-	550	4800	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/kg	-	600	2000	-	-	-	-	-	-	-	-
Aldrin	mg/kg	-	0,002	8	-	-	-	-	-	-	-	-
BHC	mg/kg	-	0,003	12	-	-	-	-	-	-	-	-

Parámetros	Unidad	MOP, 1994	Persaud, 1993 (Canadá)		CCME, 2002 (Canadá)		Buchman, 2008 (NOAA)		Australia and New Zealand Environment, 2000		Ecological Screening Criteria ASM (New Jersey)	
			LEL	SEL	ISQG	PEL	ERL	ERM	ISQG (Low)	ISQG (High)	ERL	ERM
α-BHC	mg/kg	-	0,006	10	-	-	-	-	-	-	-	-
β-BHC	mg/kg	-	0,005	21	-	-	-	-	-	-	-	-
Clordano	mg/kg	-	0,007	6	0,00226	0,00479	0,0005	0,006	0,0005	0,006	-	-
DDT Total	mg/kg	-	0,007	12	-	-	-	-	0,0016	0,046	0,0016	0,046
op + pp-DDT	mg/kg	-	0,008	71	0,00119	0,00477	-	-	-	-	-	-
pp-DDD	mg/kg	-	0,008	6	-	-	-	-	-	-	-	-
pp-DDE	mg/kg	-	0,005	19	-	-	-	-	-	-	-	-
Dieldrin	mg/kg	-	0,002	91	0,00071	0,0043	0,00002	0,008	0,00002	0,008	-	-
Endrin	mg/kg	-	0,003	130	0,00267	0,00624	-	-	0,00002	0,008	-	-
HCB	mg/kg	-	0,02	24	-	-	-	-	-	-	-	-
Mirex	mg/kg	-	0,007	130	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB Total	mg/kg	-	0,07	530	-	-	-	-	-	-	-	-
op + pp-DDE	mg/kg	-	-	-	0,00207	0,00374	-	-	-	-	-	-
op + pp-DDD	mg/kg	-	-	-	0,00122	0,00781	-	-	0,002	0,02	-	-
Lindano	mg/kg	-	-	-	0,00032	0,00099	-	-	0,00032	0,001	-	-
Antraceno	mg/kg	-	0,22	370	0,0469	0,245	0,085	1,1	0,085	1,1	0,085	1,1
Benzo(a)antraceno	mg/kg	-	0,32	1480	0,0748	0,693	0,261	1,6	0,261	1,6	0,261	1,6
Benzo(k)fluorantreno	mg/kg	-	0,24	1340	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	mg/kg	-	0,37	1440	0,0888	0,763	0,43	1,6	0,43	1,6	0,43	1,6

Parámetros	Unidad	MOP, 1994	Persaud, 1993 (Canadá)		CCME, 2002 (Canadá)		Buchman, 2008 (NOAA)		Australia and New Zealand Environment, 2000		Ecological Screening Criteria ASM (New Jersey)	
			LEL	SEL	ISQG	PEL	ERL	ERM	ISQG (Low)	ISQG (High)	ERL	ERM
Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg	-	0,17	320	-	-	-	-	-	-	-	-
Criseno	mg/kg	-	0,34	460	0,108	0,846	0,384	2,8	0,384	2,8	0,384	2,8
Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	-	0,06	130	0,00622	0,135	0,063	0,26	0,063	0,26	-	-
Fluoranteno	mg/kg	-	0,75	1020	0,113	1,494	0,6	5,1	0,6	5,1	0,6	5,1
Fluoreno	mg/kg	-	0,19	160	0,0212	0,144	0,019	0,54	0,019	0,54	0,019	0,54
Indeno (1,2,3-C,D)pireno	mg/kg	-	0,2	320	-	-	-	-	-	-	-	-
Fenantreno	mg/kg	-	0,56	950	0,0867	0,544	0,24	1,5	0,24	1,5	0,24	1,5
Pireno	mg/kg	-	0,49	850	0,153	1,398	0,665	2,6	0,665	2,6	0,665	2,6
PAH Total	mg/kg	-	4	10000	-	-	-	-	4	45	-	-
Acenafteno	mg/kg	-	-	-	0,00671	0,0889	0,016	0,5	0,016	0,5	0,016	0,5
Acenaftileno	mg/kg	-	-	-	0,00587	0,128	0,044	0,64	0,044	0,64	0,044	0,64
2-Metilnaftaleno	mg/kg	-	-	-	0,0202	0,201	0,07	0,67	-	-	0,07	0,67
Naftaleno	mg/kg	-	-	-	0,0346	0,391	0,16	2,1	0,16	2,1	0,16	2,1

En la Figura 4.1-83 y en la Tabla 4.1-7 se adjuntan los distintos datos de mediciones de parámetros de calidad de agua recopilados y los puntos de referencia utilizados para el análisis espacial de las distintas concentraciones encontradas.

Tabla 4.1-7: Puntos de referencia utilizados en la descripción de la información de calidad química de sedimentos recopilada.

ID	UTM N(m)	UTM E(m)	Nombre Ubicación	Punto Poal	Inicio Registro	Fin Registro
1	7.552.846	374.223	Lipesed	-	-	-
2	7.554.267	374.723	Playa Covadonga	-	-	-
3	7.555.510	374.468	Frente Villa Las Rocas	140-S-To	15-02-1999	25-10-2017
4	7.555.664	374.582	Frente Villa Chilex	130-S-To	15-02-1999	13-05-2016
5	7.556.372	374.691	Lado Derecho Muelle Carbón	110-S-To	15-02-1999	25-10-2017
6	7.556.378	375.464	Muelle SOQUIMICH	100-S-To	15-02-1999	25-10-2017
7	7.556.597	375.806	Muelle Pesquero	080-S-To	01-10-1993	01-04-1994
8	7.556.844	376.034	Estadio	060-S-To	01-10-1993	01-04-1994
9	7.557.336	375.944	Altura Calle Washington	050-S-To	15-02-1999	25-10-2017
10	7.559.372	376.759	Playa Punta Paraguas	007-S-To	07-12-2016	25-10-2017
11	7.559.378	376.772	Estación Control Punta Duendes	013-S-To	17-10-2013	25-10-2017
12	7.561.314	376.634	Caleta Vieja	-	-	-
13	7.562.719	377.049	Cenizales	-	-	-

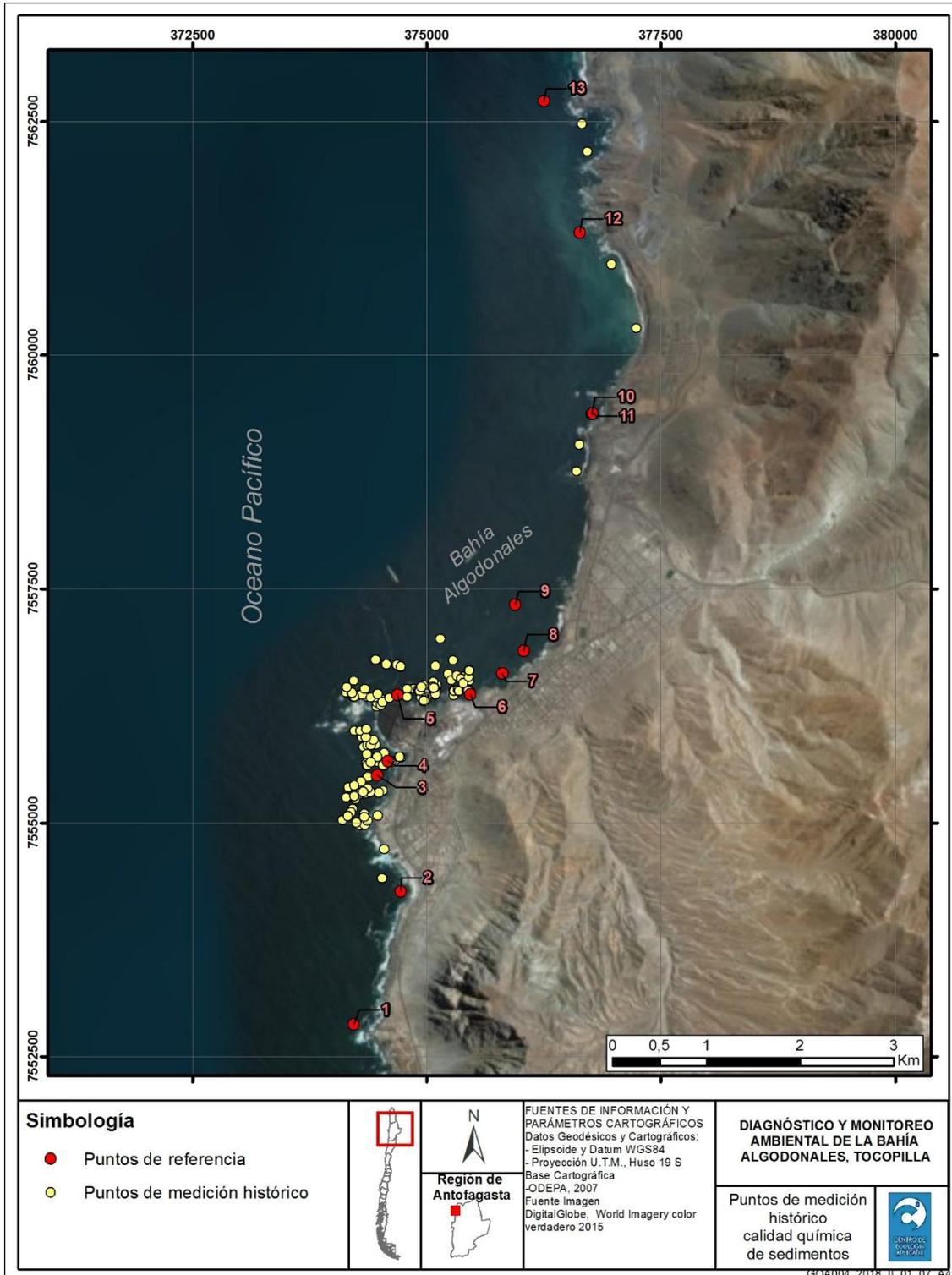


Figura 4.1-83: Puntos de medición históricos recopilados de calidad química de sedimentos (puntos amarillos) y puntos de referencia utilizados (puntos rojos).

g) Hidrocarburos

· Hidrocarburos Totales

Los sedimentos submareales registraron concentraciones de Hidrocarburos Totales que presentaron una amplia variación entre 0,5 mg/kg (bajo el límite de detección) registrado durante el año 2011, y una concentración máxima histórica de 457 mg/kg detectados en el punto 100-S-To durante 2010. En este sentido se observa que las mayores concentraciones, sin considerar el máximo histórico, se registran en una amplia zona que se extiende entre los puntos de referencia 3 y 12, esto es entre Frente Villa las Rocas y Caleta Vieja, respectivamente (Figura 4.1-84, abajo).

En términos promedio temporales, se observan dos periodos históricos en los cuales la concentración promedio creció gradualmente hasta 2 máximos históricos, durante 2010 y 2017, además de estos ciclos en términos del periodo completo no se observa una tendencia central (Figura 4.1-84, arriba).

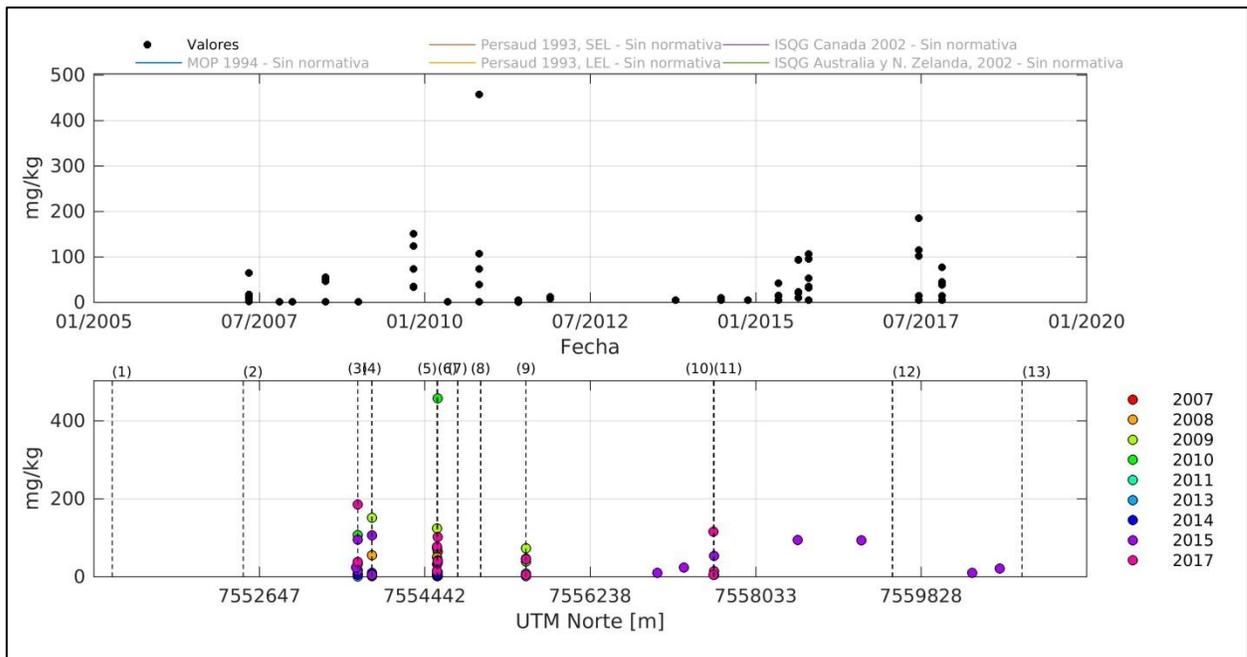


Figura 4.1-84. Concentración de Hidrocarburos Totales en sedimentos intermareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En el caso de los Hidrocarburos en su fracción total no se registran valores de concentración en sedimentos normados por la legislación revisada (Figura 4.1-85).

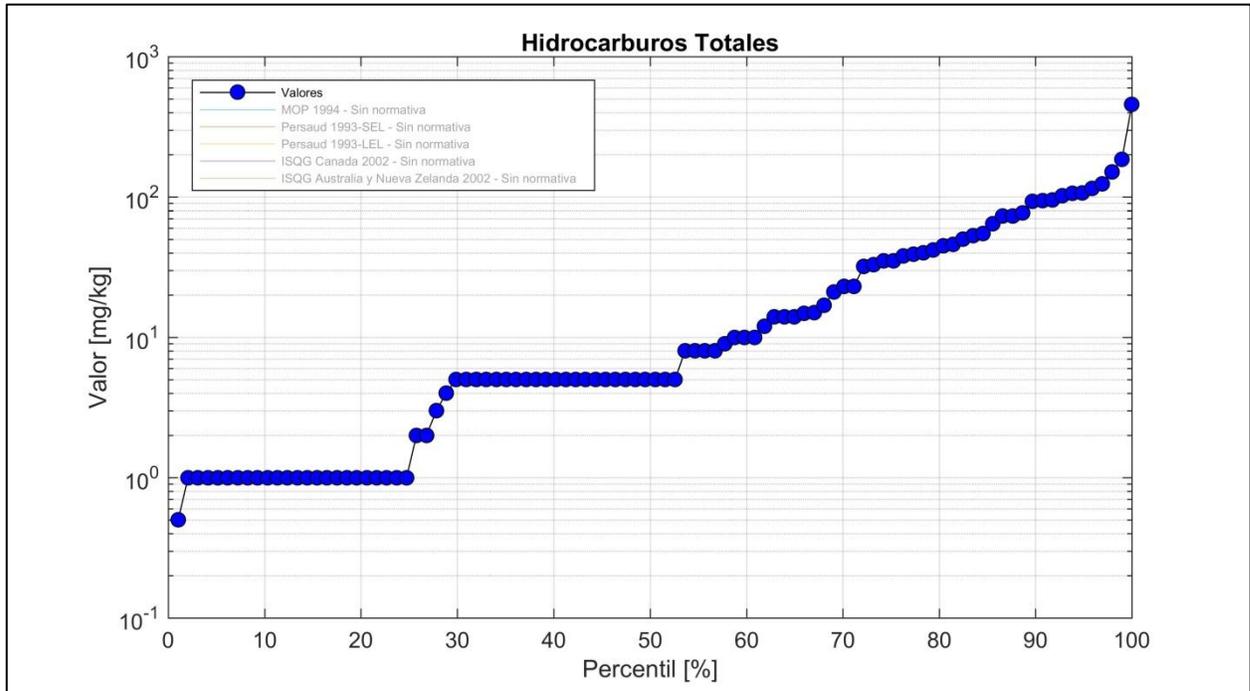


Figura 4.1-85. Concentración de Hidrocarburos Totales en sedimentos intermareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

· Hidrocarburos Aromáticos Totales

Los datos históricos de la concentración de Hidrocarburos Aromáticos en su fracción total en sedimentos submareales en la bahía solo se adscriben a valores bajo el límite de detección en todas sus campañas (<1,00 mg/kg). En este mismo sentido no se analiza la variación temporal, y debido a los bajos valores y su homogeneidad tampoco se analiza su variación espacial (Figura 4.1-86).

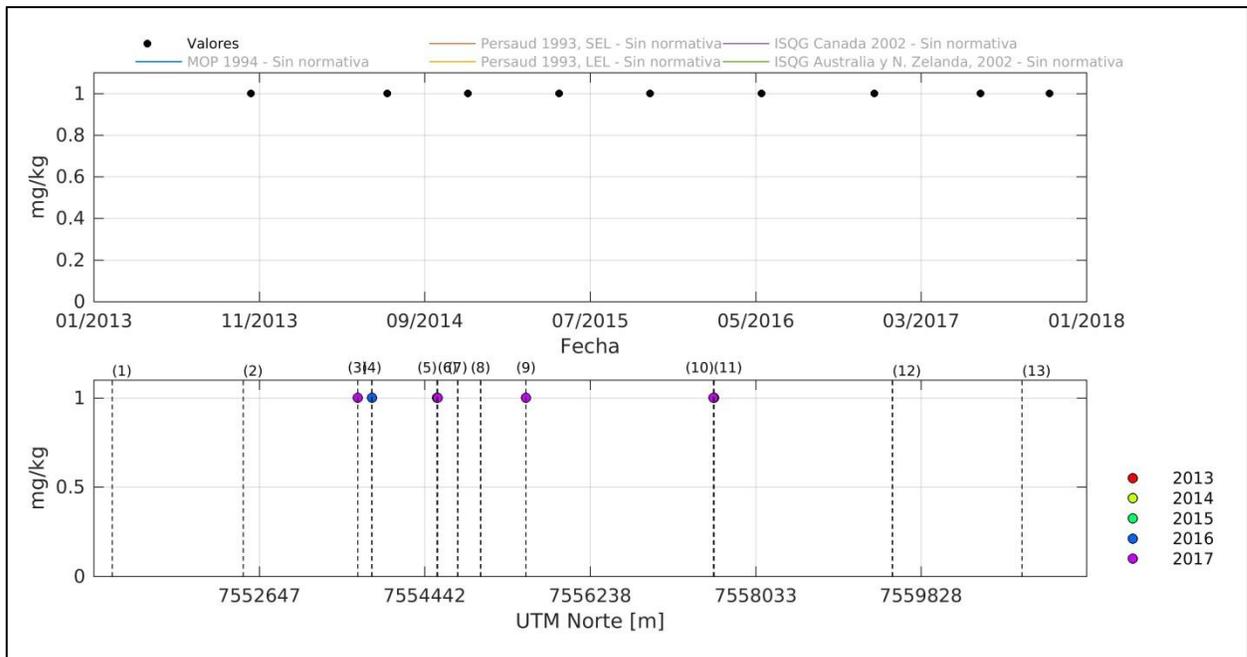


Figura 4.1-86. Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Totales en sedimentos intermareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En la legislación revisada no se encontraron registros de umbrales de concentración permitida en sedimentos para Hidrocarburos Aromáticos en fracción total (Figura 4.1-87).

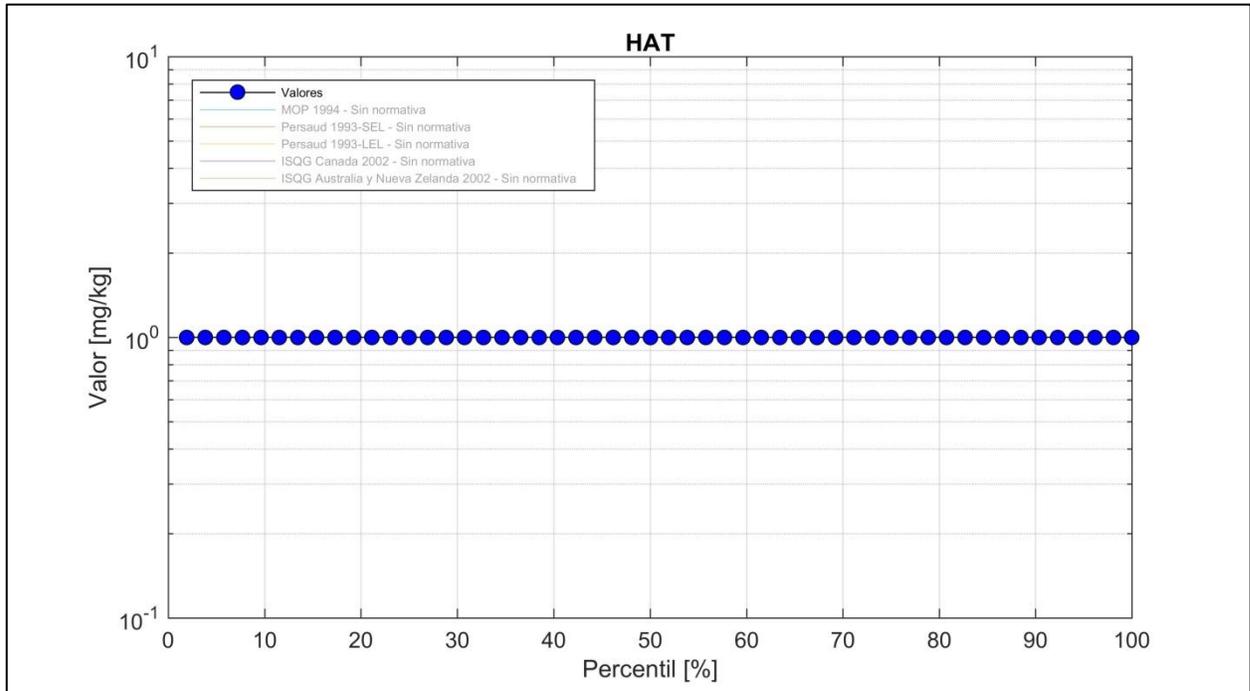


Figura 4.1-87. Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Totales en sedimentos intermareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

h) Metales y metaloides

Los metales y metaloides en sedimentos tienen su origen desde fuentes geológicas naturales y también desde fuentes de contaminación costera comúnmente derivada principalmente de actividades industriales y residuos orgánicos. En el sedimento marino los metales son acumulados activamente, dependiendo de las condiciones físicas y químicas del ambiente (Guinez et al. 2015) (Buccolieri et al. 2006), de esta manera, los cambios de temperatura, pH, potencial redox, tipo de sedimento, actividad microbológica, entre otros factores, pueden conducir a la liberación de metales desde la fase sólida a la fase acuosa (Jamshidi-Zanjani et al. 2014). La importancia de estudiar los metales y metaloides en sedimentos radica en que son fuente de acumulación y existen de forma inestable lo que lo hace disponible para su incorporación en el ciclo de la fauna bentónica, y también permite evaluar el historial de contaminación del sistema acuático (Valdés et al. 2005).

· Arsénico

Las concentraciones de arsénico en los sedimentos submareales de la bahía Algodonales históricamente han variado entre un valor mínimo de 0,01 mg/kg al sur de Punta Algodonales (punto de referencia N°4) registrado en 2001 y un máximo de 604,00 mg/kg registrado al sur de Playa Punta Paraguas (punto de referencia N°11) en 2015. En este sentido se observa que las mayores concentraciones se han registrado en el sector centro de la bahía entre los puntos de referencia 6 y 11, esto es entre “Muelle SOQUIMICH” y Punta Duende, respectivamente (Figura 4.1-88, abajo).

En términos temporales, en promedio, las menores concentraciones se registraron durante 2001 y 2009 y las mayores durante 2014, con las mayores concentraciones históricas en el periodo comprendido entre 2013 y 2015 (Figura 4.1-88, arriba).

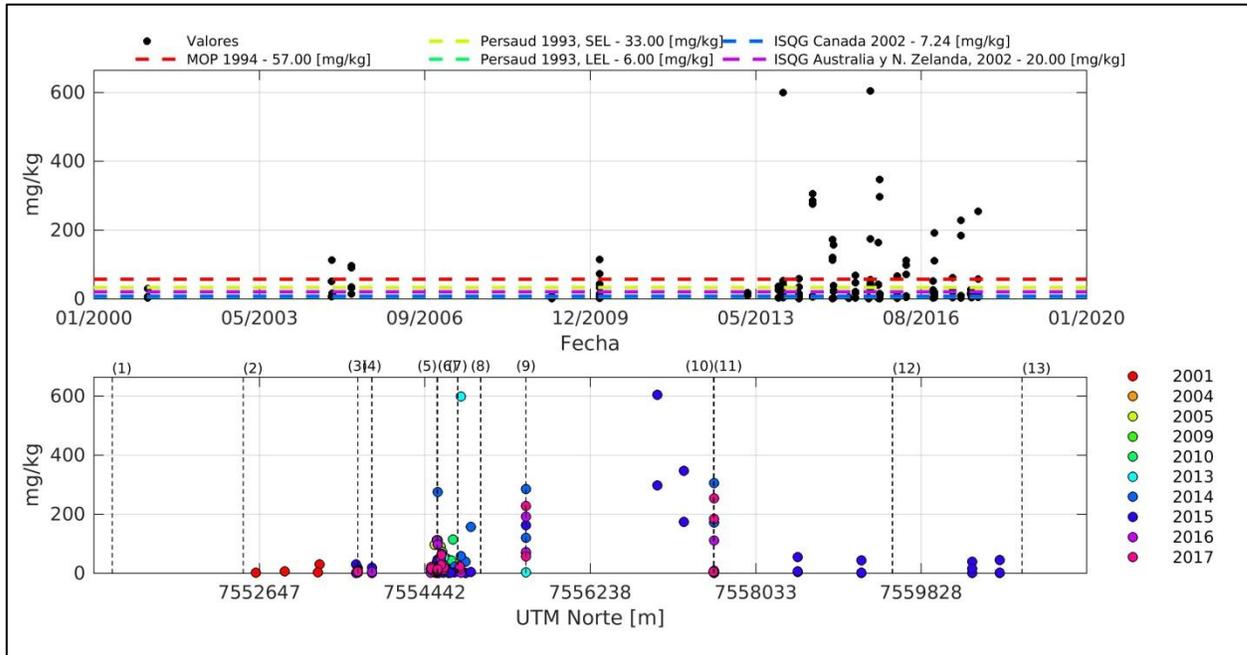


Figura 4.1-88. Concentración de arsénico en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas.

En cuanto a los umbrales de concentraciones máximas encontrados en los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el 69% de los registros históricos de concentración de arsénico en los sedimentos han estado por sobre el valor máximo sugerido por Persaud (1993) sobre el cual se registran efectos leves sobre los organismos, siendo este umbral el más restrictivo. Por otra parte, en cuanto a la normativa nacional, el límite máximo definido por MOP (1994) se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de arsénico en sedimentos se refiere, en este caso, el 21% de los registros históricos superan este valor máximo permitido (Figura 4.1-89).

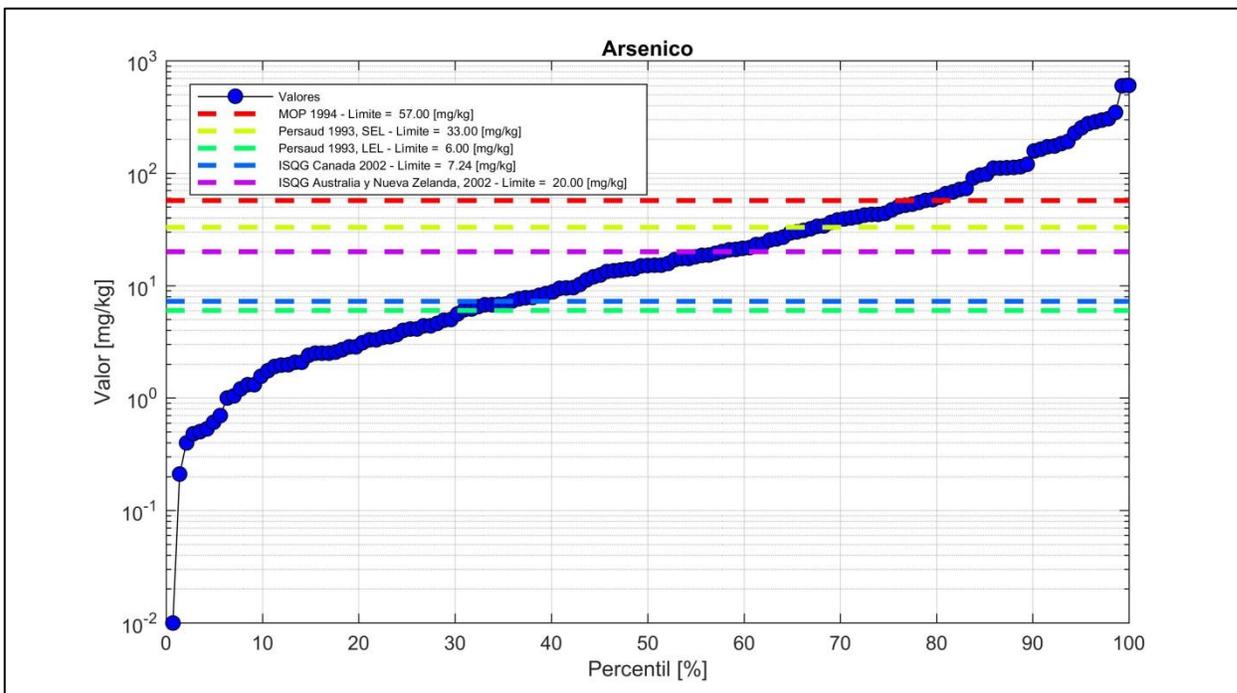


Figura 4.1-89. Concentración de arsénico disuelto en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993), ISQG Canadá (2002) e ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

Cadmio

Las concentraciones del Cadmio en los sedimentos submareales de la bahía Algodonales históricamente han variado entre mínimos bajo el límite de detección analítico (<0,01 mg/kg) registrado en diversos puntos durante 2000 y un máximo de 169,20 mg/kg registrado entorno a la zona del Muelle SOQUIMICH (punto de referencia N° 7) en 2001. Con lo anterior se observa que las mayores concentraciones se han registrado en el sector centro de la bahía entre los sectores Frente Villa Las Rocas y Estadio, puntos de referencia 3 y 8, respectivamente. (Figura 4.1-90, abajo).

En términos de la variabilidad temporal las menores concentraciones promedio se registraron en los años 2000, 2006 y 2011 y las mayores durante 2001 y 2015 (Figura 4.1-90, arriba).

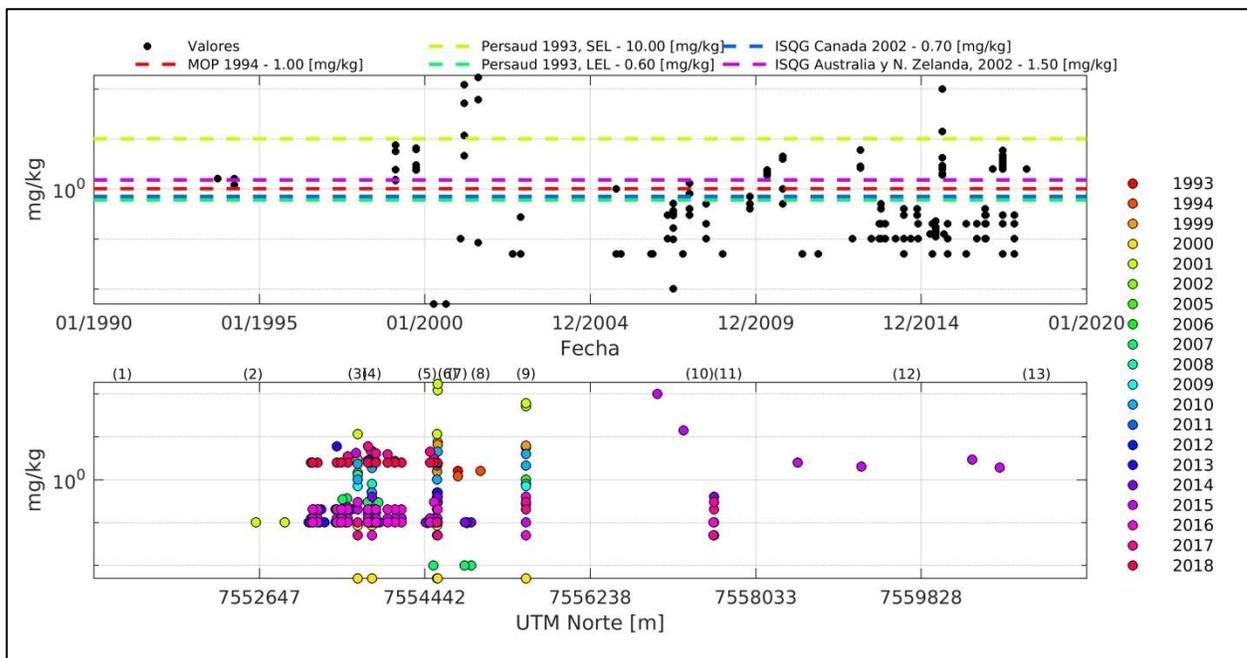


Figura 4.1-90. Concentración de Cadmio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas.

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración en las normas analizadas, se observa que el 24% de los valores registrados en el periodo de monitoreo histórico de Cadmio en los sedimentos han estado por sobre el valor máximo permitido, considerando en primer lugar el límite más restrictivo sugerido por Persaud (1993; efecto leve sobre los organismos). En cuanto a la normativa nacional, el máximo definido por MOP (1994) de concentración de Cadmio en sedimentos fue superado por el 23% de los registros históricos (Figura 4.1-91).

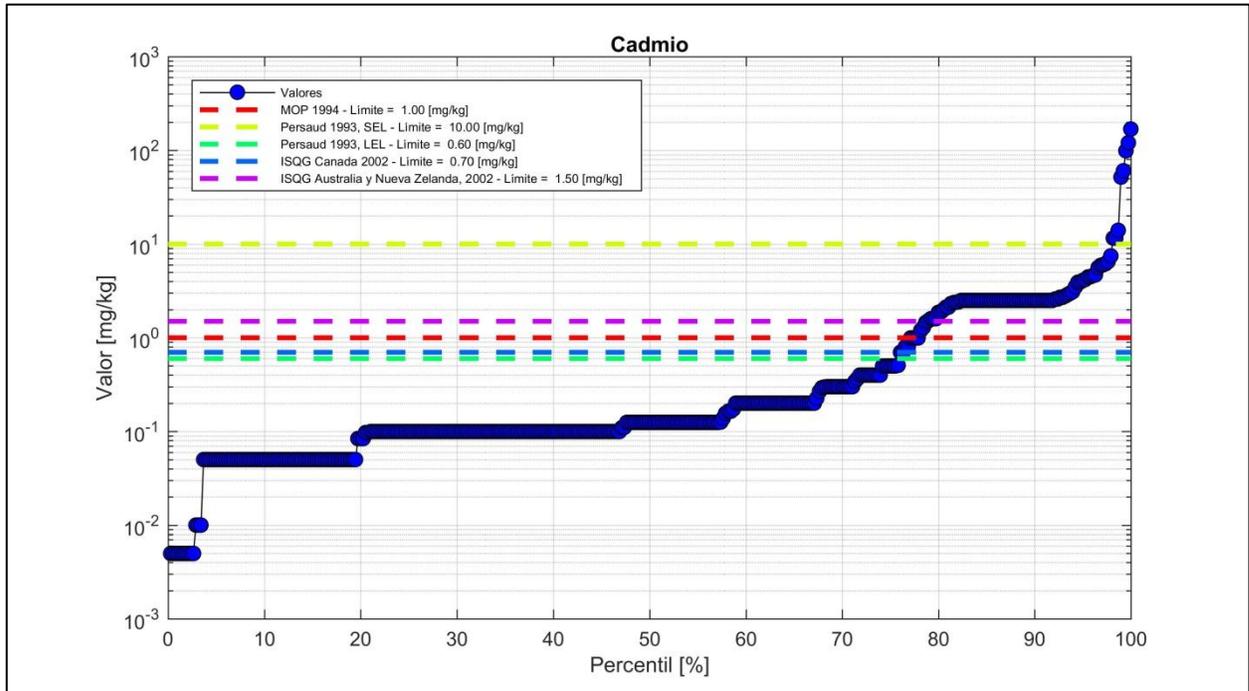


Figura 4.1-91. Concentración de Cadmio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993), ISQG Canadá (2002) e ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

· Cobre

Los sedimentos submareales registraron concentraciones de cobre que presentaron una amplia variación entre 0,10 mg/kg (bajo el límite de detección) registrado durante el año 2015, y 11.557 mg/kg detectados en el punto 060-S-To durante 1994. En este sentido se observa que las mayores concentraciones se registran en una zona que se extiende en casi la totalidad de la bahía, entre los puntos de referencia 5 y 10, esto es entre Muelle Carbón y Punta Paraguas, respectivamente (Figura 4.1-92, abajo).

En términos promedio temporales fue durante el comienzo del periodo de medición cuando se observaron las mayores concentraciones, esto fue durante 1993, 1994 y 1999. Luego desde el año 2000 en adelante las concentraciones promedio no vuelven a repetir valores similares, observándose el promedio mínimo durante 2017. Además, se observa cierto grado de ciclicidad con peaks en los años 2001, 2007 y 2014 y mínimos entre los periodos (Figura 4.1-92, arriba).

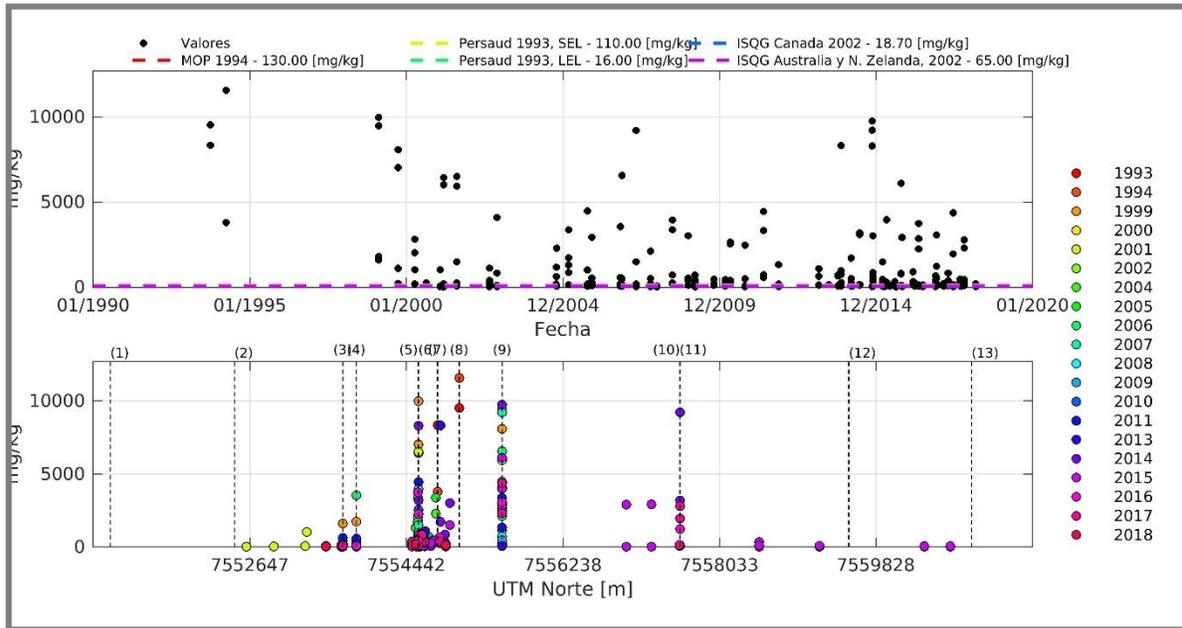


Figura 4.1-92. Concentración de Cobre en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas.

En lo que se refiere a los umbrales de concentración máximas normadas, se observa que el 97% de los registros históricos de concentración de Cobre en los sedimentos han estado por sobre el valor máximo sugerido por Persaud (1993) sobre el cual se registran efectos leves sobre los organismos, siendo este umbral el más restrictivo. Por otra parte, el límite máximo nacional definido por MOP (1994) se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Cobre en sedimentos se refiere, en este caso, el 64% de los registros históricos superan este valor máximo permitido (Figura 4.1-93).

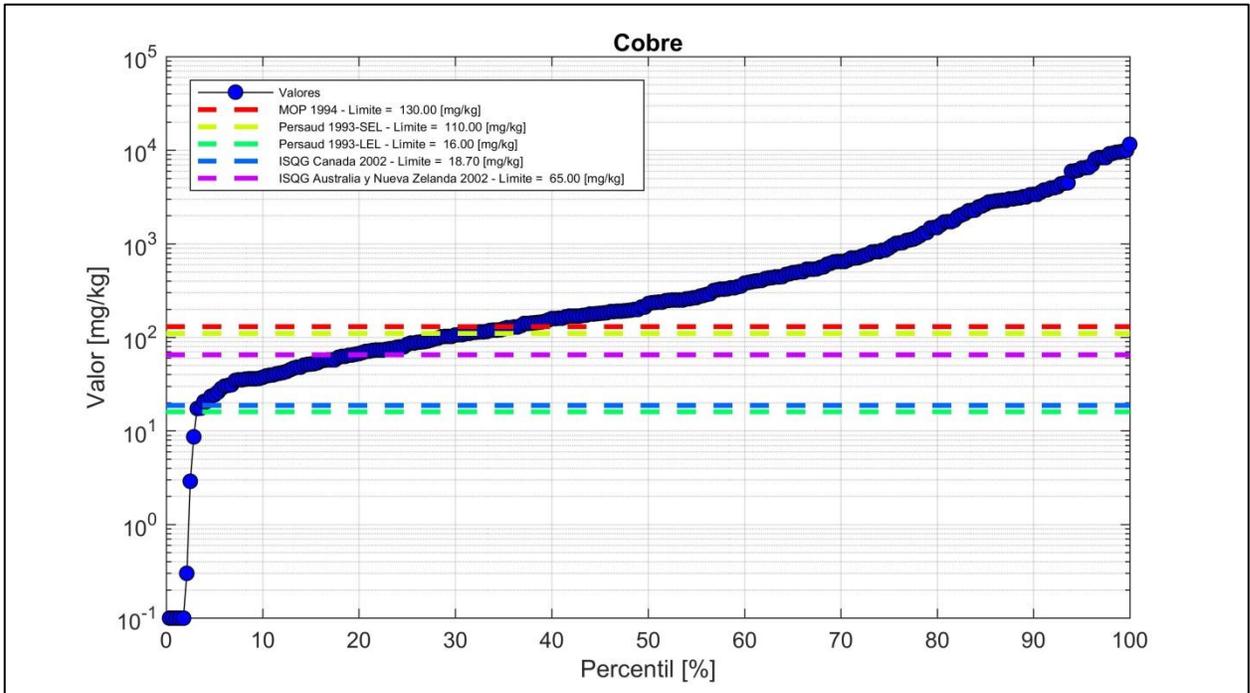


Figura 4.1-93. Concentración de Cobre en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993), ISQG Canadá (2002) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

Cromo

Los sedimentos submareales históricamente registraron concentraciones de Cromo cuyo rango osciló entre valores bajo el límite de detección (<0,25 mg/kg) durante 2010 y 544,92 mg/kg registrado en el punto 110-S-To durante 2001. Considerando esto, y en particular incluyendo la campaña 2015, se observa que las mayores concentraciones se registran en casi la totalidad del área de estudio, con excepción del sector más al sur, entre Lipesed y Villa Las Rocas (Figura 4.1-94, abajo).

En términos promedio temporales, al igual que el cobre, se observan los mayores valores al comienzo del periodo de medición durante 1993, 1999 y 2001. Luego desde el año 2002 en adelante las concentraciones promedio muestran una tendencia hacia la disminución, con la salvedad de un peak durante el año 2015, registrándose el promedio mínimo durante 2017 (Figura 4.1-94, arriba).

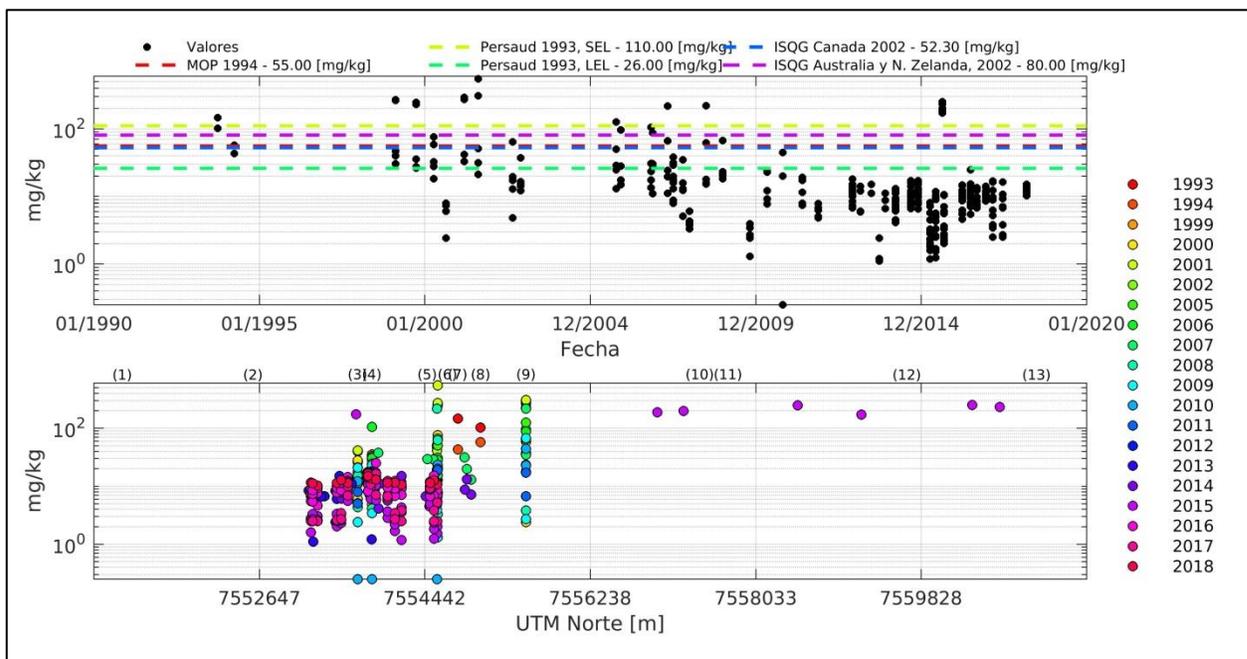


Figura 4.1-94. Concentración de Cromo en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas.

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración en las normas analizadas, se observa que el 16% de los valores registrados en el periodo de monitoreo histórico de Cromo en los sedimentos han estado por sobre el valor máximo permitido, considerando en primer lugar el límite más restrictivo (Persaud 1993; efecto leve sobre los organismos). Y, en cuanto a la normativa nacional, el máximo definido por MOP (1994) de concentración en sedimentos fue superado por el 8% de los registros históricos (Figura 4.1-95).

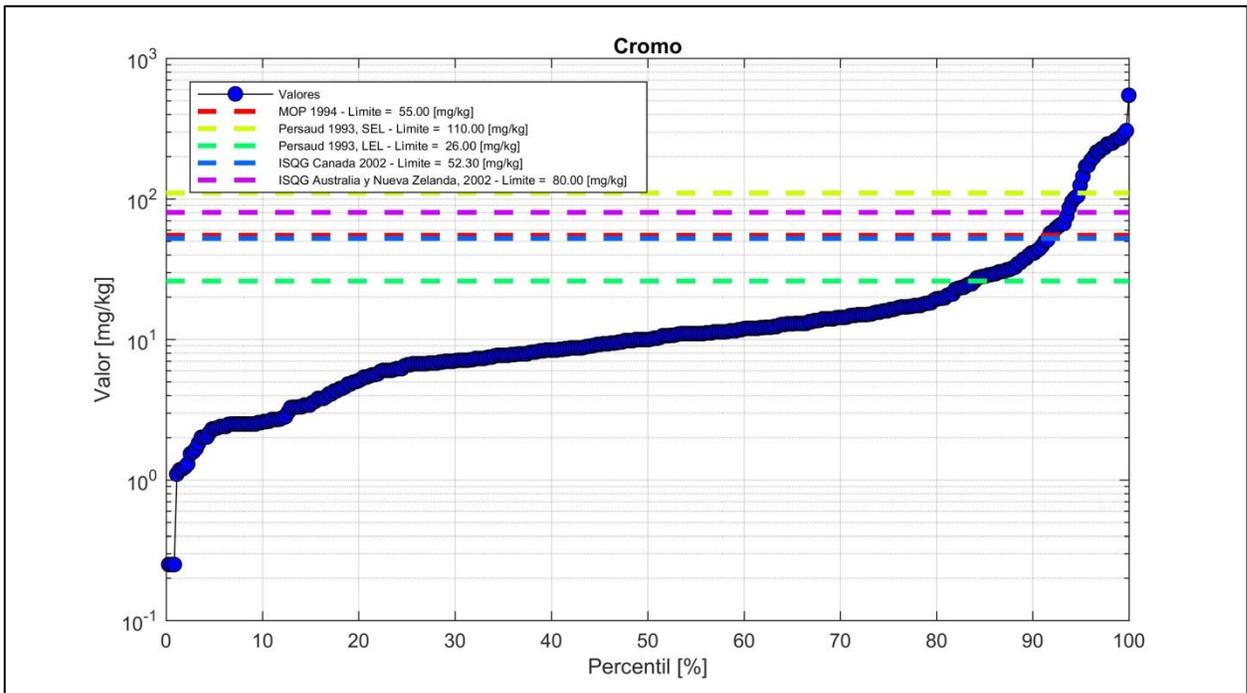


Figura 4.1-95. Concentración de Cromo en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993), ISQG Canadá (2002) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

Hierro

En el caso particular de las concentraciones de Hierro en los sedimentos no se puede analizar históricamente su variación, debido a que se registra tan solo una campaña de monitoreo que incorporó dicho parámetro. En este sentido, la variación fue amplia entre un valor mínimo de 9,98 mg/kg registrado en el punto E-01 y un máximo de 167457 mg/kg registrado en el punto E-05. Con lo anterior se observa que los registros más altos se presentaron en el sector centro norte de la bahía en la cercanía del sector Punta Paraguas (Figura 4.1-96, abajo).

En lo que respecta a la variación temporal, no puede observarse patrón alguno ya que la totalidad de los datos se registró durante una única campaña durante 2015 (Figura 4.1-96, arriba).

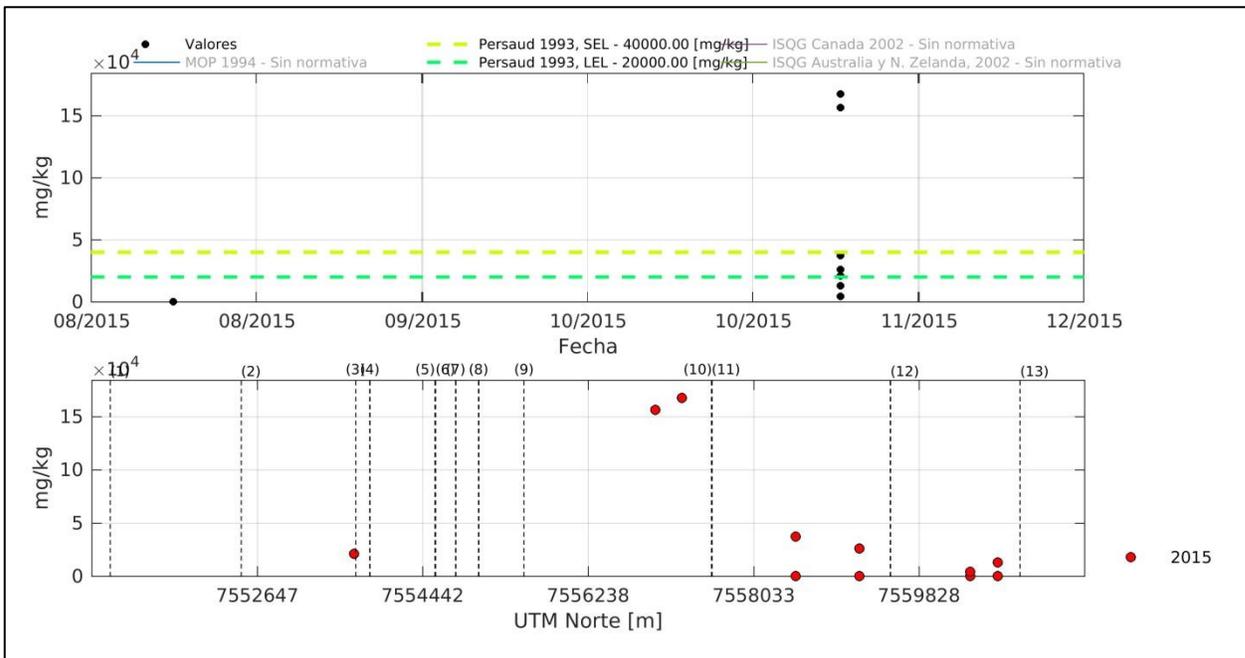


Figura 4.1-96. Concentración de Hierro en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas

En lo que se refiere a los umbrales de concentración máxima normada, se observa que solo existen valores sugeridos por Persaud (1993), en este contexto el 37% de los registros de concentración de Hierro en los sedimentos han estado por sobre el valor máximo sobre el cual se registran efectos leves sobre los organismos (Figura 4.1-97)

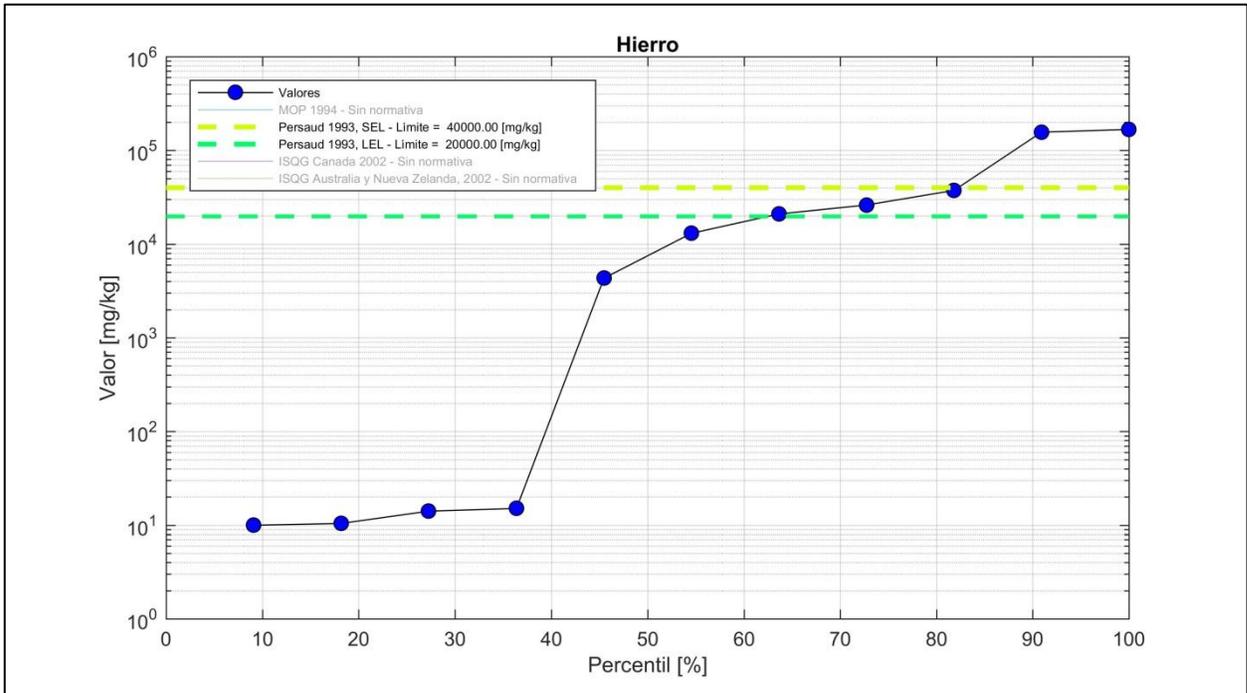


Figura 4.1-97. Concentración de Hierro en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos como SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993).

· Mercurio

Este metal de transición ha presentado concentraciones en los sedimentos submareales de la bahía Algodonales que históricamente han oscilado entre valores bajo del límite de detección en variados puntos y fechas (<0,001 mg/kg), y un valor máximo de 0,890 mg/kg registrado en el punto 110-S-To en 2007. Considerando esto, se observa que las mayores concentraciones se registran en la zona sur de la bahía, principalmente entre Villa Las Rocas y Muelle Carbón (Figura 4.1-98, abajo).

En términos temporales, el promedio anual de las concentraciones no ha presentado un patrón de evolución claro, destaca el año 1999 con el valor más alto, y los mínimos no cuantificables durante los periodos 2000, 2009, 2011 y 2017 (Figura 4.1-98, arriba).

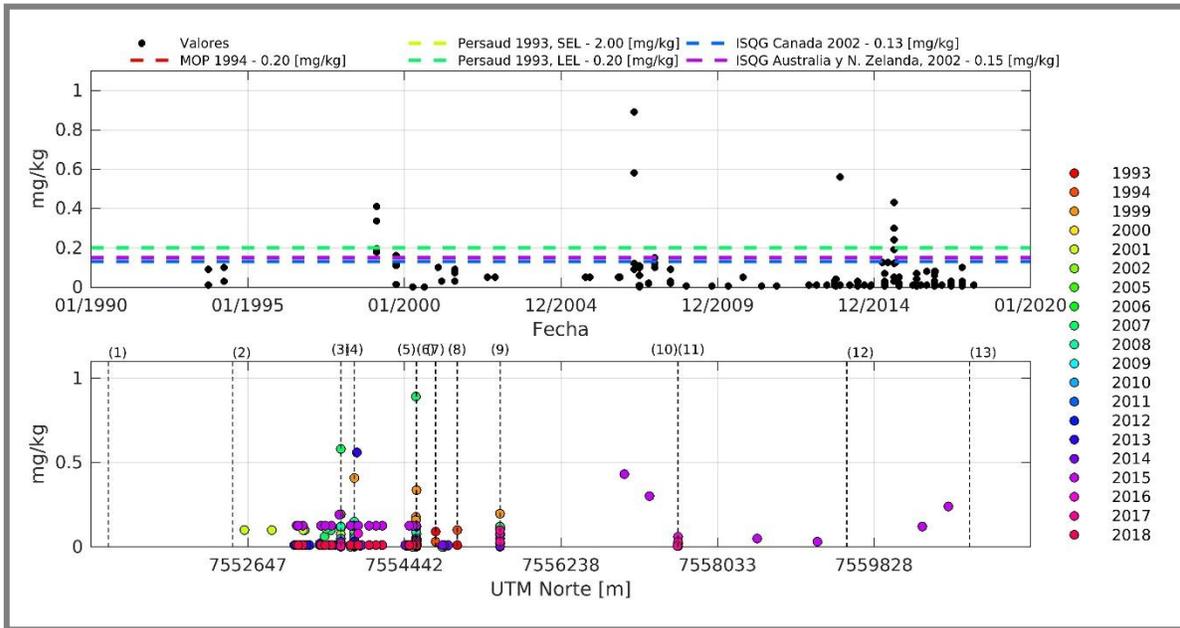


Figura 4.1-98. Concentración de Mercurio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración en las normas analizadas, se observa que, a diferencia de los metales anteriores, en el caso del Mercurio es la norma ISQG Canadiense (2002) la más restrictiva, y en este contexto 14% de los valores registrados en el periodo de monitoreo han estado por sobre el valor máximo permitido. En cuanto a la normativa nacional (MOP, 1994), el máximo fue superado sólo por el 2% de los registros históricos (Figura 4.1-99).

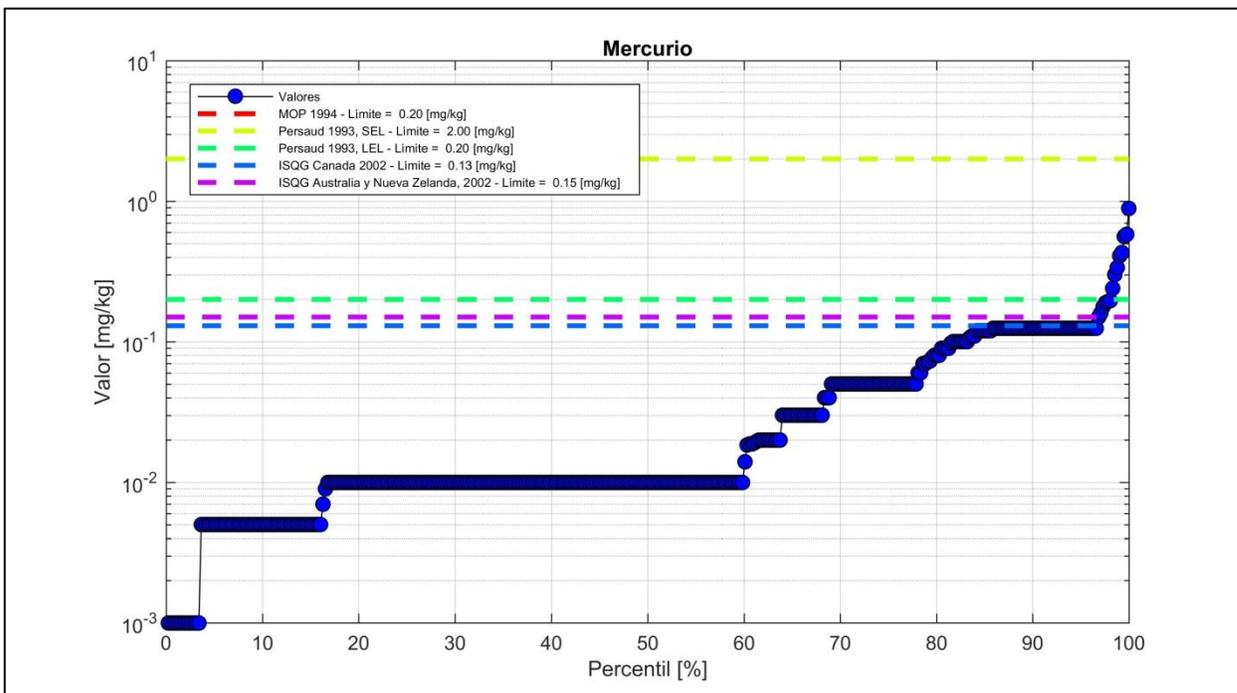


Figura 4.1-99. Concentración de Mercurio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles. No existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

· Níquel

En los sedimentos submareales, las concentraciones de Níquel variaron entre un mínimo bajo el límite de detección analítico (0,10 mg/kg) registrado en S-02 durante 2015 y un máximo de 65,1 mg/kg registrado durante 2016 en el punto S-14. Con lo anterior, además se observa que los registros históricos más altos se presentaron entre el sector de la punta Algodonales y Muelle Carbón (Figura 4.1-100, abajo).

En términos promedio temporales, se observan valores más altos al comienzo del periodo durante 2007 y 2013, luego desde el año 2014 en adelante las concentraciones promedio muestran una tendencia hacia la disminución, con la salvedad de algunos muestreos puntuales durante el año 2015 y 2016, registrándose el promedio mínimo durante 2015 (Figura 4.1-100, arriba).

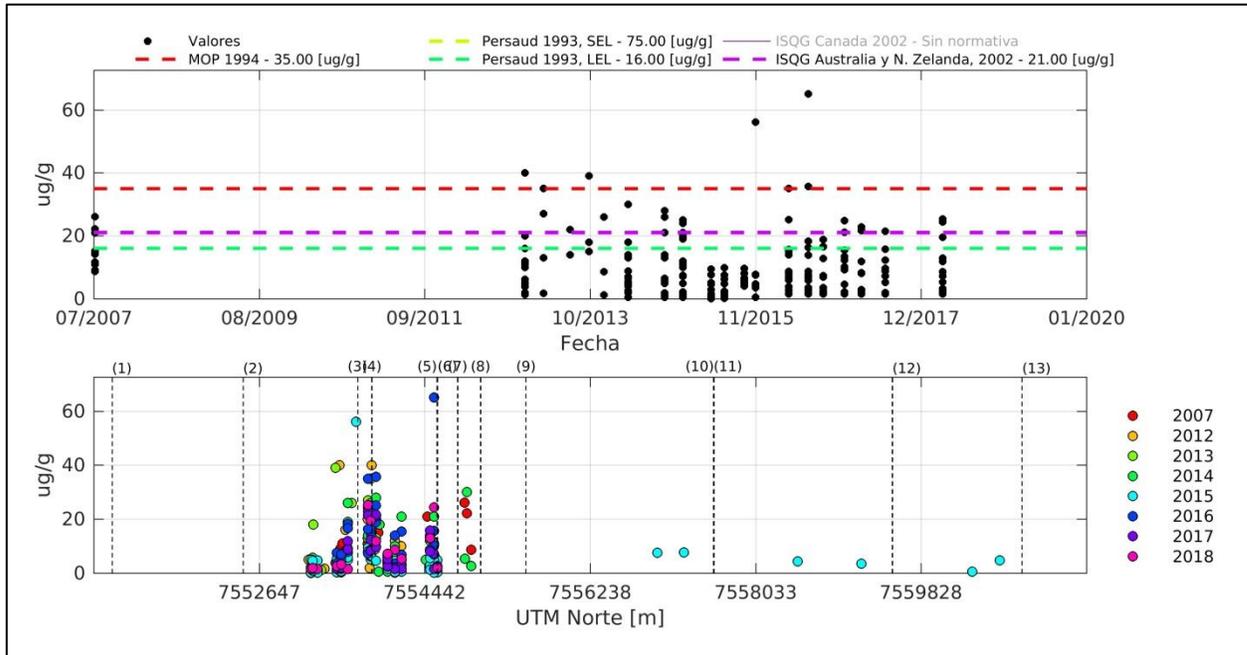


Figura 4.1-100. Concentración de Níquel en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración en las normas analizadas, se observa que el 17% de los valores registrados en el periodo de monitoreo histórico de Cromo en los sedimentos han estado por sobre el valor máximo permitido, considerando en primer lugar el límite más restrictivo (Persaud 1993; efecto leve sobre los organismos). Y, en cuanto a la normativa nacional, el máximo definido por MOP (1994) de concentración en sedimentos fue superado por el 3% de los registros históricos (Figura 4.1-101).

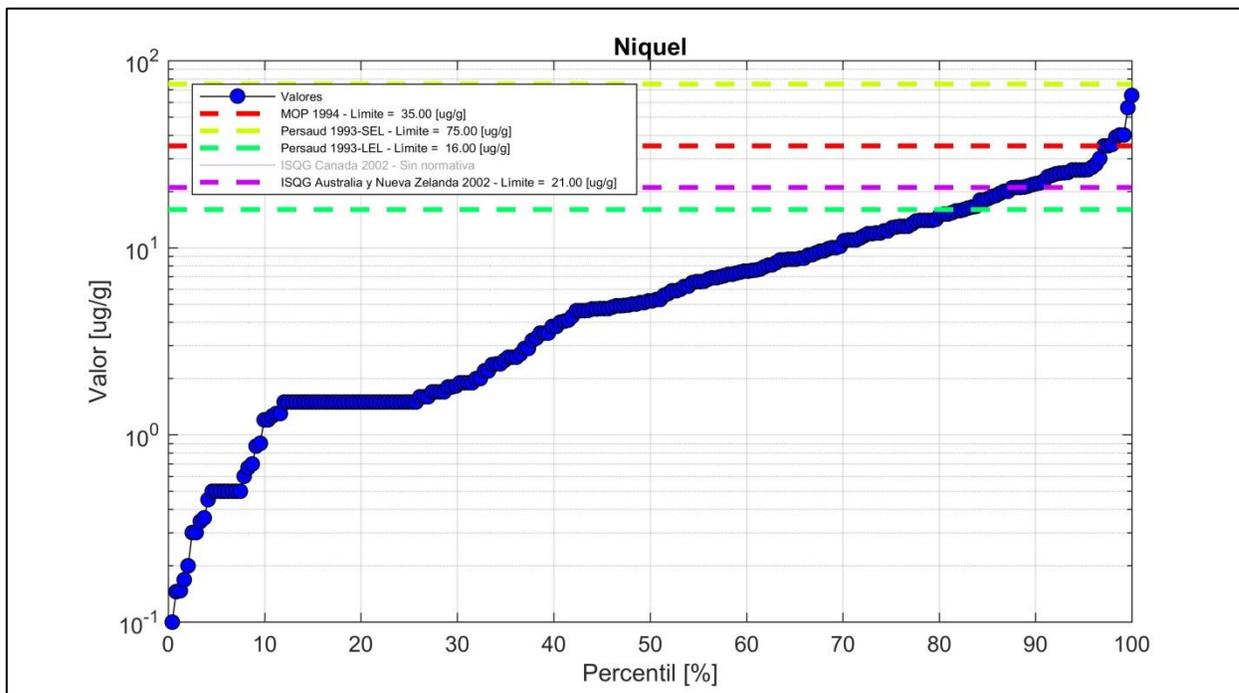


Figura 4.1-101. Concentración de Níquel en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos por SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

· Plomo

En los sedimentos submareales de la bahía de Algodonales, las concentraciones de plomo variaron dentro de un rango definido desde un mínimo bajo el límite de detección (0,10 mg/kg) registrado en los puntos 130-S-To y 100-S-To durante el año 2000, y una concentración máxima histórica de 314,98 mg/kg en el punto 050-S-To en 2001. Con lo anterior se observa que las mayores concentraciones históricas se han registrado en el sector centro norte de la bahía entre Calle Washington y Punta Paraguas, respectivamente (Figura 4.1-102, abajo).

En términos temporales, se registran valores más altos al comienzo del periodo, en particular durante 1999 y 2001, luego desde el año 2002 en adelante las concentraciones promedio permanecen dentro de un rango de valores menores, con excepción de un dato puntual durante el año 2015, registrándose el promedio mínimo durante 2010 y 2018 (Figura 4.1-102, arriba).

Por otro lado, indicaron una tendencia espacial a la disminución de sus valores desde puntos de muestreo ubicados en el sector suroeste de la bahía, donde hay una mayor concentración de actividades antropogénicas, hasta alcanzar menores valores en puntos de muestreo direccionados al noreste de la bahía

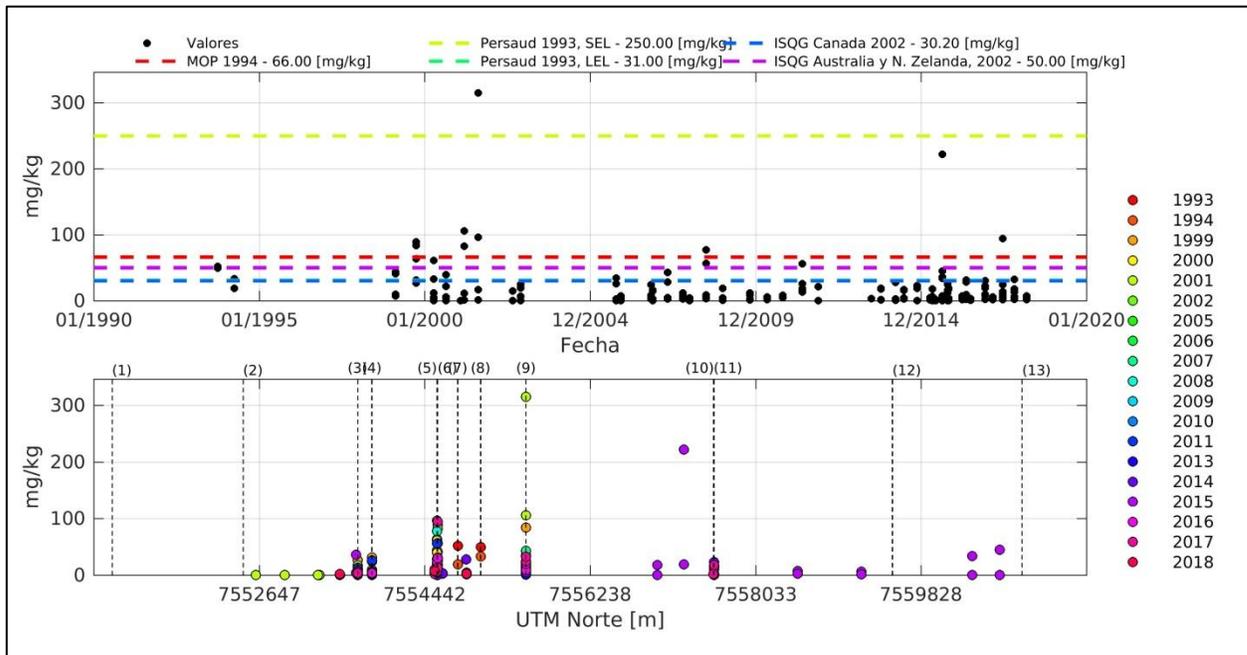


Figura 4.1-102. Concentración de Plomo en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas.

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración en las normas analizadas, se observa que al igual que el caso del Mercurio, en el caso del Plomo la norma más restrictiva es la ISQG Canadiense (2002), en este contexto 14% de los valores registrados en el periodo de monitoreo han estado por sobre este valor máximo permitido. En cuanto a la normativa nacional (MOP, 1994), el máximo fue superado solo por el 4% de los registros históricos (Figura 4.1-103).

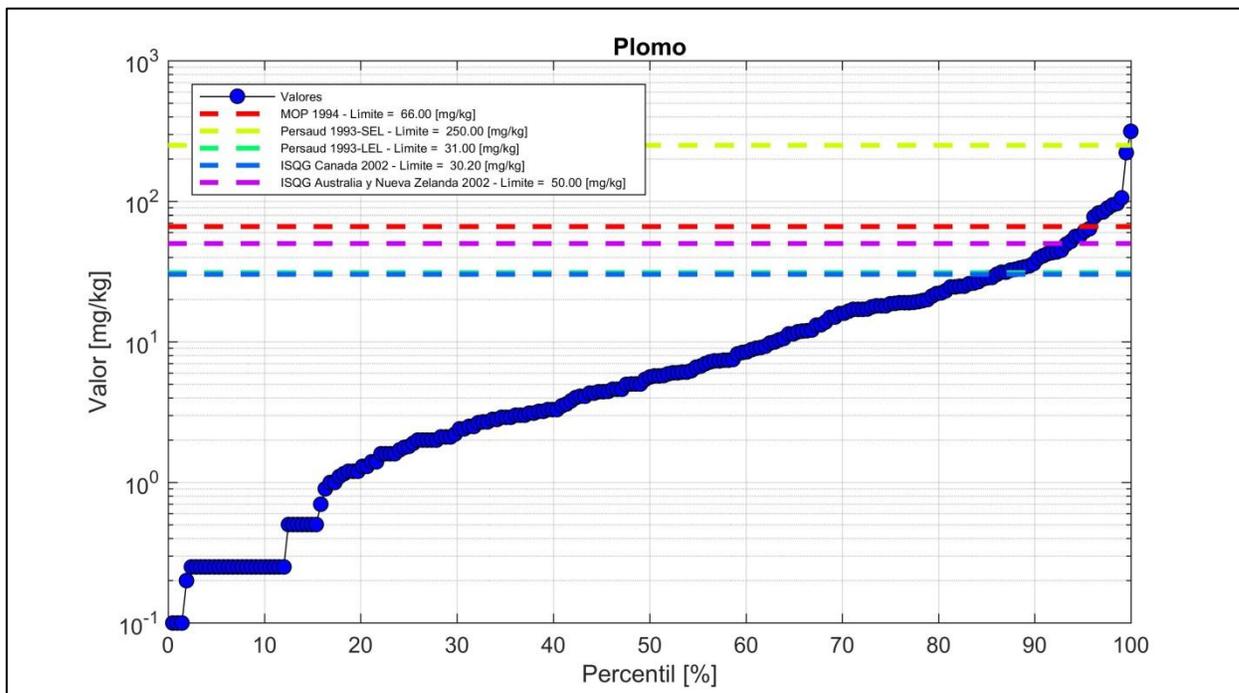


Figura 4.1-103. Concentración de Plomo en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993), ISQG Canadá (2002) e ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

· Selenio

Los datos históricos de Selenio en sedimentos submareales en bahía Algodonales solo se adscriben a los registrados durante una campaña realizada durante 2015, sus resultados estuvieron entre <0,010 mg/kg (límite de detección) y 0,070 mg/kg en el punto E-2, en este mismo sentido no se analiza la variación temporal, y debido a los bajos valores y su homogeneidad tampoco se analiza su variación espacial (Figura 4.1-104).

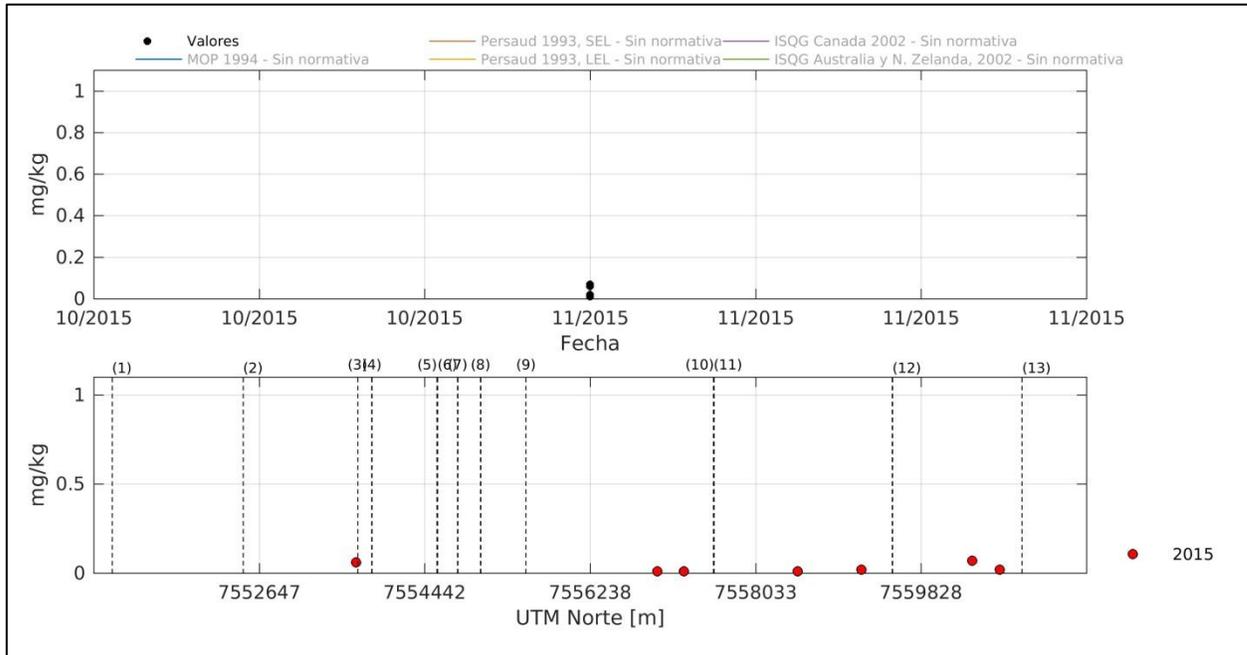


Figura 4.1-104. Concentración de Selenio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En el caso del Selenio no se registran valores de concentración en sedimentos normados por la legislación revisada (Figura 4.1-105).

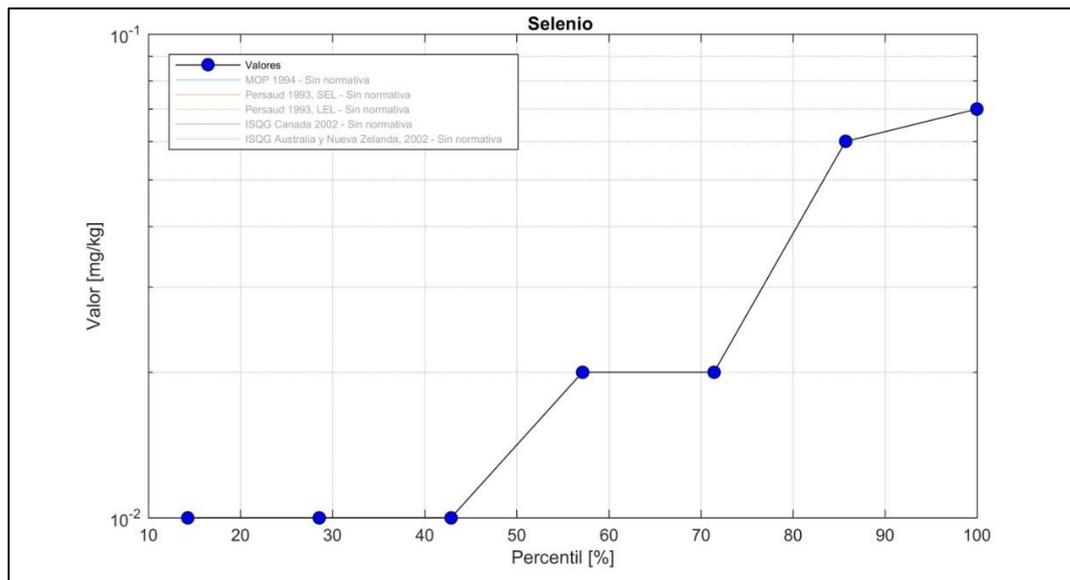


Figura 4.1-105. Concentración de Selenio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles en escala logarítmica.

· Vanadio

Las concentraciones de Vanadio en sedimentos submareales de la bahía Algodonales históricamente han variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección (0,10 mg/kg) registrado en S-09 registrado durante 2015 y un máximo de 435 mg/kg registrado en el punto E-1 también durante 2015. Considerando esto, y en particular incluyendo la campaña 2015 la cual abarca una mayor extensión del área de estudio, se observa que las mayores concentraciones históricas se registran al norte de la bahía, entre los sectores de Punta Duende y Cenizales (Figura 4.1-106, abajo).

En lo que respecta a la variación temporal, la concentración promedio dentro del periodo 2007 y 2018 ha permanecido estable dentro de un rango acotado, alterado únicamente por las altas concentraciones puntuales registradas durante 2015 las que aumentaron la dispersión de los datos, pero no su valor promedio en ese año (Figura 4.1-106, arriba).

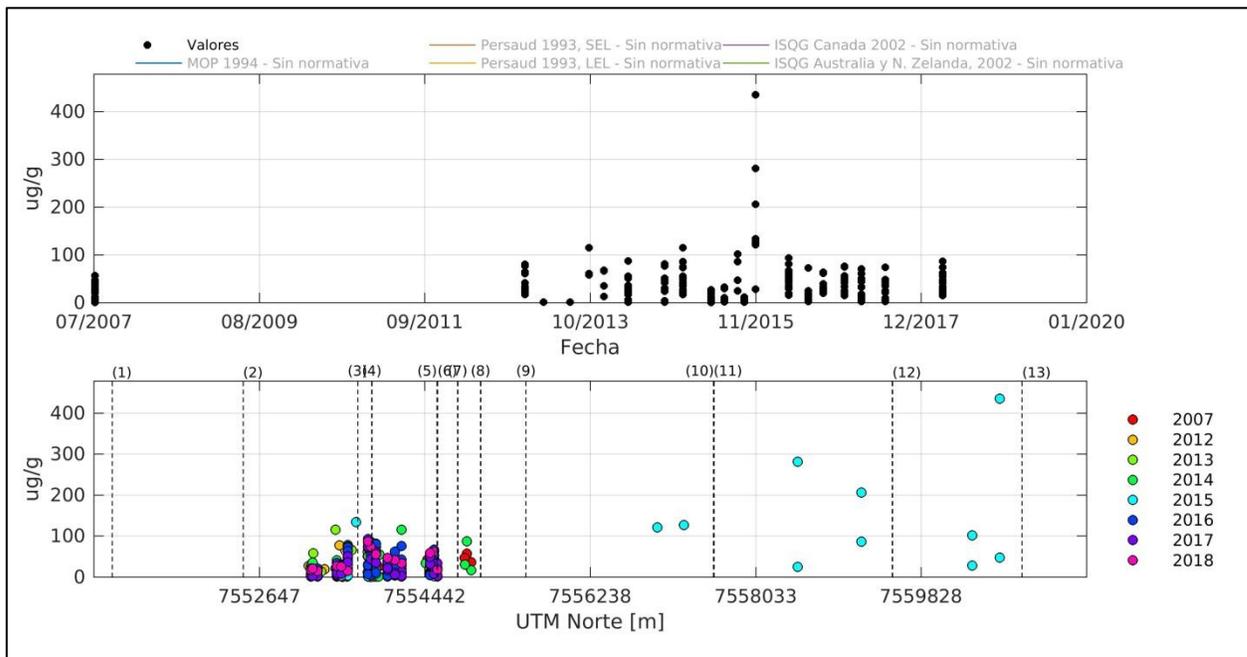


Figura 4.1-106. Concentración de Vanadio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

Al igual que en el caso del Selenio, el Vanadio no registran valores de concentración en sedimentos regidos por la normativa revisada (Figura 4.1-107).

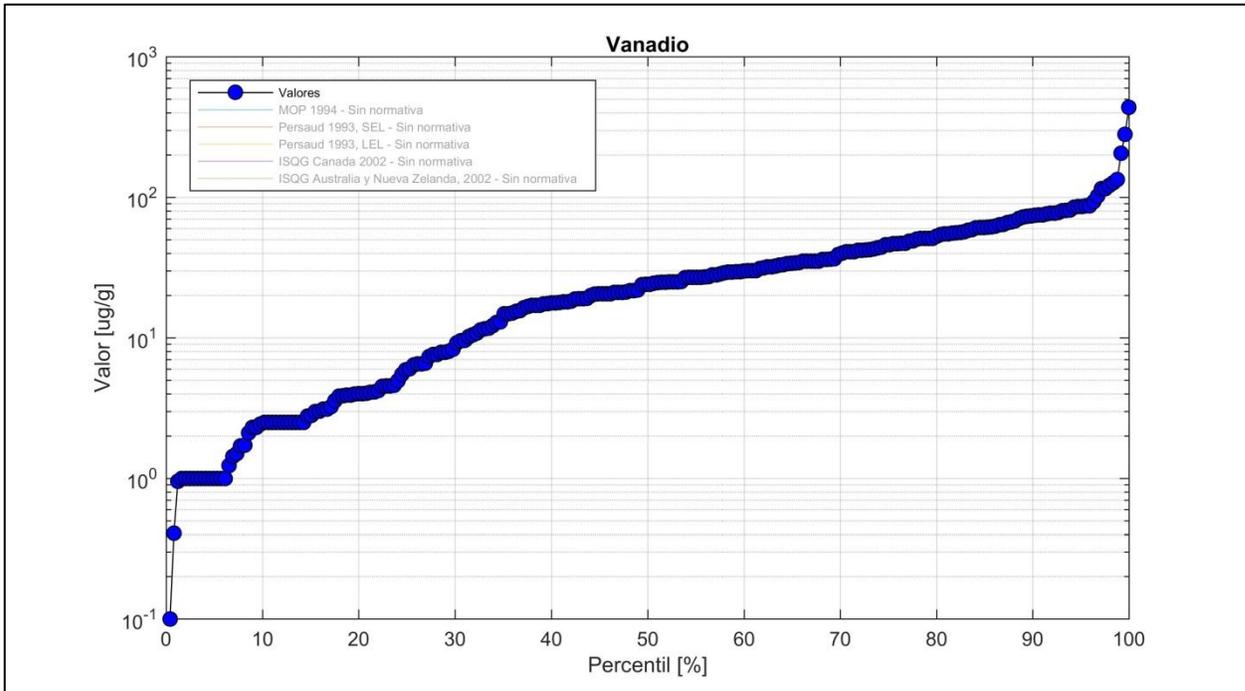


Figura 4.1-107. Concentración de Vanadio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles. No existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

· Zinc

En relación con el zinc registrado en los sedimentos submareales se observaron concentraciones que oscilaron ampliamente entre 0,17 mg/kg en el punto 140-S-To durante 2001 y 10.118 mg/kg en 050-S-To durante 1999. En este sentido, además se observa que las mayores concentraciones históricas se registran en la zona sur de la bahía que se extiende entre los puntos de referencia Muelle Carbón y Calle Washington, respectivamente (Figura 4.1-108, abajo).

En lo que se refiere a la evolución temporal de los datos, en términos de concentración promedio es notorio como se registran valores más altos al comienzo del periodo, en particular durante 1994 y 1999, luego desde el año 2001 en adelante las concentraciones promedio decrecen gradualmente llegando hasta un mínimo histórico en el año 2012, a partir del cual los registros permanecen dentro de un rango de valores menores y relativamente estables, con excepción del año 2015 durante el cual se registra un alto registro, sin embargo muy por debajo de los registros al comienzo del periodo histórico mencionado (Figura 4.1-108, arriba).

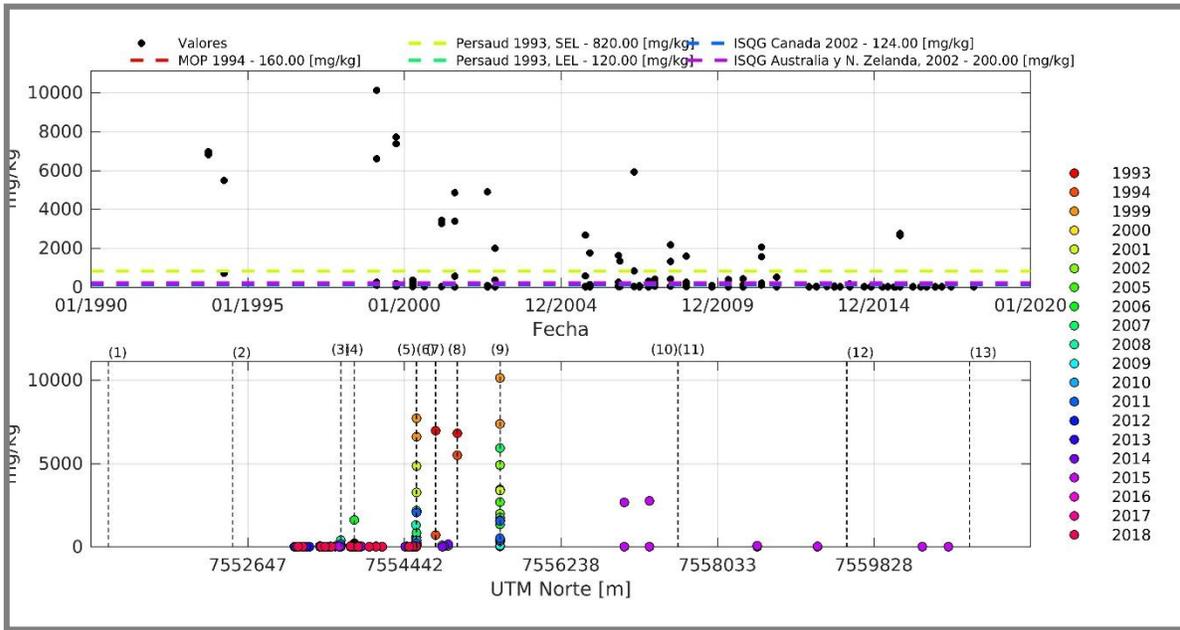


Figura 4.1-108. Concentración de Zinc en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona. En líneas punteadas se presentan los máximos de concentración establecidos por las normas estudiadas.

En lo que se refiere a los umbrales de concentración máximas normadas, se observa que el 15% de los registros históricos de concentración de Zinc en los sedimentos han estado por sobre el valor máximo sugerido por Persaud (1993) sobre el cual se registran efectos leves sobre los organismos, siendo este umbral el más restrictivo. Por otra parte, en base al límite máximo nacional definido por MOP (1994) se observa que el 13% de los registros históricos superan este valor máximo permitido (Figura 4.1-109).

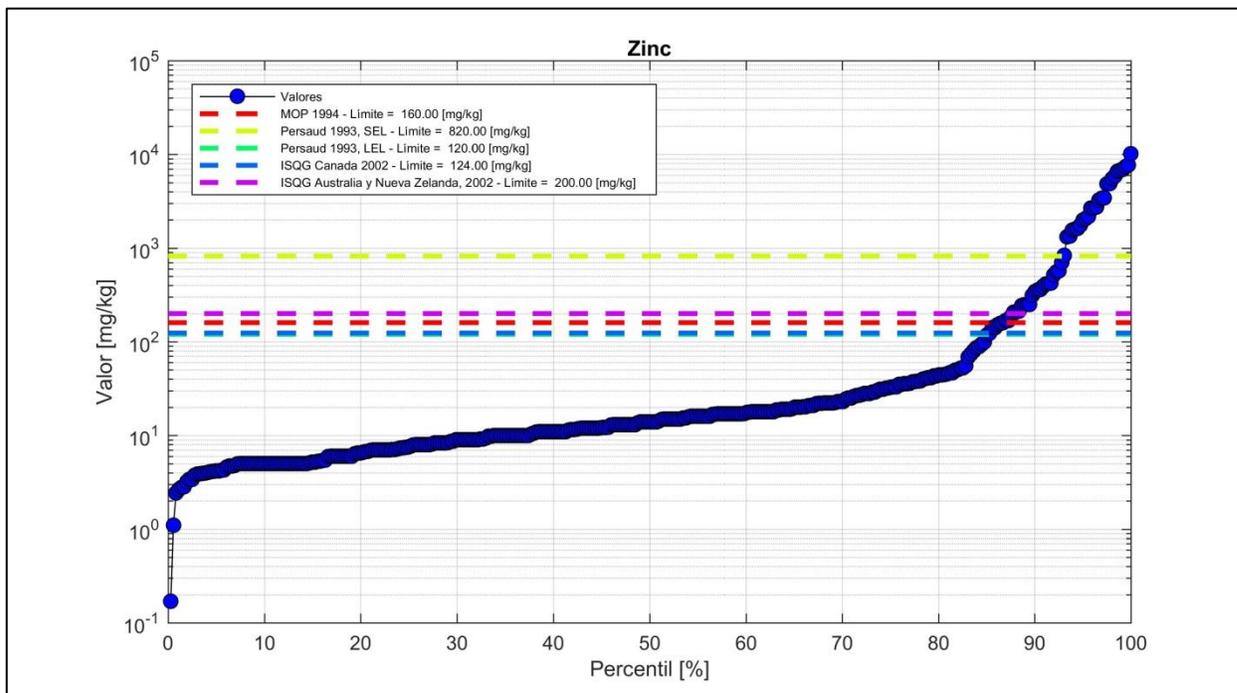


Figura 4.1-109. Concentración de Zinc en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993), ISQG Canadá (2002) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

4.1.1.3.3 Caracterización de los componentes bióticos

A escala local, en bahía Algodonales la información biológica es escasa y se remite a lo proporcionado por los informes de EIA y Planes de Vigilancia Ambiental asociados a la actividad industrial desarrollada en la península Algodonales. En este contexto, la información biológica se encuentra resumida a niveles taxonómicos mayores. Por otra parte, el levantamiento de información se restringe a un sector acotado de nuestra área de estudio y está en función de los vecinos más cercanos al complejo industrial. Ante este escenario, la primera aproximación a la caracterización de los componentes bióticos del sistema bahía Algodonales, se realizó a una escala regional y se complementará a una escala local, en la medida que avance el proyecto y se ejecuten las campañas de terreno comprometidas.

iii. Comunidades planctónicas

i) *Fitoplancton*

Los ensamblajes fitoplanctónicos de esta región están generalmente dominados por pocas especies de diatomeas que forman cadenas tales como *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira* sp., *Rhizosolenia* sp., *Detonula pumila*, *Eucampia cornuta*, entre otras. Sus tamaños celulares, generalmente son superiores a 20µm con presencia importante de organismos en sedimentos pertenecientes a la fracción del microfitoplancton, lo que se ha correlacionado positivamente con eventos de surgencia. Organismos de tamaños corporales inferiores a 20µm son más frecuentes encontrarlos durante procesos de intrusión de masas de agua subtropical en la región, rica en nutrientes. En tales casos, es frecuente reconocer la dominancia en los ensamblajes fitoplanctónicos por dinoflagelados (*Gymnodinium* sp) y flagelados autótrofos. Durante eventos de El Niño, se ha constatado el aumento de la fracción de nano- y microfitoplancton en la zona de surgencia, alcanzando hasta 70% de las abundancias reconocidas de los ensamblajes fitoplanctónicos. Durante estas fases de Condición normal/ El Niño, las alteraciones en la estructura en los ensamblajes fitoplanctónicos se originan producto del aumento de la productividad primaria, producto de eventos de surgencia (afloramiento de masas de agua fría), promoviendo la dominancia de diatomeas fitoplanctónicas con formas de cadenas, las que son consumidas por organismos zooplanctónicos de tamaño medio (copépodos) a grande (eufásidos). Durante los períodos cálidos durante El Niño, las masas de agua fría no alcanzan la superficie, resultando en una supresión de los eventos de surgencia y la consiguiente baja de productividad primaria y bajos valores de biomasa, donde se reconoce una dominancia de ejemplares de pico y nanofitoplancton en aguas costeras.

j) *Zooplancton*

Los ensamblajes zooplanctónicos en la región están estructurados mayoritariamente por crustáceos copépodos. Asimismo, esta área se reconoce como favorable para el desarrollo de larvas de peces pelágicos (Rojas et al. 2002).

Entre los crustáceos copépodos cuya presencia es característica en la región, están *Eucalanus inermis* y *Calanus chilensis*, las que presentan patrones de distribución vertical característicos. Mientras el primero se reconoce en estratos de agua profundos asociados a la zona de mínimo de oxígeno, debido a su tolerancia este tipo de estrés, el segundo está relacionado fuertemente a aguas superficiales en zonas de surgencia.

Asimismo, debido a la alta productividad derivada de los núcleos de surgencia existentes en la zona, la alta producción de fitoplancton promueve un crecimiento continuo de copépodos herbívoros, sustentando asimismo elevadas abundancias de crustáceos eufásidos en el norte de Chile (Antezana 1978). Entre las especies herbívoras que caracterizan los ensamblajes zooplanctónicos en esta zona están además del ya mencionado copépodo *C. chilensis*, el crustáceo eufásido *Euphausia mucronata*. Al respecto, los eufásidos son relativamente grandes para el promedio del zooplancton y frecuentemente dominan la

comunidad zooplanctónica, sobre todo en la plataforma continental y en regiones de alta productividad. Estos organismos, presentan una activa migración vertical diurna/nocturna.

Por otra parte, entre los componentes del zooplancton hay que destacar huevos y estadios larvarios de peces, los cuales son representantes habituales en zonas de surgencia. Entre las especies pelágicas cuyos estadios tempranos representan componentes característicos del ensamble, hay que mencionar larvas y huevos de anchovetas (*Engraulis ringens*) y sardina (*Sardinops sagax*), así como de especies que habitan a mayor profundidad (mesopelágicas) pertenecientes a la familia Myctophidae (Peces linterna). No obstante, este grupo de organismos presenta patrones de densidad altamente variables en zonas altamente productivas, debido a variaciones de los procesos de reclutamiento, donde los factores ambientales afectan significativamente estos procesos, sobre todo en las etapas tempranas de desarrollo de estos organismos (pérdidas de huevos y larvas por advección de masas de agua). Durante los eventos de surgencia, los estadios de desarrollo tempranos de peces están sujetos a un intenso transporte derivados de flujos longitudinales y perpendiculares al borde costero, por lo que el éxito de reclutamiento en una zona determinada estará dado por las capacidades y habilidades para desarrollar mecanismos de retención, entre los que se puede mencionar migraciones verticales activas diurna/nocturna.

iv. Comunidades bentónicas

k) *Submareales*

Los ensambles de invertebrados submareales presentes en la región se caracterizan por estar conformados por grupos de organismos característicos de sustratos blandos. Así, algunos autores destacan la presencia característica y dominante de caracoles (*Nassarius gayi* y *Alia unifasciata*), así como de gusanos poliquetos depositívoros pertenecientes a la familia Spionidae (*Prionospio sp.*). De acuerdo a la extensa caracterización de los ensambles de invertebrados submareales efectuada por Zúñiga et al. (1983), hay que destacar que el grupo de los moluscos, específicamente de los caracoles, dominan espacialmente los valores de biomasa reportados en sectores de hasta 40m de profundidad. A profundidades mayores, a medida que aumenta la proporción de la fracción fina del sedimento, asoman otros grupos como conglomerados faunísticos relevantes desde el punto de vista de sus biomásas (gusanos poliquetos). Por su parte, desde el punto de vista de sus densidades, el conglomerado faunístico dominante en términos espaciales, así como batimétricos, corresponde al grupo de los gusanos poliquetos. Tales resultados son congruentes con estudios más recientes y llevados a cabo a menor profundidad, donde se reconoce una predominancia del grupo de los caracoles, gusanos poliquetos y crustáceos de tallas menores. Así a profundidades someras (5m) se observó la presencia característica de bivalvos filtradores (Cholgas *Aulacomya ater*), caracoles *A. unifasciata* y crustáceos anfípodos; mientras que a mayor profundidad (20m) dominaron los ya mencionados caracoles *N. gayi* y gusanos poliquetos carnívoros de la familia Nereidae. Hay que destacar el reconocimiento por algunos autores de la presencia importante de crustáceos en

profundidades someras (principalmente anfípodos), mientras que a mayores profundidades dominan el grupo de los gusanos poliquetos.

Considerando que las zonas costeras del norte de Chile carecen de cursos fluviales de interés, el aporte de nutrientes al sistema biológico en general; del que forman parte las comunidades bentónicas submareales; está supeditado a los fenómenos de surgencia de recurrencia aperiódica en el sector, así como a la intrusión irregular de aguas subtropicales que se acercan a la costa. Estos procesos favorecen una alta productividad primaria, cuyos productos orgánicos finales y los procesos de degradación asociados, podrían representar factores de perturbación sobre los ensamblajes bentónicos presentes a mayor profundidad. No obstante, estas condiciones son desfavorables para una variedad de organismos bentónicos submareales, pues existen otras especies que presentan rangos de tolerancia que les permite colonizar y desarrollarse en este tipo de ambientes. Tal es el caso de algunos ejemplares de gusanos poliquetos y crustáceos anfípodos característicos de ensamblajes bentónicos submareales presentes en la región, como los ya mencionados gusanos *Prionospio sp.* (*P. patagonica*), así como los anfípodos del género *Ampelisca sp.*, los que aumentan su densidad a mayor profundidad.

Con relación a ensamblajes submareales presentes sobre sustrato duro, los antecedentes disponibles son escasos y dispersos. Los organismos sésiles característicos en este tipo de ambientes corresponden principalmente a macroalgas laminariales del género *Lessonia*, específicamente la especie *L. trabeculata*. Entre los organismos móviles, destaca la presencia de una variedad de crustáceos decápodos como las jaibas *Cancer coronatus*, *C. porteri*; destacando de manera notable especies de jaiba peluda (*Romaleon polyodon*). Otros organismos móviles característicos de fondos de sustrato duro corresponden a los caracoles carnívoros *Thaisella chocolata* (caracol locote) y equinodermos como la estrella de mar *Luidia magallánica*.

Con relación a ensamblajes bentónicos de sustrato duro presentes en bahía Algodonales, se reconocen al grupo de algas rojas, así como los caracoles carnívoros *Thaisella chocolata* y el equinodermo *Luidia magellanica* como componentes característicos de dichos ensamblajes. Asimismo, el grupo de epifauna carnívora de pequeño tamaño, tales como los caracoles *Aeneator fotanei*, *Nassarius gayi*, *Cancellaria sp.*, *Oliva sp.*, *Crassilabrum sp.*, *Argobuccinum sp.*, *Xanthochorus sp.* o el caracol *Trigonostoma sp.*, representan componentes destacados de los ensamblajes de sustrato duro presentes en la bahía.

l) Intermareales

Las comunidades Intermareales presentes en la región se estructuran de acuerdo con los atributos del sustrato que ocupan. Con relación a los ensamblajes Intermareales de sustrato duro, hay que señalar que estos se configuran a partir de especies sésiles y móviles con un amplio rango de distribución, lo que es aplicable tanto para grupos funcionales de macroalgas, herbívoros, carnívoros o filtradores. Las especies características presentes en este tipo de ambientes en el norte de Chile corresponden al alga verde *Ulva sp.*, así como las algas rojas *Hypnea sp.*, *Gelidium chilense* y *Porphyra columbina*. Asimismo, los

crustáceos cirripedios *Jhelius cirratus* y *Notochtamalus scabrosus* constituyen representantes característicos de la fauna sésil presente en este tipo de ambientes. Entre la fauna móvil consignada en la zona destacan estrellas y soles de mar (*Stichaster striatus* y *Heliaster heliantus*), así como una amplia gama de caracoles herbívoros (*Nodilittorina peruviana*, *Siphonaria lessoni*, *Fissurella sp.*, *Scurria sp.*, *Chiton sp.*, entre otras especies). Todas estas especies representan componentes característicos del complejo faunístico descrito por Viviani (1979), cuyo “centro de gravedad se encontraría en el norte chico del país, extendiéndose por lo menos hasta la latitud de la ciudad de Pisco en Perú, adscribiéndose a la denominada zooprovincia chilena, distrito del norte grande .

Respecto de los ensamblajes Intermareales de sustrato blando, hay que señalar que estos están estructurados en torno a un número discreto de especies, donde los taxa dominantes y característicos correspondieron al decápodo anomuro *Emerita análoga* y los crustáceos isópodos *Excirolana braziliensis*. Ambas especies poseen una distribución espacial en el perfil vertical que responde a un patrón de zonación característico. Mientras el isópodo *E. braziliensis* se distribuye principalmente en la zona alta de la playa (zona de secado y línea de marea alta), donde comparte el espacio con otros organismos como el coleóptero tenebriónido *Phalerisida maculata*, en tanto que los decápodos *E. analoga* se distribuyen principalmente en la zona inferior de la zona intermareal (también llamada zona de resaca y línea de marea baja). Entre ambas zonas se ubica la zona intermedia, donde ocurren en menor cantidad tanto los decápodos como los isópodos antes descritos, junto con ejemplares de gusanos poliquetos de la familia Glyceridae.

v. Ictiofauna

En la región se reconoce la presencia de una variedad de especies bentónicas, características de ambientes rocosos y con presencia de praderas de macroalgas laminariales. Entre estas especies se reconocen como características al bilagay, cabrilla común, congrio, rollizo, blanquillo, o pejeperro. Asimismo, en los sectores costeros donde dominan los sustratos arenosos y que cubren una amplia extensión territorial de la bahía, asoman como especies características y de importancia comercial, el lenguado, corvina y cabinza. Todas estas especies poseen un rango de distribución amplio, las cuales pertenecerían a la región norte de aguas templadas cálidas, la que se extendería aproximadamente hasta la provincia de Valdivia. Además de las especies mencionadas anteriormente, las que son explotadas de manera activa por pescadores artesanales de la zona, se describen para esta zona geográfica las especies jerguilla, borrachilla o tromboyo, entre otras especies.

Estudios específicos que den cuenta de la composición y estructura de los ensamblajes de fauna íctica asociados a ambientes submareales existentes en bahía Algodonales, son prácticamente inexistentes. Esta situación contrasta con la abundante información asociadas a especies pelágicas económicamente muy relevantes y asociadas a núcleos de alta productividad primaria como anchovetas, sardinas o jureles.

vi. Concentración de metales y metaloides en organismos

Por el momento, se ha identificado como única fuente información sobre el contenido de metales en organismos, al Programa de Observación del Ambiente litoral (POAL). Este programa utiliza al organismo del ecosistema intermareal duro, Chorito maico, como centinela desde el año 1997 hasta la fecha en bahía Algodonales.

Dentro de las normativas nacionales, se utilizó como información referencial el Reglamento Sanitario de los Alimentos DS 977/96 del Ministerio de Salud (Tabla 4.1-8), el cual entrega concentraciones límite permitidas para Arsénico en moluscos, Cobre en el ítem otros alimentos, Mercurio y Plomo en mariscos frescos, y Zinc en la categoría de otros productos.

Para la comparación de las concentraciones de metales pesados en los organismos con respecto a límites permisibles dentro de normativas o proyectos internacionales, se utilizaron los límites sugeridos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO & OMS 2015) y la Unión Europea (Tabla 4.1-8).

Tabla 4.1-8 Resumen de las concentraciones límite establecidas por referencias ambientales nacionales e internacionales.

Elemento	D.S 977/96	FAO/OMS	Unión Europea
Arsénico	2	-	-
Cadmio (Cd)	-	2,0	1
Cobre (Cu)	10	-	-
Mercurio (Hg)	0,5	-	-
Plomo (Pb)	2	-	1,5
Zinc (Zn)	100	-	-

En la Figura 4.1-110 y en la Tabla 4.1-9 se adjuntan los puntos de referencia utilizados para el análisis espacial de las distintas concentraciones encontradas.

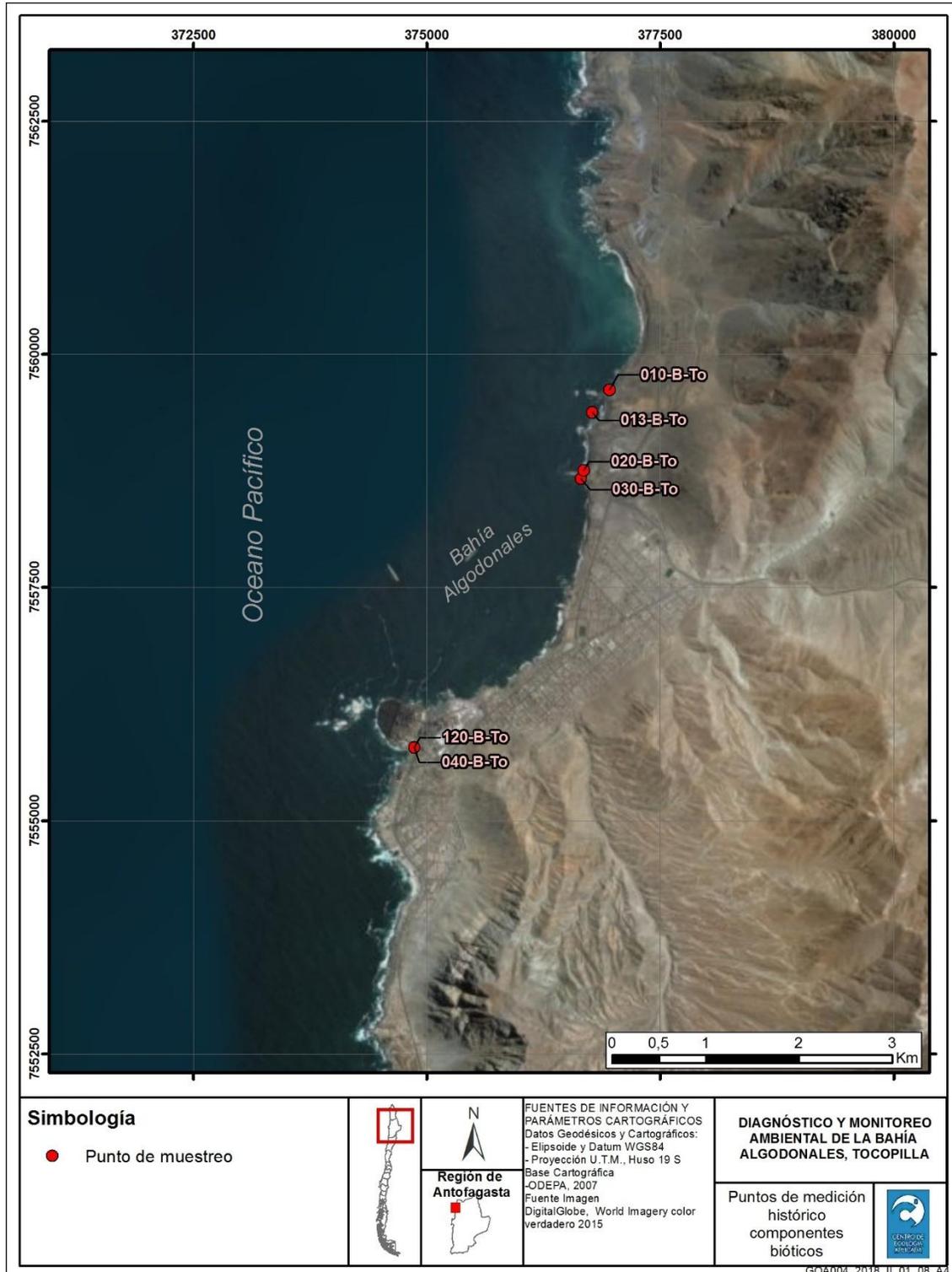


Figura 4.1-110: Puntos de medición POAL históricos recopilados de componentes bióticos (puntos rojos).

Tabla 4.1-9: Puntos de referencia utilizados en la descripción de la información de concentración de metales y metaloides en organismos.

Punto POAL	Norte [m]	Este [m]	Nombre Ubicación	Inicio registro	Fin registro
040-B-To	7555789	374867	Sector Roca del Camello	17-10-1997	24-11-2011
120-B-To	7555789	374866	Sector Roca del Camello	17-10-2013	-
030-B-To	7558663	376650	Sector Pesquera Guanaye	01-10-1993	06-12-1996
020-B-To	7558756	376678	Sector Pesquera Eperva	01-10-1993	06-12-1996
013-B-To	7559377	376772	Estación Control Punta Duendes	17-10-2013	07-12-2016
010-B-To	7559619	376957	Sector Caleta Duendes	04-04-1997	13-05-2016

Al respecto, se describe a continuación el contenido de metales registrado en la serie de tiempo indicada:

m) Arsénico

Se registran datos cuantificables para el arsénico desde el año 2013 hasta el año 2017. La mayoría de los registros supera el límite establecido por el DS. 977/96 (2 mg/kg), patrón que es sostenido espacial y temporalmente, incluyendo el último año de muestreo.

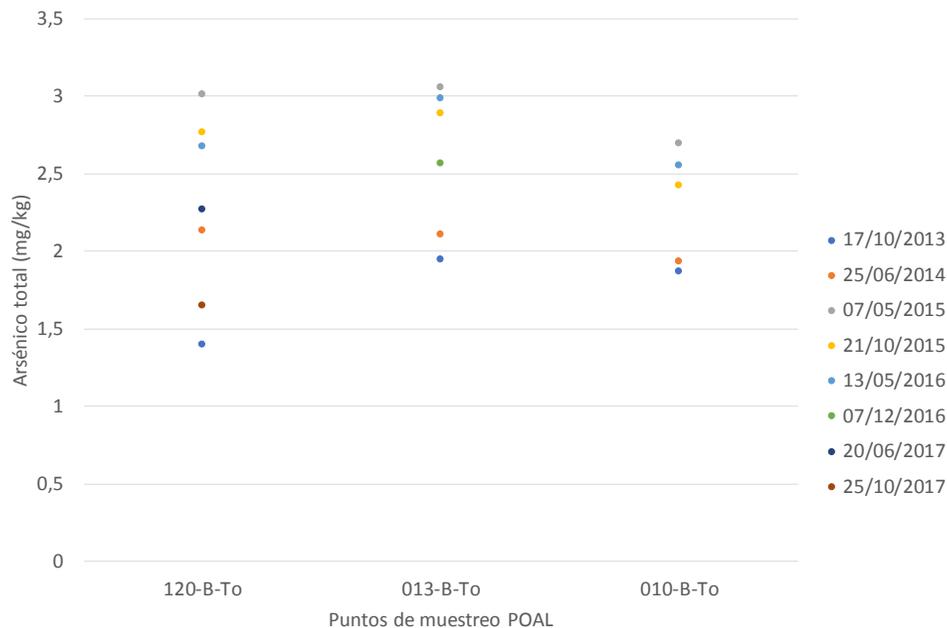


Figura 4.1-111 Arsénico total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

n) Cadmio

Se registran datos cuantificables para el cadmio desde el año 1993 hasta el año 2017. La mayoría de los registros superan los límites establecidos por la Unión Europea (1 mg/kg) y la FAO/OMS (2 mg/kg), este patrón se sostiene espacial y temporalmente, sin embargo, las

mayores magnitudes y varianzas han estado asociadas a los puntos de muestreo ubicados en los extremos Sur y Norte de la bahía.

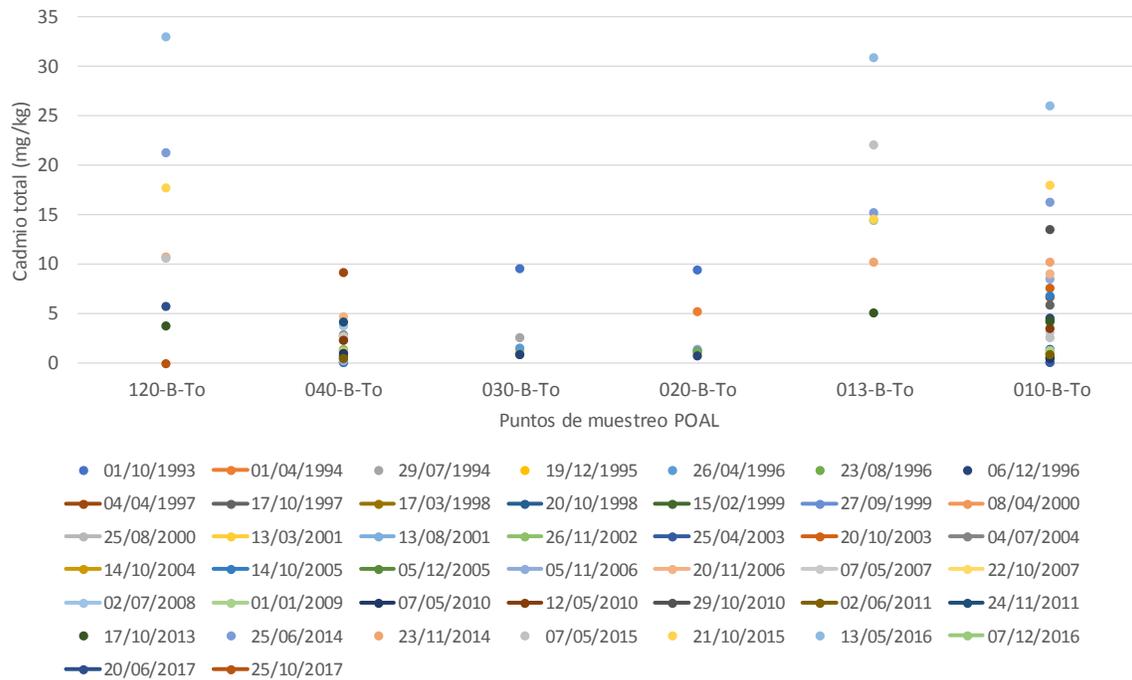


Figura 4.1-112 Cadmio total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

o) Cobre

Se registran datos cuantificables para el cobre desde el año 1993 hasta el año 2017. La mayoría de los registros superan el límite establecido por el D.S 977/96 (10 mg/kg), este patrón se sostiene espacial y temporalmente, sin embargo, las mayores magnitudes y varianzas han estado asociadas a los sectores denominados por el POAL como: “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva”

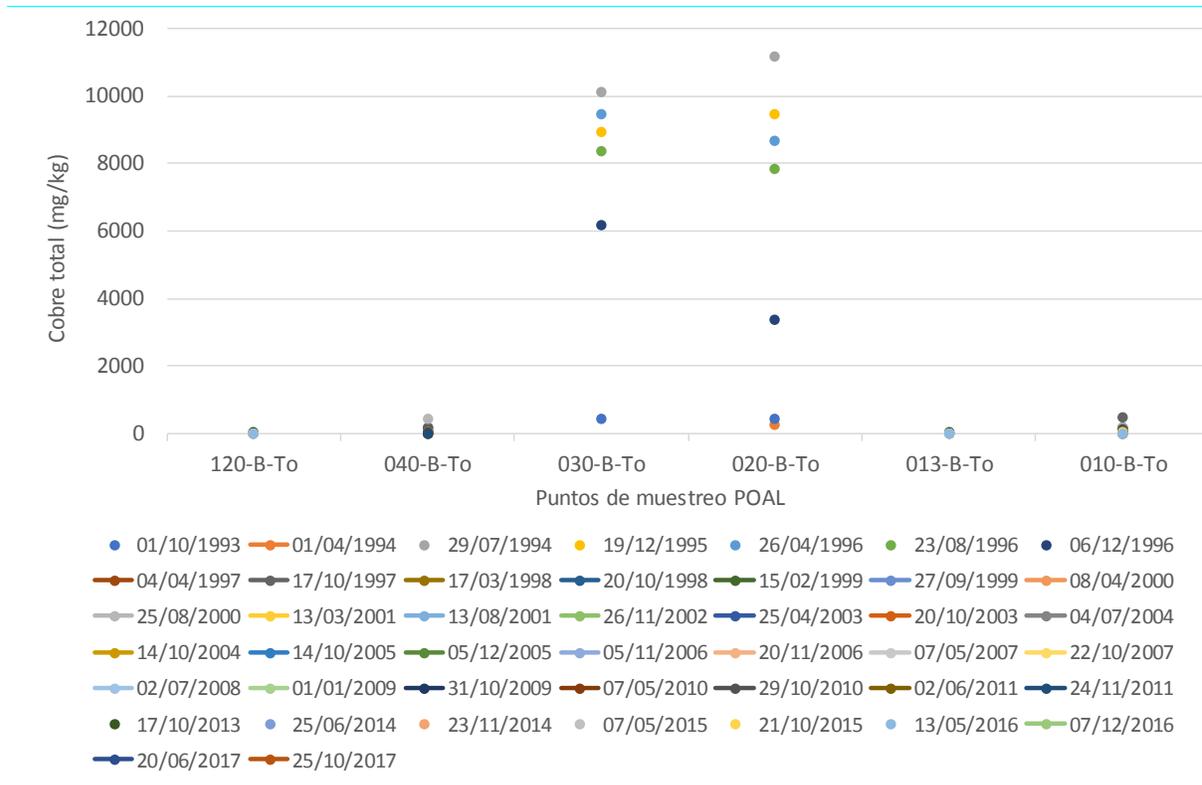


Figura 4.1-113 Cobre total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

a) Cromo

Se registran datos cuantificables para el cromo desde el año 1993 hasta el año 2011. Las mayores magnitudes y varianzas han estado asociadas a los sectores denominados por el POAL como: "Pesquera Guanaye" y "Pesquera Eperva" y se han registrado entre los años 1993 y 1998.

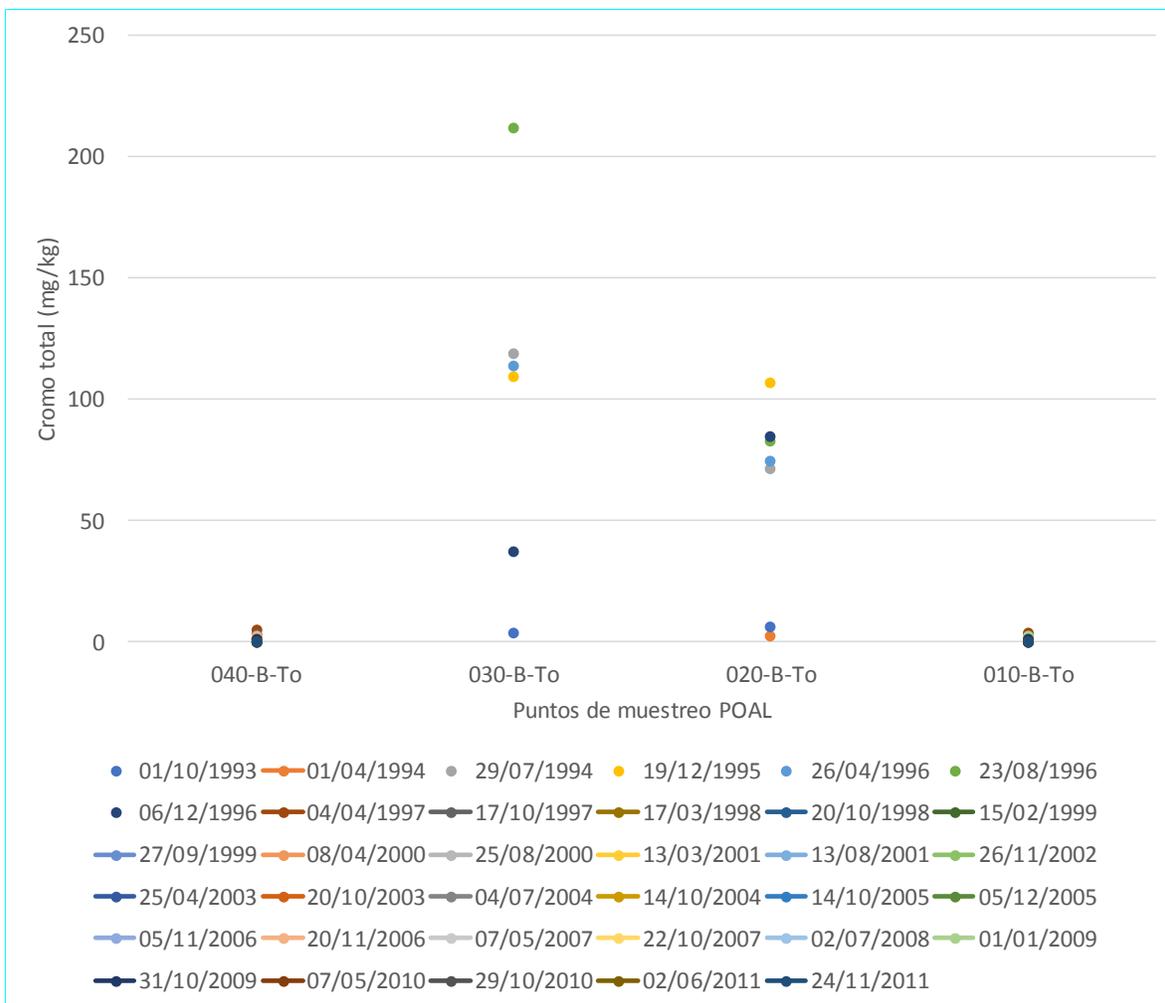


Figura 4.1-114 Cromo total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

b) Mercurio

Se registran datos cuantificables para el mercurio desde el año 1993 hasta el año 2017. En general, las concentraciones se han registrado bajo el límite establecido por el D.S 977/96 (0,5 mg/kg), este patrón se sostiene espacial y temporalmente, sin embargo, las mayores magnitudes y varianzas han estado asociadas a los sectores denominados por el POAL como: “Roca del camello”, “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva” y se han registrado entre los años 1993 y 2001.

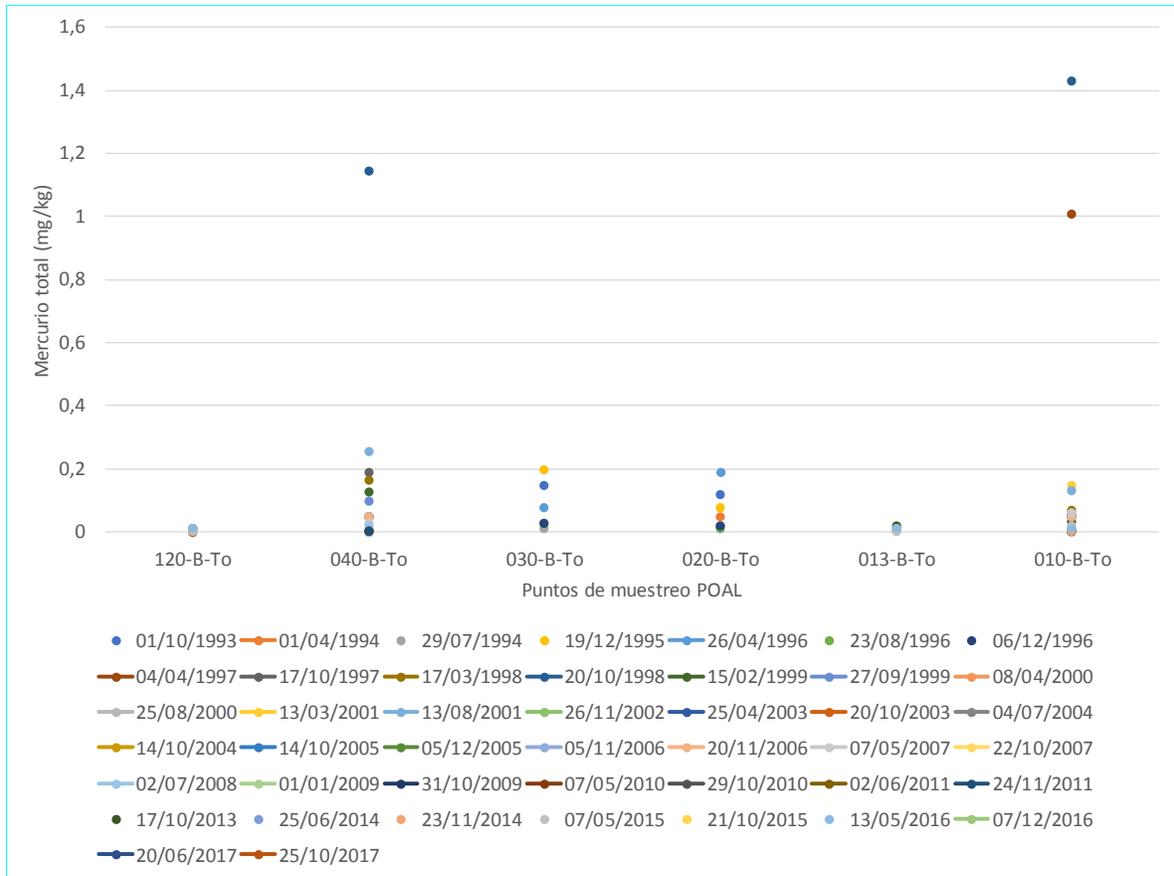


Figura 4.1-115 Mercurio total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

c) *Plomo*

Se registran datos cuantificables para el plomo desde el año 1993 hasta el año 2017. Las mayores magnitudes y varianzas han estado asociadas a los sectores denominados por el POAL como: "Pesquera Guanaye" y "Pesquera Eperva" y se han registrado entre los años 1993 y 2001, periodo en el cual superaron los límites establecidos por el D.S 977/96 (2 mg/kg) y la Unión Europea (1,5 mg/kg). En los últimos 10 años se han registrado concentraciones menores a 1,5 mg/kg.

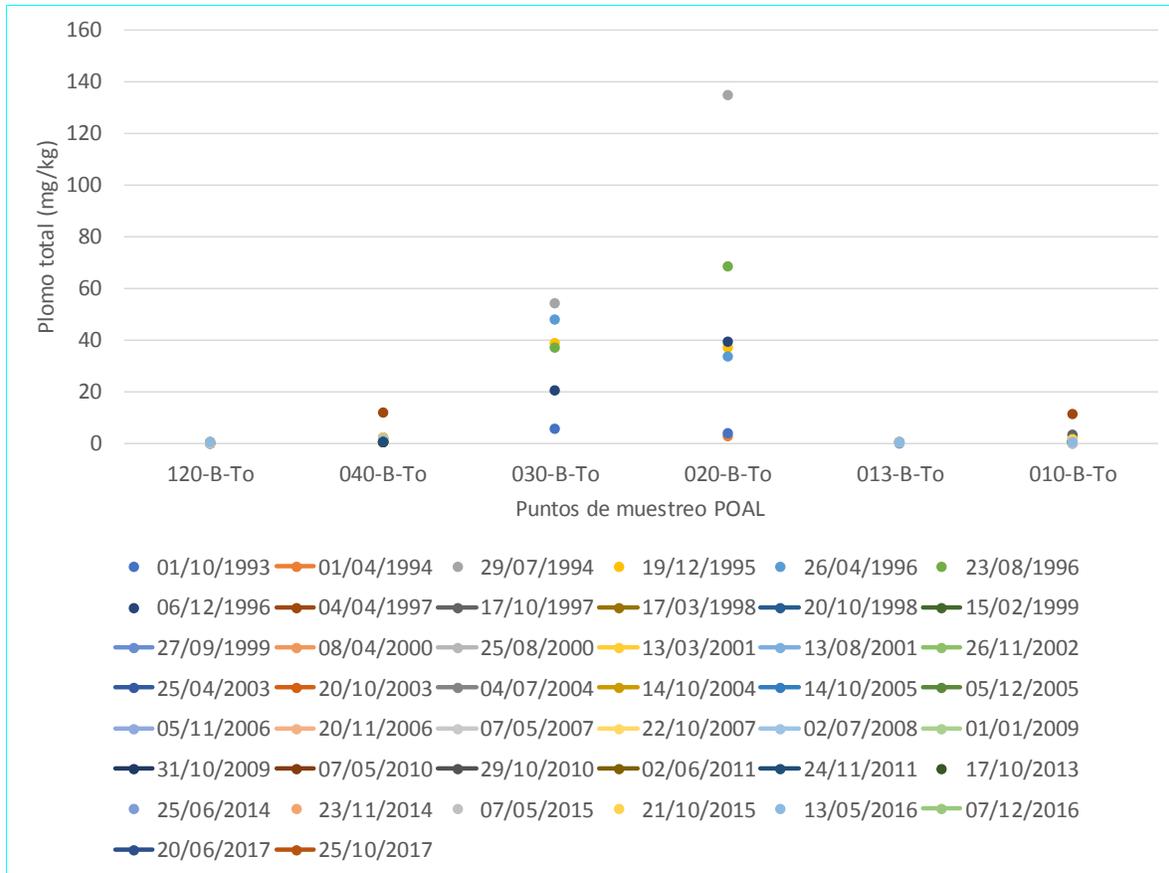


Figura 4.1-116 Plomo total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

d) Zinc

Se registran datos cuantificables para el zinc desde el año 1993 hasta el año 2011. Las mayores magnitudes y varianzas han estado asociadas a los sectores denominados por el POAL como: "Pesquera Guanaye" y "Pesquera Eperva" y se han registrado entre los años 1993 y 1997, periodo en el cual superaron el límite establecidos por el D.S 977/96 (100 mg/kg). En los últimos años del periodo se han registrado concentraciones menores a 75 mg/kg.

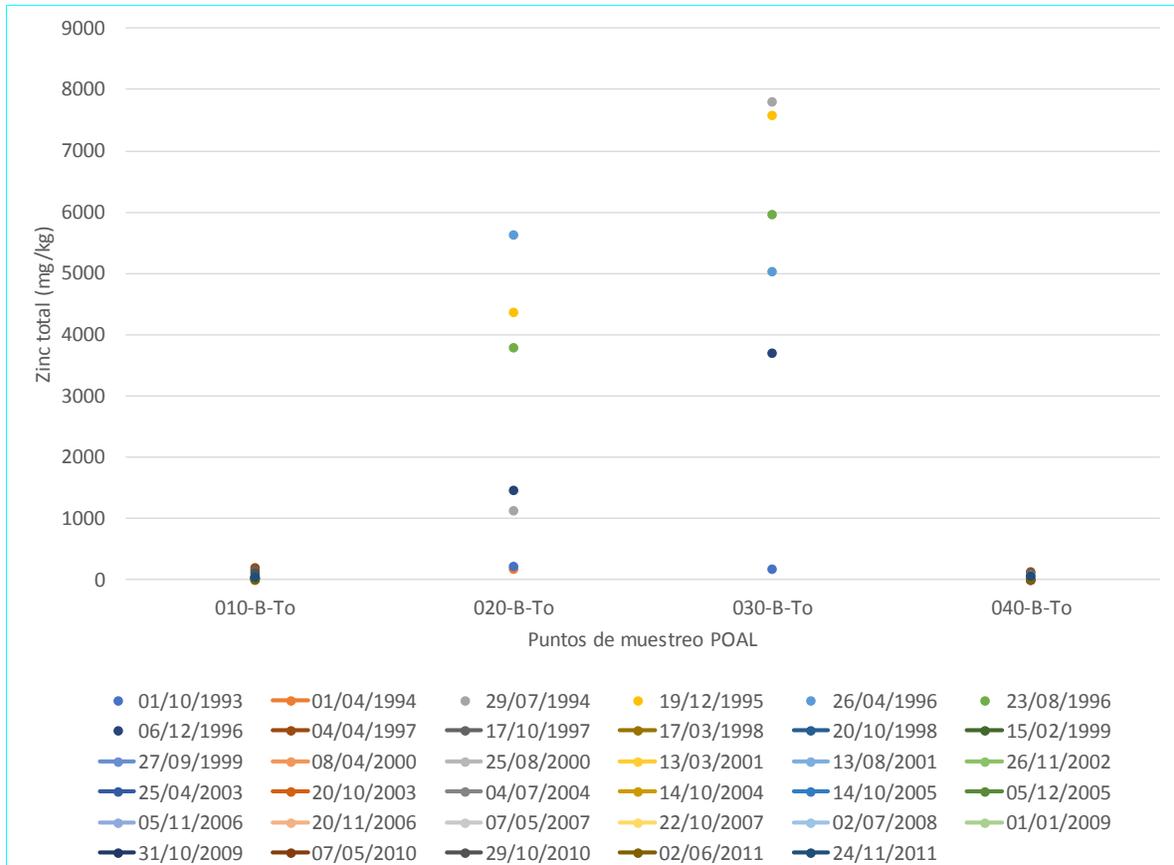


Figura 4.1-117: Zinc total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas

4.1.1.3.4 Flujos antrópicos de materiales y organismos

vii. Registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC)

El Ministerio del Medio Ambiente, a través del Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (D. N°1/2013), exige (cuando corresponda) a toda persona natural o jurídica cuya actividad de origen a residuos, emisiones y/o transferencia de contaminantes, a reportar las cantidades generadas de sus actividades.

Así, en la actualidad este organismo mantiene una página web que permite descargar información de emisiones y transferencias, diferenciados por distintos rubros, medios receptores y comuna, entre otros. Esta información es de carácter público y de libre acceso para quien desee descargar la información.

Pues bien, se recabó información correspondiente a la comuna de Tocopilla a través de la página web www.retc.cl, consultada el 5 de octubre de 2017. Esta página permitió descargar la información referente a la emisión del total de contaminantes en la comuna, a nivel anual y en un formato “CSV” (sigla del término en inglés “Valores separados por coma”), la cual se reordenó y sistematizó para poder ser utilizada en el presente estudio. Adicionalmente se descendieron las emisiones para las comunas de Mejillones, Antofagasta, Taltal y Calama, correspondientes a territorios con zonas costeras, las que presentan emisarios hacia el océano.

A continuación, se presentan las emisiones de los parámetros de interés, según los medios receptores ambientales “Agua”, categorización propia del RETC. Se ha puesto especial énfasis en el análisis del medio Agua, lo cual responde a los lineamientos del presente diagnóstico que se han centrado en estudiar la bahía propiamente tal. Este tipo de receptor además se clasifica en “Fuentes Puntuales” y “Transferencias”. Las Transferencias corresponden al traslado de contaminantes a un lugar que se encuentra físicamente separado del establecimiento que lo generó⁵, mientras que Fuentes Puntuales son aquellas fuentes donde la ubicación del punto de descarga, generación o emisión al medio ambiente es plenamente identificable⁶. Para los propósitos del estudio, se estudian las emisiones para Fuentes puntuales.

Cabe señalar que la página web permite descargar la información de forma integrada por División Política y Administrativa, como también por Establecimiento. Así, se realizó la descarga bajo ambas diferenciaciones. Cuando se compararon ambas bases de datos, se detectaron incoherencias entre ambas, donde al comparar las masas por comuna, estas no coinciden. A pesar de estas diferencias, se utilizó como base de datos para el análisis la descarga de datos por División Política y Administrativa, ya que esta cuenta con una mayor carga en términos numéricos que la otra clasificación, bajo el supuesto que el otro formato

⁵ <http://www.retc.cl/glosario/>

⁶ <http://www.retc.cl/glosario/>

de descarga puede presentar vacíos. En Anexos digitales se dejarán ambas bases de datos para su consulta.

Para el medio receptor agua se cuenta con información desde el año 2005 hasta el 2016, con un total de 38 parámetros para Fuentes Puntuales.

Tabla 4.1-10 Identificación y cuantificación de parámetros de interés disponibles en el RETC, medio receptor Agua y Tipo fuente: Fuentes Puntuales

Parámetro	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total general
Aceites y grasas	1	1	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	22
Aluminio					2	1	1		1	1	2	1	9
Arsénico					2	1	1				2	1	7
Boro					1	1					1	1	4
Cadmio				1	2	1	1				1		6
Cianuro					2	1	1				1		5
Cloruros					1	1					1	1	4
Cobre				1	2	1	1				2	1	8
Cromo hexavalente				1	2	1	1				1		6
Cromo Total				1		1	1	1	1	1	2	1	9
Estaño					2	1	1				1		5
Fluoruros	1			1	2	1	1		1	1	2	1	11
Fósforo Total				1	2	1	1		2	1	2	1	11
Hidrocarburos fijos	1	1			1	1					1	1	6
Hidrocarburos totales	1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	2	2	19
Hidrocarburos volátiles	1	1	1	2	2	2		1	1	1	2	2	16
Hierro - hierro disuelto					2	1	1		1		1	1	7
Índice de fenol				1	2	1	1		1	1	2	1	10
Manganeso					2	1	1						4
Mercurio				1	2	1	1						5
Molibdeno					2	1	1		1	1	2	1	9
Níquel					2	1	2				2	1	8
Nitritos más Nitratos					1	1							2
Nitrógeno Total Kjeldahl				1	2	1	1		1	1	1	1	9
Pentaclorofenol - PCP					1	1	1						3
Plomo	1			1	2						1		5
Selenio					2	1	1				1		5
Sólidos sedimentables	1	1	2	2	2	1	1	2	1		2	2	17
Sólidos suspendidos totales	1		1	1	2	2	1	3	3	2	2	2	20
Sulfatos					1	1					1		3
Sulfuros				1	2	1	1				1		6
Sustancias Activas de Azul de Metileno	1	1	2	1	1	1		1	1	2	2	1	14
Tetracloroetano	1				1	1							3
Tolueno - metil benceno - Toluol - Fenilmetano	1				1	1							3
Triclorometano					1	1							2
Xileno	1				1	1							3
Zinc				1	2	1		1	2	1	2	1	11

De la base de datos reportada por establecimiento, se encontró que un total de 5 establecimientos industriales informan de sus emisiones en la comuna de Tocopilla. La Tabla 4.1-11 muestra los establecimientos industriales identificados, donde se le asignó una ID que guarda relación a los gráficos disponibles en Anexos digitales.

Tabla 4.1-11 Establecimientos industriales con fuentes puntuales al medio receptor agua, en la comuna de Tocopilla.

Razón social	Planta	ID
Aguas de Antofagasta S.A.	Agencia zonal tocopilla	1
Corpesca S.A.	Planta Tocopilla	2
AES Gener S.A.	Central termoeléctrica Nueva Tocopilla	3
E.CL S.A.	Central térmica Tocopilla	4
Regimiento reforzado num20 La Concepción del Cap. I. Carrera Pinto Antf	Sin Nombre	5

Adicionalmente, para facilitar el análisis y la comprensión de los parámetros que están siendo descargados, éstos son separados como: metales y metaloides, nutrientes y productividad, parámetros físicos y otros parámetros de interés ambiental. A continuación, se realiza el análisis de cada categoría.

e) Metales y metaloides

Un total de 15 metales y metaloides han sido informados como emisiones al cuerpo receptor agua durante el 2005 al 2016. Estos han sido ordenados de mayor a menor en función de la masa total que ha sido descargada en todo el periodo, de esta forma es posible identificar cuáles son los principales elementos que se emiten en la comuna de Tocopilla, dando cuenta de la actividad industrial presente en la bahía. A modo de simplificar el análisis, se realizó una suma de los elementos cada 3 años, lo cual permite identificar si han existido cambios en las descargas a través de los años. La Tabla 4.1-12 muestra las cifras ordenadas de mayor a menor.

Tabla 4.1-12 Masa de metales y metaloides descargados, sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Aluminio	-	0,04	1.842,59	691,35	2.533,98
Hierro - hierro disuelto	-	0,46	791,31	1.029,12	1.820,89
Boro	-	5,10	-	326,61	331,71
Xileno	201,49	0,17	-	-	201,66
Molibdeno	-	0,01	90,49	92,14	182,64
Zinc	-	15,25	62,35	84,27	161,87
Cromo Total	-	16,01	12,82	15,42	44,25
Cobre	-	3,44	0,03	24,94	28,41
Plomo	11,56	16,11	-	0,00	27,67

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Cromo hexavalente	-	16,05	-	0,00	16,05
Níquel	-	0,11	0,02	15,91	16,04
Cadmio	-	5,09	-	-	5,09
Arsénico	-	0,02	-	0,87	0,89
Mercurio	-	0,32	-	-	0,32
Manganeso	-	0,03	-	-	0,03
Estaño	-	0,01	-	0,01	0,02
Selenio	-	0,00	-	0,00	0,00

Asimismo, la Figura 4.1-118 muestra tales valores de manera gráfica. Por otro lado, estos resultados se han seccionado en distintos gráficos a modo de visibilizar los distintos órdenes de magnitud identificados para la totalidad de metales y metaloides.



Figura 4.1-118 Masa de metales y metaloides descargados, sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

De las cifras asociadas a metales y metaloides que son descargados de forma puntual en la comuna de Tocopilla, se desprende lo siguiente:

- Los mayores ingresos corresponden al aluminio y hierro/hierro disuelto durante los últimos dos periodos estudiados. Al analizar el origen de estos datos a través de la base de datos reportada por establecimiento, se ha encontrado que estas cargas másicas provienen de la Central Térmica Tocopilla.
- A nivel temporal, se observaron cantidades de Plomo y Xileno durante los primeros años analizados, para luego decaer sus emisiones considerablemente lo que podría indicar un cambio en los procesos industriales recientes o en las operaciones de algunos procesos. Al analizar la base de datos asociada a los establecimientos industriales, se observó que tanto el Plomo como el Xileno provienen de Aguas Antofagasta S.A. en el año 2005. En los últimos años estas cifras han disminuido en al menos 4 órdenes de magnitud, por lo tanto, no son identificados como los principales flujos que ingresan a la bahía en la actualidad.
- Resulta importante notar que desde el 2011 los reportes indican un aumento importante en las cargas de aluminio y hierro disuelto a la bahía, con valores de 3 órdenes de magnitud en contraste con los demás metales y metaloides. Asimismo, se destaca que durante el periodo de 2011 al 2013 no se reportaron emisiones en la mayoría de los elementos, desconociendo las causas. No obstante, comparando el periodo 2008-2010 y 2014-2016, se aprecia que la bahía de igual forma recibe elementos metálicos, en su mayor parte boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente.
- Analizando la industria de generación eléctrica (ID 3 y 4), se observa que estaría emitiendo cantidades importantes de metales, principalmente hierro, aluminio y boro, con niveles sobre las 100 toneladas durante el 2014 al 2016.

Se observa que la comuna de Tocopilla presentaría un ingreso de metales y metaloides de origen antrópico propiamente tal, derivado de la industria característica de la zona y particularmente provenientes de la central Termoeléctrica Tocopilla. Las mayores sumas de estos elementos y de interés para el estudio, según las cifras encontradas y considerando la actividad reciente (últimos años) serían el boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente. Si bien el aluminio y el hierro disuelto presentan cargas elevadas, estas no son considerados como residuos peligrosos, sin embargo, debe ponerse atención si se detectan niveles elevados de estos dos elementos en el agua de mar.

En relación con otras bahías, los elementos mencionados presentan el siguiente comportamiento en sus flujos:

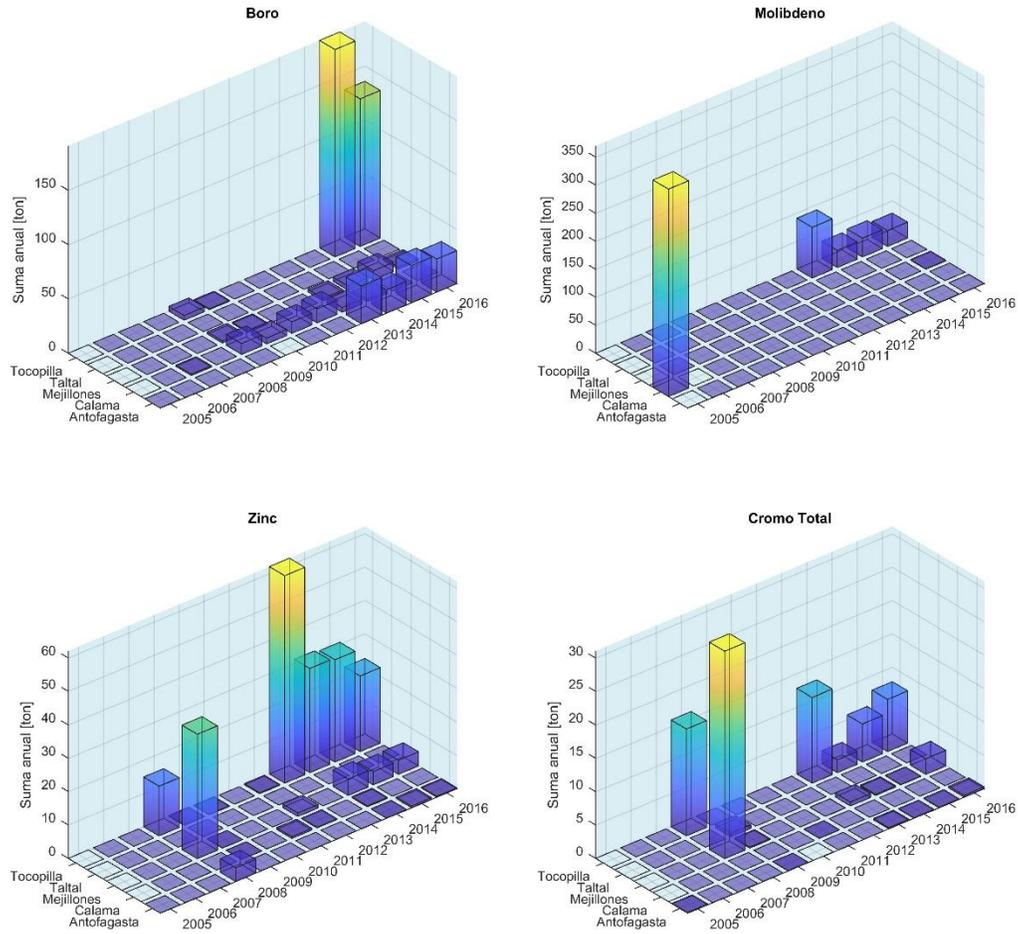


Figura 4.1-119 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de metales y metaloides en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla.

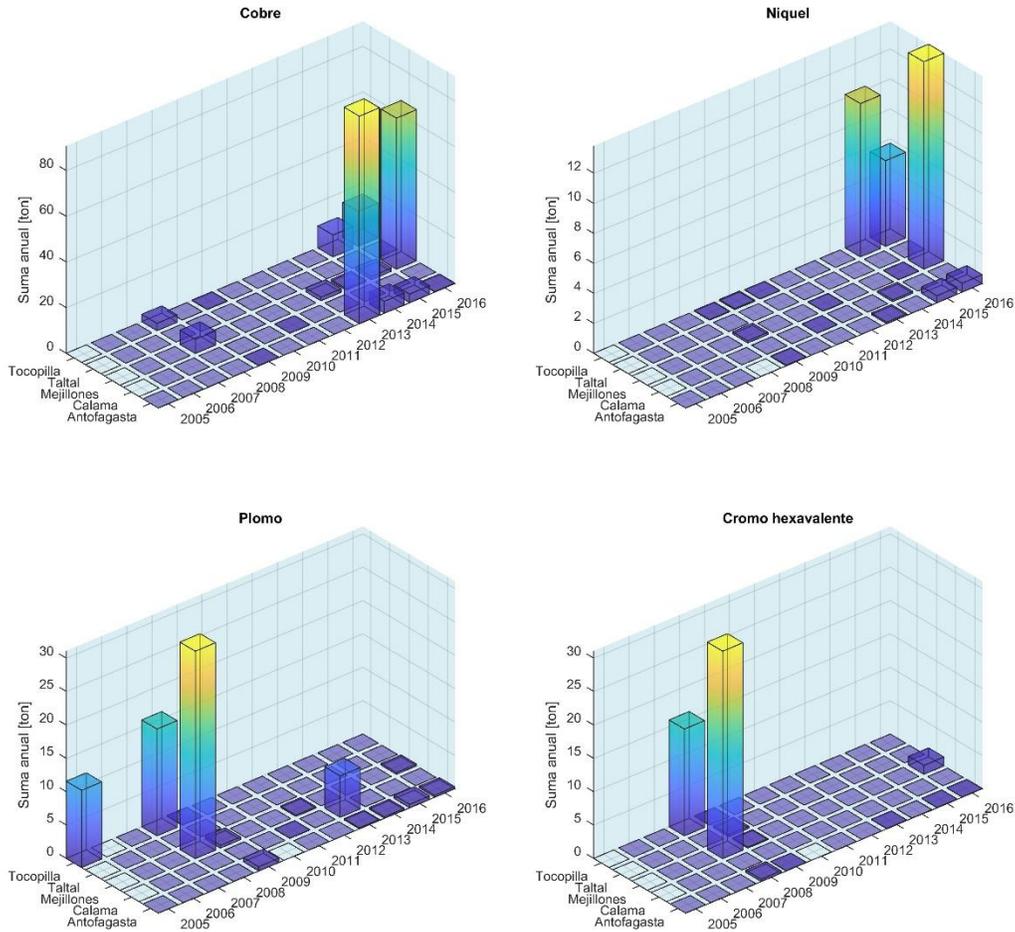


Figura 4.1-120 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de metales y metaloides en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla (Continuación).

La Figura 4.1-119 y la Figura 4.1-120, muestran que las emisiones de agentes metálicos sería por lo general mayor entre Tocopilla y Mejillones, lo cual daría cuenta de los procesos industriales instalados en esas comunas, principalmente tomando en consideración que en tales bahías también existe una presencia fuerte de la industria termoeléctrica.

f) *Nutrientes y productividad*

Un total de 4 parámetros asociados a nutrientes y productividad han sido informados como emisiones al cuerpo receptor agua durante el 2005 al 2016. Análogo a los metales, son ordenados de mayor a menor para identificar las mayores cargas.

Tabla 4.1-13 Masa de parámetros asociados a nutrientes y productividad, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Sulfatos	-	991,49	-	121.006,83	121.998,32
Nitrógeno Total Kjeldahl	-	200,86	2.377,29	3.786,61	6.364,76
Fósforo Total	-	72,80	512,00	660,50	1.245,30
Nitritos más Nitratos	-	0,72	-	-	0,72

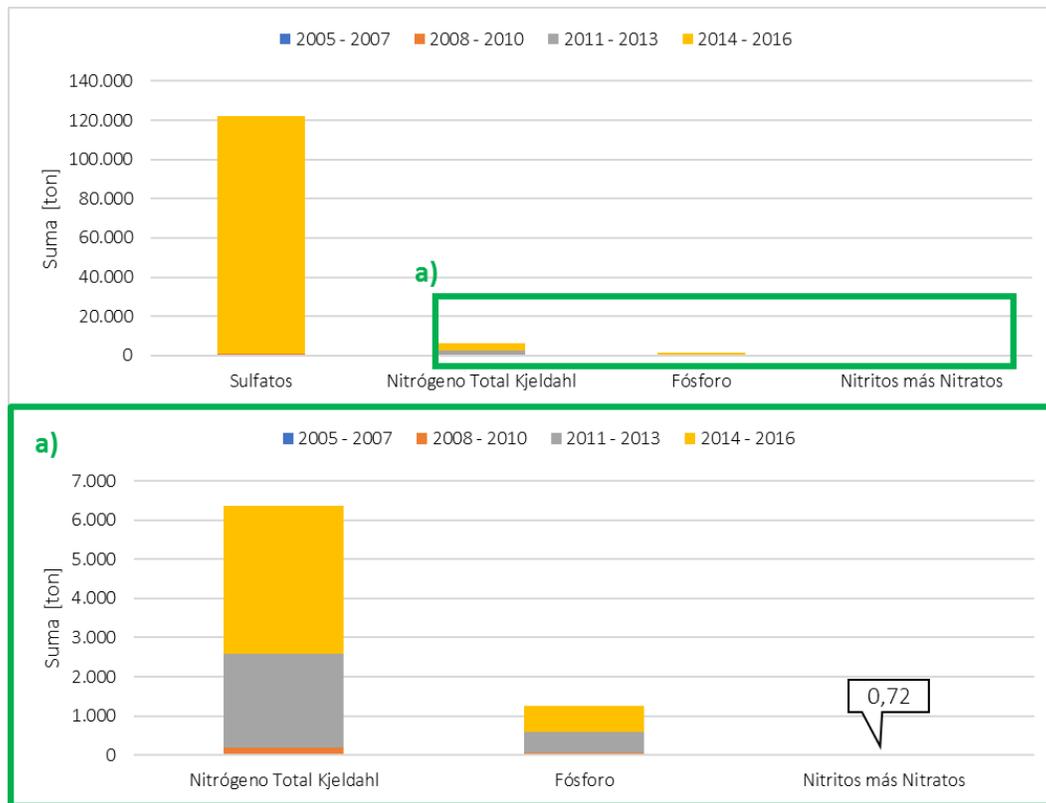


Figura 4.1-121 Masa de parámetros asociados a nutrientes y productividad, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

De los resultados anteriores se desprende que:

- Los sulfatos presentaron las mayores emisiones, con cargas 2 órdenes de magnitud que otros agentes asociados a nutrientes y productividad. Al analizar la procedencia de este alto flujo másico, se detectó que estas cifras provienen exclusivamente de la industria de generación eléctrica, lo cual puede asociarse a los procesos de las termoeléctricas (desulfuración con agua de mar). Cabe señalar que este elemento no es un problema debido a que las concentraciones de sulfato en agua de mar son elevadas de forma natural.

- Se debe poner especial atención al nitrógeno total Kjeldahl y al fósforo total, los cuales presentaron emisiones de 3 órdenes de magnitud, lo que da cuenta de un ingreso no menor de nutrientes al sistema. Se observa que gran parte de este flujo másico proviene de las centrales termoeléctricas (Central térmica Tocopilla y Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla).

Al analizar el comportamiento en otras bahías, la Figura 4.1-122 muestra que en Tocopilla existiría un ingreso mayor en comparación a las demás bahías.

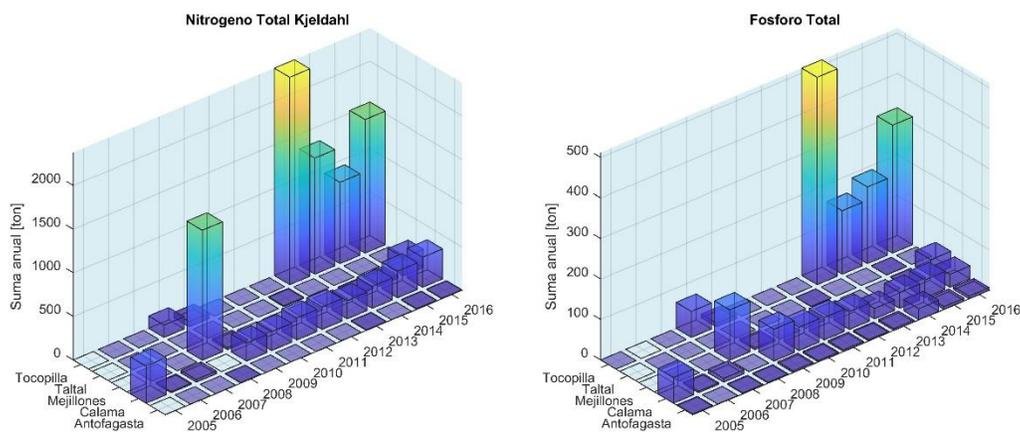


Figura 4.1-122 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de nutrientes en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla.

g) *Parámetros físicos*

Un total de 3 parámetros asociados al estado físico del agua han sido informados como emisiones al cuerpo receptor agua durante el 2005 al 2016. Análogo a los nutrientes y productividad, son ordenados de mayor a menor para identificar las mayores cargas.

Tabla 4.1-14 Masa de parámetros físicos, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Sólidos suspendidos totales (tons)	-	4.285,81	51.878,73	31.306,45	87.470,99
Aceites y grasas (tons)	-	3.274,11	2.880,27	990,52	7.144,90
Sólidos sedimentables (tons)	-	165,81	27,26	7,25	200,32

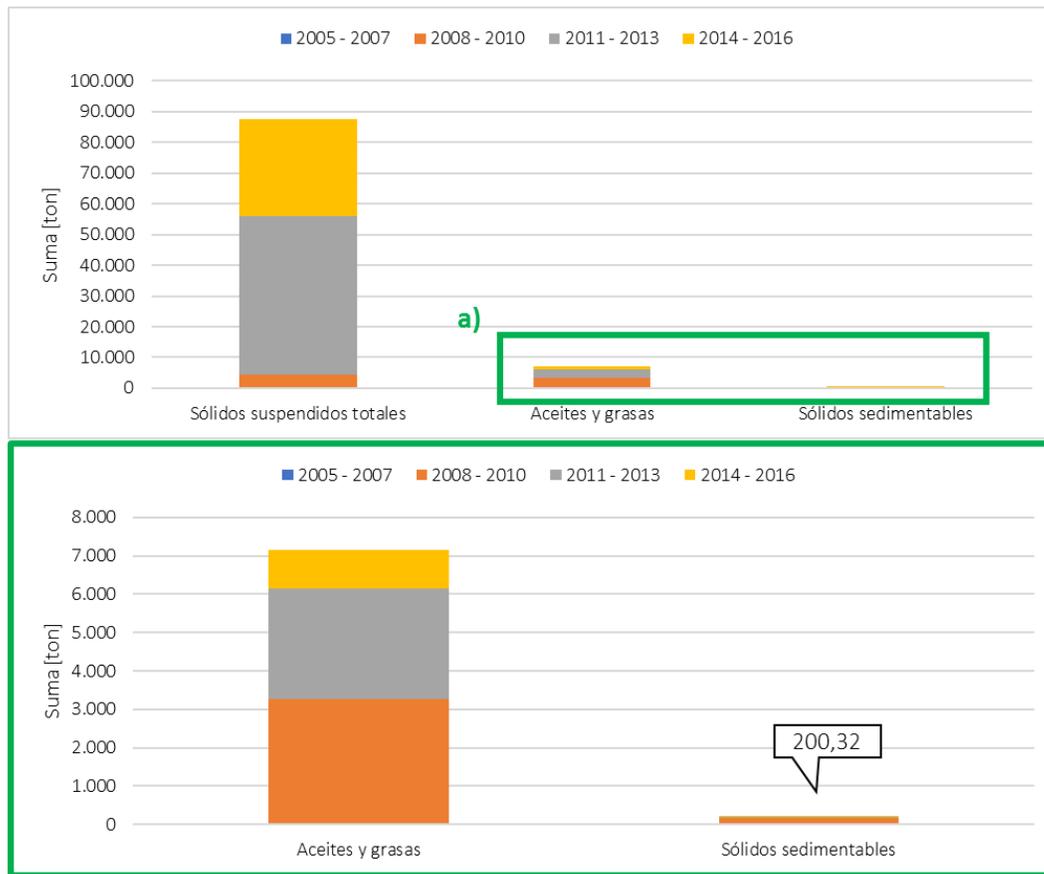


Figura 4.1-123 Masa de parámetros físicos, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

De los parámetros físicos encontrados en el sistema RETC, se desprende lo siguiente:

- Se observa un aporte importante de sólidos suspendidos totales en la comuna de Tocopilla. Al revisar su procedencia, se observa que los principales emisores son las centrales termoeléctricas. Este comportamiento resulta tener una carga similar en años, con una tendencia a disminuir en el último periodo. Asimismo, en el caso de aceites y grasas, se observó un aumento durante el periodo 2011-2013, para luego disminuir el ingreso a menos de la mitad en el periodo siguiente.
- En el caso de los sólidos sedimentables el orden de magnitud es inferior que el parámetro anterior, y 2 órdenes de magnitud inferior a los sólidos suspendidos totales, por lo que no representaría un especial interés este parámetro.

Ahora bien, comparando estos flujos máxicos con bahías cercanas (ver Figura 4.1-124) es posible identificar un patrón similar respecto a los sólidos suspendidos totales y sedimentables con la comuna de Mejillones. En el caso de los aceites y grasas, llama la atención que Tocopilla presente, durante los últimos 4 años, cargas similares a Antofagasta,

siendo que la bahía San Jorge (Antofagasta) es de mayor tamaño que bahía Algodonales (Tocopilla).

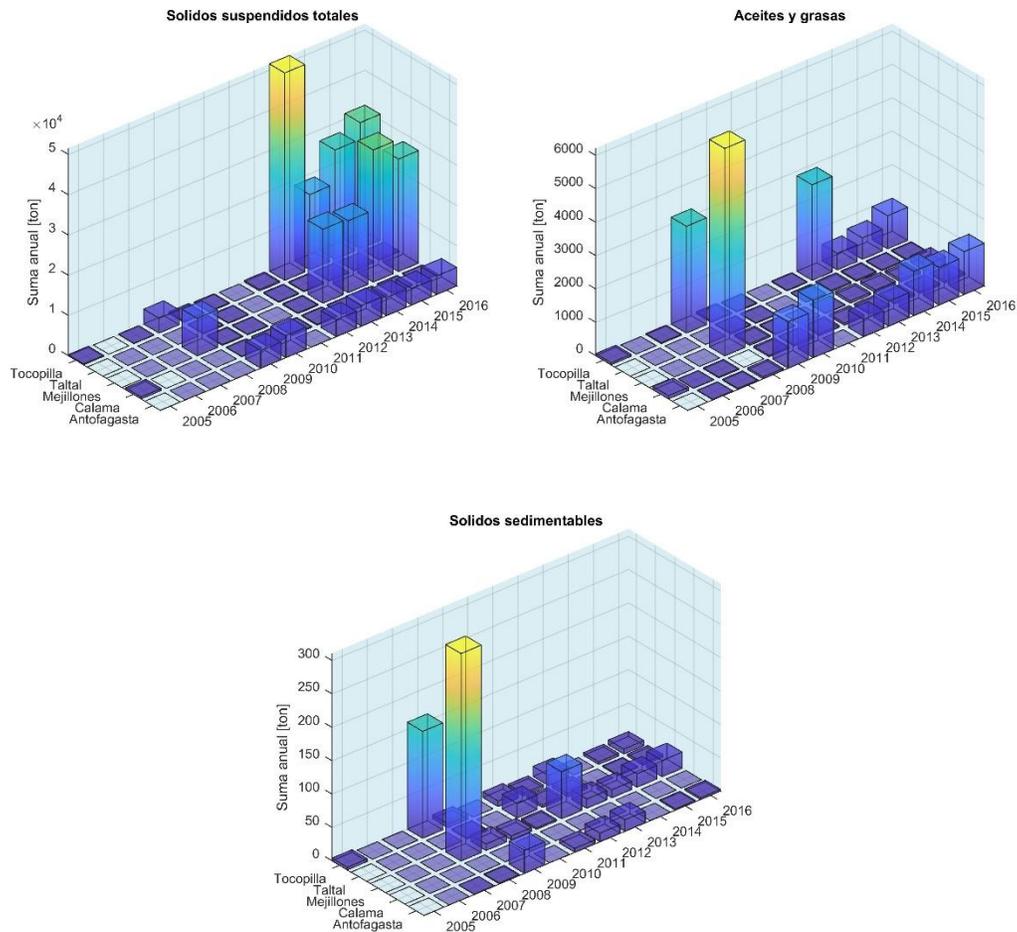


Figura 4.1-124 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de parámetros físicos en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla.

h) Otros parámetros de interés ambiental

Un total de 13 agentes categorizados como “otros parámetros de interés ambiental” han sido informados como emisiones al cuerpo receptor agua durante el 2005 al 2016. La Tabla 4.1-15 y Figura 4.1-125 dan cuenta de las cifras reportadas por las empresas a través del RETC.

Tabla 4.1-15 Masa de otros parámetros de interés ambiental, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Cloruros (tons)	-	1.151,32	-	872.050,16	873.201,48
Hidrocarburos totales (tons)	-	3.228,22	12,94	940,13	4.181,29

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Fluoruros (tons)	-	252,49	1.908,33	600,85	2.761,67
Indice de fenol (tons)	-	16,06	423,92	1,54	441,52
Hidrocarburos fijos (tons)	-	8,26	-	404,70	412,96
Hidrocarburos volátiles (tons)	-	321,03	1,71	28,77	351,51
Sulfuros (tons)	-	64,21	-	-	64,21
Sustancias Activas de Azul de Metileno (tons)	-	4,16	11,43	9,61	25,20
Cianuro (tons)	-	0,42	-	-	0,42
Tolueno - metil benceno - Toluol – Fenilmetano (tons)	-	0,17	-	-	0,17
Tetracloroetano (tons)	-	0,01	-	-	0,01
Triclorometano (tons)	-	0,01	-	-	0,01
Pentaclorofenol – PCP (tons)	-	0,00	-	-	4,00E-03

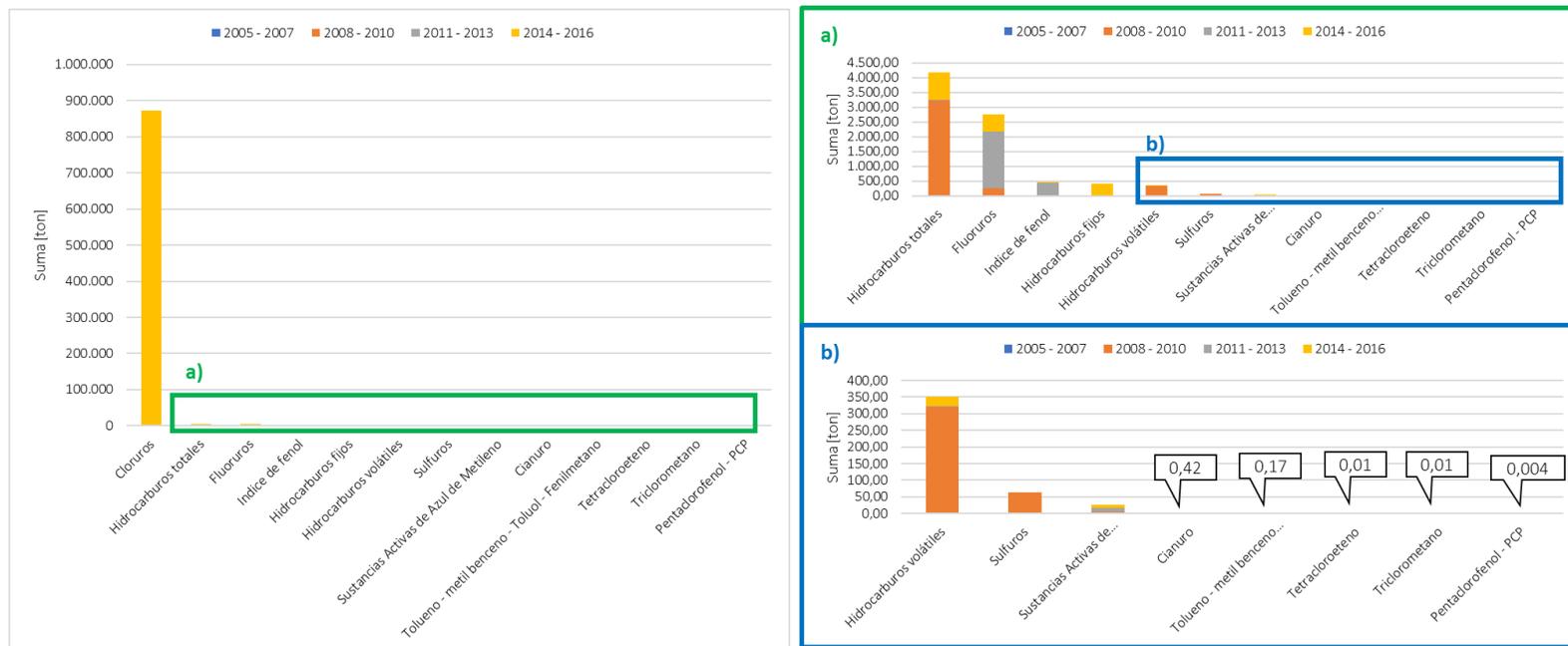


Figura 4.1-125 Masa de otros parámetros de interés ambiental, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

De los valores anteriores, se desprende lo siguiente:

- Se observa una cantidad importante de cloruros emitidos en la comuna, los cuales provienen de las centrales termoeléctricas, y pueden deberse a las purgas de sus sistemas de desulfuración de gases de combustión. Para efectos de considerarlo como parámetro de interés, este agente abunda en el medio marino por lo cual no generaría impactos al medio ambiente.
- Otros de los parámetros considerados de importancia por sus emisiones son los hidrocarburos (totales, volátiles y fijos), donde se aprecian cifras de 2 a 3 órdenes de magnitud. Asimismo, se ve que el periodo 2008-2010 se presentó el mayor aporte para estos tres parámetros.
- Por otro lado, se aprecian niveles de fluoruros y sulfuros, destacando el primero en donde en el periodo 2011-2013 las emisiones fueron de 3 órdenes de magnitud. Los niveles de sulfuros se encontraron por debajo
- Respecto a los demás parámetros, las emisiones son bajas por lo que no representarían un peligro, además sus bajos valores responden a que no existe este tipo de industria; textiles, plásticos, entre otros, en la zona de estudio.

Poniendo en contexto estos valores, la Figura 4.1-126 muestra la comparación con otras bahías cercanas, donde puede verse que Tocopilla se caracteriza por la emisión de hidrocarburos, índice de fenol y fluoruros en mayores cantidades que lo reportado en otros sectores.

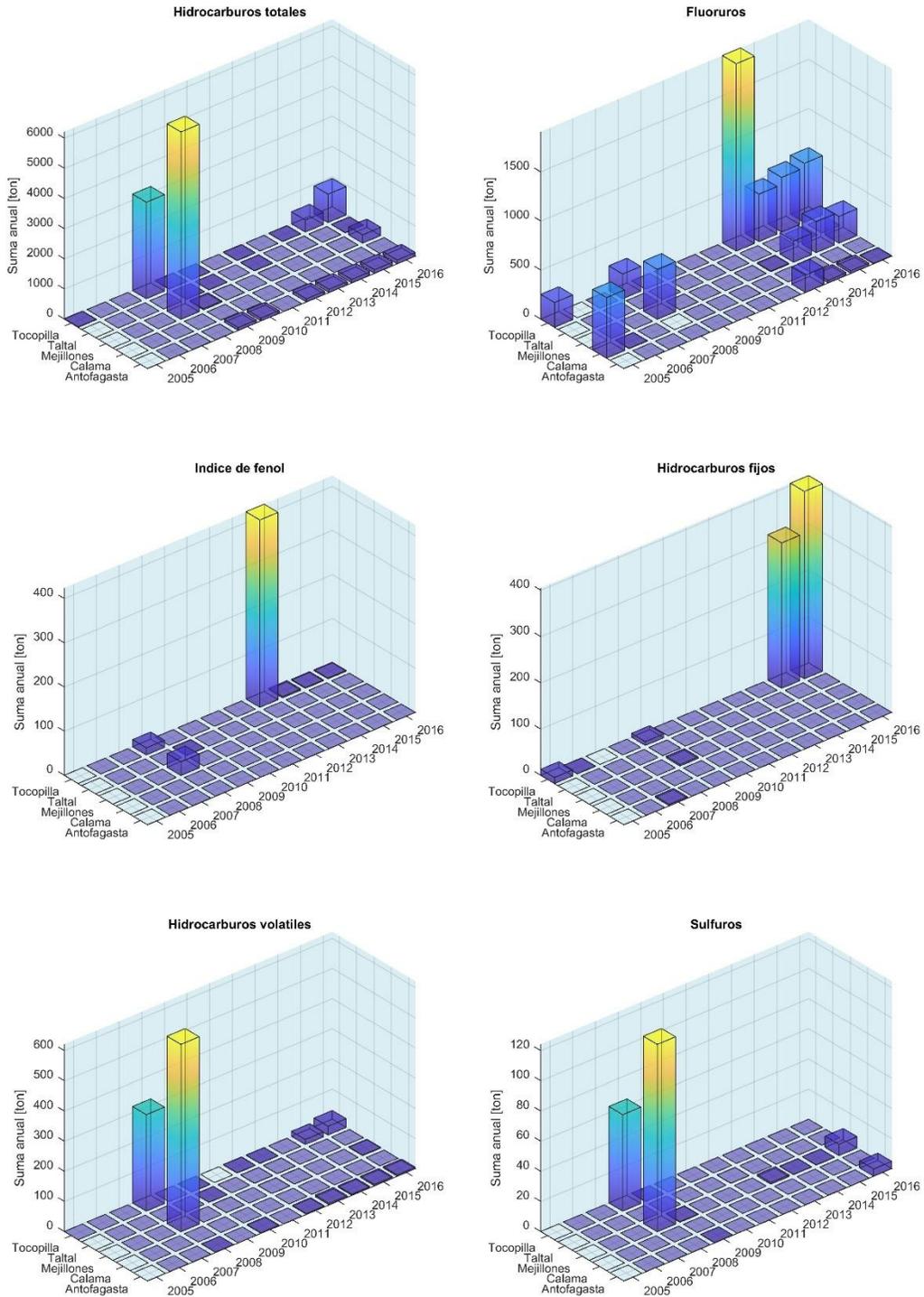


Figura 4.1-126 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de otros parámetros de interés ambiental en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla.

viii. Caracterización de emisiones fijas de aguas residuales

Las emisiones fijas de aguas residuales corresponden a todas aquellas descargas realizadas de forma directa a cuerpos de agua y que poseen un punto de descarga conocido e inamovible.

Para conocer las descargas presentes en Bahía Algodonales, se revisó el catastro de unidades fiscalizables en Tocopilla, Región de Antofagasta (Tabla 4.1-16) que presenta el Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA), donde se presenta información consolidada asociada a cada unidad, incluyendo ubicación, instrumentos aplicables e historial de fiscalizaciones y procedimientos sancionatorios. Al comparar la nómina de unidades fiscalizables con la información de RILES del año 2017 y 2018 facilitada por el mismo ente, se encontró solo 2 unidades con información de RILES: Central Tocopilla y Nueva Tocopilla.

Además de lo mencionado anteriormente, se recopiló información de la SISS en cuanto a la calidad de agua de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Agua Servida (PTAS) de Aguas Antofagasta en su emisario submarino entre los años 2010 y 2016.

Dado que se presentan discordancias con las fuentes emisoras entregadas por RETC, y que es información relevante en el OE-4, al implementarse en la modelación numérica que se llevará a cabo para detectar zonas de baja circulación de solutos, y que para caracterizar la descarga de solutos en la bahía se considera válida la información de descargas máscas entregada por RETC, a la fecha de entrega del presente informe se encuentra robusteciendo la base de datos de RILES

Tabla 4.1-16: Nómina de unidades fiscalizables en Tocopilla de SNIFA, región de Antofagasta.

#	Unidad Fiscalizable	Nombre Razon Social	Categoría	Comuna
1	COLLAHUASI - COMPAÑIA MINERA DOÑA INES	COMPAÑIA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI SCM	Minería	Tocopilla
2	PLANO DE LOTEOS ZOFRAT		Otras categorías	Tocopilla
3	PLANTA DE SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO	MINERA CAPACHO VIEJO LIMITADA	Minería	Tocopilla
4	CONTROL ALUVIONAL TOCOPILLA	MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS	Infraestructura Hidráulica	Tocopilla
5	TERMOELECTRICA NUEVA TOCOPILLA	AES GENER S.A. NORGENER S. A.	Energía	Tocopilla
6	PLANTA LIPESED	LIPESED S.A.	Minería	Tocopilla
7	MANTOS DE LA LUNA	COMPAÑIA MANTOS DE LA LUNA S.A.	Minería	Tocopilla
8	VIVIENDA SOCIAL TOCOPILLA		Vivienda e Inmobiliarios	Tocopilla
9	PODER DE COMPRA DE MINERALES ENAMI - BARRILES	ENAMI	Minería	Tocopilla
10	RELLENO SANITARIO QUEBRADA ANCHA		Saneamiento Ambiental	Tocopilla

#	Unidad Fiscalizable	Nombre Razon Social	Categoría	Comuna
11	ESTACION DE TRANSFERENCIA BARRILES		Transportes y almacenajes	Tocopilla
12	PLANTA DE CAL		Minería	Tocopilla
13	PLANTA DE LIX - SX - EW DE COBRE		Minería	Tocopilla
14	PARQUE INDUSTRIAL CONDOMINIO ASOCIACION GREMIAL DE PEQUEÑOS EMPRESARIOS DE MARIA ELENA		Equipamiento	Tocopilla
15	FUNDICION DE ACEROS ESPECIALES		Instalación fabril	Tocopilla
16	INSTALACION DE NUEVA GRUA Y TERMINAL MARITIMO DE GRANELES LIQUIDOS EN CENTRAL TERMoeLECTRICA TOCOPILLA	ELECTROANDINA S.A.	Infraestructura Portuaria	Tocopilla
17	LINEA DE ALTA TENSION S/E TOCOPILLA S/E TAMAYITA	ELECTROANDINA S.A.	Energía	Tocopilla
18	OPERACION CON DIESEL EN UNIDAD 16	ENGIE ENERGIA CHILE	Energía	Tocopilla
19	USO DE GAS EN UNIDADES TURBOGAS	ENGIE ENERGIA CHILE	Energía	Tocopilla
20	CENTRAL TOCOPILLA	ENGIE ENERGIA CHILE NORGENER S. A.	Energía	Tocopilla
21	CENTRAL BARRILES	ENGIE ENERGIA CHILE	Energía	Tocopilla
22	PUERTO DE TOCOPILLA	ELECTROANDINA S.A.	Infraestructura Portuaria	Tocopilla
23	CONSTRUCCION PLAYAS Y PISCINA BALNEARIO COVADONGA		Infraestructura Hidráulica	Tocopilla
24	ACUEDUCTO	COMPANIA MANTOS DE LA LUNA S.A.	Infraestructura Hidráulica	Tocopilla
25	PLAN SECCIONAL PS 1/96 CAMBIO DE USO DE SUELO SECTOR LA PATRIA DE TOCOPILLA		Otras categorías	Tocopilla
26	ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE TOCOPILLA		Otras categorías	Tocopilla
27	SECCIONAL MODIFICATORIO DEL PLAN REGULADOR DE TOCOPILLA MEJORAMIENTO ACUSTICO DEL EJE CENTRAL BARRERA DE MITIGACION Y CAMBIOS DE USO DE SUELO		Otras categorías	Tocopilla
28	EMISARIO SUBMARINO DE TOCOPILLA	AGUAS DE ANTOFAGASTA S.A.	Saneamiento Ambiental	Tocopilla
29	SOCIEDAD DE TRANSPORTES CAMARO LTDA.	SOCIEDAD DE TRANSPORTES CAMARO LIMITADA	Transportes y almacenajes	Tocopilla
30	PARQUE EOLICO EL LOA	APROVECHAMIENTOS ENERGETICOS S.A.	Energía	Tocopilla
31	MINA - PLANTA MANTOS AL SOL		Minería	Tocopilla
32	MINERA GATICO S.A.		Minería	Tocopilla
33	MINA ANGELICA		Minería	Tocopilla
34	PUERTO TOCOPILLA-SQM		Infraestructura Portuaria	Tocopilla

#	Unidad Fiscalizable	Nombre Razon Social	Categoría	Comuna
35	PANADERIA PENQUISTA		Equipamiento	Tocopilla
36	PANADERIA EL SOL		Equipamiento	Tocopilla
37	PANADERIA ROXANA		Equipamiento	Tocopilla
38	CORPESCA TOCOPILLA		Pesca y Acuicultura	Tocopilla
39	GRACE S.A		Energía	Tocopilla
40	MINA MANTOS DEL PACIFICO		Minería	Tocopilla
41	PANADERIA SANTA AGUSTINA TOCOPILLA		Equipamiento	Tocopilla
42	PANADERIA FATIMA TOCOPILLA		Equipamiento	Tocopilla
43	AMASANDERIA MATTA TOCOPILLA			Tocopilla
44	PLANTA DESALADORA TOCOPILLA		Saneamiento Ambiental	Tocopilla
45	PDA CIUDAD DE TOCOPILLA Y SU ZONA CIRCUNDANTE			Tocopilla

4.1.2 Geodatabase

Con la información recopilada y sistematizada, se ha elaborado una Geodatabase de acuerdo con las directrices establecidas por el concepto internacional de Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) ex SNIT. Al respecto, esta Geodatabase se presenta en anexos digitales (ANEXOS_DIGITALES/02_OE1/00_GEODATABASE).

El resultado contiene las cubiertas de calidad de agua, sedimentos y biota, además de un archivo mxd que compone la Geodatabase para la correcta visualización en el SIG y una tabla Excel correspondiente a un diccionario de datos con los elementos que componen la Geodatabase.

4.1.3 Discusión y conclusión

En términos de la condición instantánea de la columna de agua registrada a través de todo el periodo de estudio, se presentan una columna de agua con rangos relativos de variación del Oxígeno, Temperatura y pH, con un patrón de ciclicidad marcada para los mismos, definidos por periodos intercalados de valores mayores y menores, de los cuales el Oxígeno disuelto y la temperatura del agua presentaron un aumento en el tramo más actual del periodo en análisis. En este conjunto de parámetros destaca el pH, del cual bajo el 5% de sus valores registrados en el periodo de monitoreo histórico han estado fuera de los límites sugeridos por el D.S. N°144 (2009) y por el CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007).

En este mismo conjunto de parámetros de condición instantánea, se distingue los datos históricos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), que presentó una tendencia temporal marcada por una disminución en sus valores promedio anuales desde un máximo, al inicio del periodo, hasta un mínimo en los últimos años.

En cuanto a compuestos derivados del petróleo, como los hidrocarburos, el análisis histórico no es muy complejo, debido a la que mayor parte de los registros oscilaron

principalmente entre valores diversos de límites de detección, por lo que las tendencias no necesariamente están asociadas a cambios en la concentración de estos compuestos en la columna de agua a través de los monitoreos.

En el conjunto de parámetros definidos como “otros de interés ambiental”, destacan los Sólidos Suspendidos y los Aceites y Grasas como parámetros que han experimentado variaciones dentro del periodo estudiado, ambas con tendencia a la disminución dentro de los últimos años de monitoreo. En cuanto a los Sólidos Disueltos y la Turbidez, no se registran tendencias ni resultados concluyentes.

Por otra parte, en lo que se refiere a los nutrientes, el Fosforo total registró un comportamiento variado, tanto espacial como temporalmente, sin patrones de variación definidos. En tanto, el nitrógeno (en su forma oxidada como Nitrato) si ha experimentado un aumento sostenido durante los últimos años, a partir de un punto de inflexión y su máximo histórico entre 2003-2004, aun cuando tan solo el 1% de los registros históricos sobrepaso el límite máximo sugerido por la norma Canadiense CCME (2007).

En lo que se refiere a la contaminación biológica por bacterias, no se observaron tendencias en cuanto a las concentraciones de la fracción total de los Coliformes, así como de las Coliformes fecales, dentro del periodo estudiado. Además, estas últimas presentaron entorno al 1% de los registros históricos por sobre el máximo permitido en el D.S. N° 144 (2009).

Al analizar las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en la columna de agua de la bahía, puede distinguirse algunas tendencias, una de ellas es la observada en las fracciones totales del Cobre, Cromo y Zinc, los cuales presentan una tendencia clara de disminución con valores que descienden gradualmente desde el inicio del periodo histórico estudiado hasta los promedios mínimos anuales durante los últimos monitoreos.

Entre el análisis histórico destaca, además, un periodo entre 2006 y 2011, durante el cual, con la excepción de los máximos anuales de las fracciones disueltas de Mercurio, Cromo y Zinc, se observa en términos generales los menores valores de concentración para la mayoría de los metales. Por otra parte, los metales Plomo y Cadmio registraron durante 2000-2002 sus concentraciones totales máximas en cuanto a promedio anual se refieren. Asimismo, durante el periodo 2013-2017 se observan las mayores concentraciones disueltas de Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo; y totales de Níquel y Vanadio (Tabla 4.1-17).

Tabla 4.1-17. Cuadro resumen del rango de distribución de los valores de concentración de los distintos metales medidos en columna de agua. Se detalla la fracción medida como “d” disuelto y “t” total. La escala de color abarca desde el rojo con los valores más altos hasta el verde con los registros menores. Se omite en este análisis los metales Hierro (Fe) y Selenio (Se) por poseer solo una campaña de monitoreo. Los años sin medición se simboliza con “-”.

Metal (fracción)		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
As	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde	Rojo	Rojo	Verde	Amarillo	-	
	t	-	-	-	-	-	Amarillo	Amarillo	Verde	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	-
Cd	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	-	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	-	
	t	Amarillo	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Rojo	-	Rojo	Rojo	Amarillo	Amarillo	Verde	Rojo	Amarillo	Verde	Verde	Verde	-	-	-	-	Amarillo	-	-	-
Cr	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rojo	Rojo	Amarillo	Verde	Verde	-	-	-	-	-	-	-	
	t	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Amarillo	Amarillo	-	Amarillo	Amarillo	Verde	-	-	-	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	-	-	-	-	Verde	-	-	-
Cu	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Rojo	Rojo	Amarillo	Amarillo	-
	t	Rojo	Rojo	Rojo	Amarillo	Rojo	Amarillo	Amarillo	Verde	Amarillo	Amarillo	Verde	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Hg	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	-	
	t	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo	Verde	Amarillo	-	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	-	-	-	-	Amarillo	-	-	-
Ni	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Rojo	Verde	-
	t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rojo	-	Rojo	-	Verde	-
Pb	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	-	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	-	
	t	Verde	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Rojo	-	Rojo	Rojo	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo
V	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	-
	t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Amarillo	-	Verde	-	Rojo	-
Zn	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rojo	Verde	Verde	Amarillo	Rojo	-	-	-	-	-	-	-	-
	t	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Amarillo	Rojo	Rojo	-	Verde	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	-	-	-	Amarillo	-	-	-

As: Arsénico; Cd: Cadmio; Cu: Cobre; Cr: Cromo; Hg: Mercurio; Ni: Níquel; Pb: Plomo; V: Vanadio y Zn: Zinc.

Al realizar el análisis en cuanto a las concentraciones normadas para metales en columna de agua en base a los cuerpos normativos estudiados, se observa que del total de registros históricos, los metales Cadmio, Cobre y Plomo en sus fracciones disueltas, registran un alto porcentaje de excedencia en algunos de los umbrales máximos registrados en la normativa utilizada, de las cuales destaca la norma para Australia y Nueva Zelanda (2000), que es superada por todos los metales que norma, en mayor proporción por Cadmio (>49%), Cobre (>89%) y Plomo (>49%). Es notable que en términos promedio, un 48% de los registros de Cobre en la columna de agua estuvieron por sobre los máximos sugeridos, entre un 13% y 89% por sobre los límites menos y más restrictivos, respectivamente. También cabe destacar que, en cuanto a la normativa nacional, los metales que norma no presentan registros que excedan en límite máximo permitido. Asimismo, cabe señalar que las fracciones disueltas de los metales Arsénico y Selenio no registraron valores que excedieran los umbrales de ninguna norma analizada (Tabla 4.1-18).

Tabla 4.1-18. Cuadro resumen del porcentaje de excedencia de los valores de concentración en columna de agua para los distintos metales medidos, considerando las normas revisadas. La escala de color abarca desde el rojo con los porcentajes más altos hasta el verde con los menores. Se agrega un promedio de excedencia entre las distintas normas. Los metales sin medición norma se simbolizan con “-”.

Norma	D.S. N°144 2009	EPA WQG (CMC) 2009	EPA WQG (CCC) 2009	CCME 2007	Australia Nueva Zelanda 2000	Promedio
Metal						
As (d)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-	0,0%
Cd (d)	0,0%	0,0%	0,0%	61,5%	49,4%	22,2%
Cu (d)	-	12,6%	42,5%	-	89,4%	48,2%
Cr (t)	0,0%	-	-	-	-	0,0%
Hg (d)	0,0%	0,0%	25,5%	-	-	8,5%
Ni (d)	-	0,1%	4,2%	-	8,4%	4,2%
Pb (d)	0,0%	0,0%	0,0%	-	49,4%	12,4%
Se (d)	-	0,0%	0,0%	-	-	0,0%
Zn (d)	-	0,0%	0,0%	-	18,3%	6,1%

Al analizar las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en los sedimentos submareales de la bahía, puede distinguirse una tendencia observada para el Cobre, Cromo, Plomo, Zinc y un tanto menos marcado para Mercurio, en estos casos se observa que a lo largo del periodo en estudio las concentraciones promedio anuales han disminuido gradualmente desde los valores mayores en la década de los 90, hasta los registros mínimos actuales en las campañas 2017-2018. Además, destacan el Arsénico por registrar sus mayores valores en los últimos años del periodo y el Vanadio por presentar su mayor valor en el último año. Por otra parte, las concentraciones del Cadmio no presentan una tendencia clara, más bien, periodos alternados entre registros medios y bajos (Tabla 4.1-19).

Tabla 4.1-19. Cuadro resumen del rango de distribución de los valores de concentración en sedimentos submareales de los distintos metales medidos. La escala de color abarca desde el rojo con los valores más altos hasta el verde con los registros menores. Se omite en este análisis los metales Hierro (Fe) y Selenio (Se) por poseer solo una campaña de monitoreo. Los años sin medición se simboliza con “-”.

Metal	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
As	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde	-	-	Verde	Naranja	-	-	-	Verde	Verde	-	-	Rojo	Rojo	Naranja	Verde	Verde	-
Cd	Verde	Verde	-	-	-	-	Verde	Verde	Rojo	Verde	-	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Cu	Rojo	Rojo	-	-	-	-	Naranja	Verde	Verde	Verde	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Cr	Rojo	Naranja	-	-	-	-	Rojo	Verde	Rojo	Verde	-	-	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Hg	Verde	Naranja	-	-	-	-	Rojo	Verde	Naranja	Verde	-	-	Verde	Verde	Naranja	Naranja	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Naranja	Verde	Verde	Verde
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Naranja	-	-	-	-	Naranja	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Pb	Rojo	Naranja	-	-	-	-	Rojo	Naranja	Rojo	Verde	-	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde	-	-	-	-	Rojo	Verde	Rojo	Naranja	Verde	Verde	Rojo
Zn	Rojo	Naranja	-	-	-	-	Naranja	Verde	Naranja	Verde	-	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

As: Arsénico; Cd: Cadmio; Cu: Cobre; Cr: Cromo; Hg: Mercurio; Ni: Níquel; Pb: Plomo; V: Vanadio y Zn: Zinc.

En cuanto a las concentraciones normadas para metales en sedimentos, se observa que, del total de registros históricos, solo Arsénico y Cobre registran un alto porcentaje de excedencia en términos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada de Persaud (1993), MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG de Australia y Nueva Zelanda (2002). Es notable que, en términos promedio, un 81% de los registros de Cobre en sedimentos estuvo por sobre los máximos sugeridos, entre un 69% y 97% por sobre los límites menos y más restrictivos, respectivamente. En el caso del Arsénico en los sedimentos, los resultados indican que entre un 21% y un 69% de los registros históricos analizados estuvieron por sobre los máximos sugeridos, considerando las normas más y menos permisivas respectivamente, esto da como promedio un 46% de excedencia. Los otros metales presentan valores promedio menores, siendo los valores promedio más bajos de excedencia los del Mercurio, Níquel y Plomo, en ese orden (Tabla 4.1-20).

Tabla 4.1-20. Cuadro resumen del porcentaje de excedencia de los valores de concentración en sedimentos submareales de los distintos metales medidos, considerando las normas revisadas. La escala de color abarca desde el rojo con los porcentajes más altos hasta el verde con los menores. Se omiten en este análisis el Selenio y Vanadio, por no estar normados. Los metales sin medición norma se simbolizan con “-”.

Norma	Persaud (LEL)	Persaud (SEL)	MOP	ISQG	ISQG Australia	Promedio
Metal	1993	1993	1994	Canadá 2002	Nueva Zelanda 2002	
As	69%	33%	21%	64%	42%	46%
Cd	24%	2%	23%	24%	21%	19%
Cu	97%	69%	64%	96%	81%	81%
Cr	16%	5%	8%	8%	6%	9%
Fe	37%	18%	-	-	-	28%
Hg	2%	0%	2%	14%	3%	4%
Ni	17%	0%	3%	-	12%	8%
Pb	14%	0%	4%	14%	7%	8%
Zn	15%	7%	13%	15%	12%	12%

As: Arsénico; Cd: Cadmio; Cu: Cobre; Cr: Cromo; Fe: Hierro; Hg: Mercurio; Ni: Níquel; Pb: Plomo y Zn: Zinc.

Por otra parte, en cuanto a compuestos derivados del petróleo como los hidrocarburos el análisis histórico de los Hidrocarburos totales registrados en los sedimentos submareales se dos ciclos de aumento hasta máximos en 2010 y 2017, fuera de estos ciclos en términos del periodo completo no se observa una tendencia. En lo que se refiere a la concentración de Hidrocarburos Aromáticos en su fracción total, solo se observaron valores bajo el límite de detección en todas sus campañas.

En cuanto a la caracterización biótica, en Bahía Algodonales se cuenta con información del contenido de metales en organismos marinos, al menos para una especie, y ésta corresponde a *Perumytilus purpuratus* (Chorito maico). La fuente de información corresponde al Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), perteneciente a la

DIRECTEMAR. Para la mayoría de los metales analizados se cuenta con una serie de tiempo desde el año 1993 hasta el año 2017, el diseño de muestreo restringe la distribución de los puntos de muestreo al interior de la bahía Algodonales, presentando un mayor esfuerzo de muestreo en el sector norte (Toponimos POAL:Caleta Duendes, Punta Duendes, Pesquera Eperva y Pesquera Guanaye).

El metaloide arsénico y los metales cadmio, cobre, plomo y zinc presentan periodos de tiempo en donde han superado, al menos una, de las referencias nacionales y/o internacionales utilizadas en este análisis. En el caso del arsénico, cadmio y cobre, este patrón ha sido sostenido en el tiempo, incluyendo los últimos 3 años de muestreo (2015-2017) y espacialmente explícitos en los sectores denominados por el POAL como “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva” al norte de la bahía.

En el caso de los metales cromo, mercurio, plomo y zinc este patrón estuvo acotado en el tiempo entre los años 1993 y 2001 y espacialmente explícito en los sectores denominados por el POAL como “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva” al norte de la bahía. En los últimos años de monitoreo se han registrado concentraciones menores a los límites establecidos por las referencias respectivas para cada metal.

La información del RETC permitió cuantificar los flujos de entrada a la bahía provenientes de la actividad humana, mediante valores de descarga en tonelada/año de distintas componentes. Estos valores, al solo estar disponibles en valores acumulados anuales, no permitieron analizar en detalle la posible existencia de estacionalidad y/o variaciones intra-anales de los procesos involucrados de las descargas respectivas. Del mismo modo, otra falencia detectada, fue la incongruencia de la información entre los reportes categorizados por “establecimiento” y por “división política y administrativa”, al aparecer empresas en rubros distintos a los que se desenvuelven (CORPESCA en Generación de Energía, por ejemplo) en el primero, y no concordar la carga másica total entre ellos. Además, al no presentarse caudales y concentraciones de cada una de las descargas emitidas por las distintas unidades del registro, no fue posible llevar a cabo un análisis detallado de estos flujos. Así, se realizó un análisis de la cuantificación y búsqueda de posibles agentes de potencial interés para la bahía, considerando una posible afectación en términos de la masa que ingresa al sistema de las distintas componentes registradas, de manera de tener una mirada integral de la interacción antrópica con la bahía al considerar el desarrollo industrial y urbano de la comunidad, mediante los procesos industriales y operación del emisario submarino de aguas servidas, respectivamente.

De los resultados RETC, se destaca de los flujos másicos asociados a la comuna de Tocopilla, una componente importante asociada a las dos termoeléctricas instaladas en la zona. Dentro de estos flujos se registró emisiones de metales y metaloides como el boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente, componentes que no guardan relación con los procesos de estos establecimientos, además de una alta cantidad de nitrógeno total Kjeldahl y fósforo total, que dan cuenta de un ingreso importante de nutrientes al sistema.

Recientemente, el estudio “Diagnóstico ambiental de la bahía Mejillones del Sur”, Código BIP 30126368, ha barajado la posibilidad de que el origen de estos elementos sea la calidad de agua del agua marina que, a través de los procesos de succión, puede resuspender elementos depositados en el fondo marino, que son incorporados en las aguas de captación de las termoeléctricas, para luego ser eliminados nuevamente al medio marino. Esto sería consistente con las altas concentraciones de ciertos metales encontrados en la bahía de Tocopilla, además de las cargas registradas de nitrógeno total Kjeldahl y fósforo total.

4.2 Objetivo Específico 2 (OE-2)

OE2: Realizar un monitoreo integrado semestral de las matrices, columna de agua, sedimento y biota marina, en la bahía por un periodo de dos años.

4.2.1 Monitoreo estacional de las componentes ambientales columna de agua, sedimento y biota de la bahía Algodonales.

Se ejecutó la primera y segunda campaña correspondiente a invierno 2018, entre el día 04 de agosto y 11 de agosto de 2018, y verano 2019, entre el 11 de febrero y 20 de febrero de 2019, respectivamente, y que se desarrollaron con embarcaciones, personal de apoyo y buzos de la localidad de Tocopilla.

El área de estudio presenta una zona intermareal y una zona submareal, ambas con presencia de sustratos duros y blandos, sin embargo, en ambas existe una mayor proporción de sustratos blandos. En la zona submareal se caracterizaron las componentes columna de agua, sedimentos y biota marina. En la zona intermareal se caracterizaron las componentes biota marina y sedimentos (intermareal blando).

En la zona submareal del área de estudio se distribuyeron 7 puntos de muestreo (TOC_1-TOC_7), en los cuales se caracterizaron las componentes ambientales; a) calidad química de la columna de agua, en dos estratos (Superficie y Fondo), b) Calidad química de los sedimentos submareales, c) Caracterización de las comunidades planctónicas (Fitoplancton, Zooplancton e Ictioplancton), d) Caracterización de las comunidades bentónicas de sustrato blando (Macroinfauna). Considerando que, en la zona submareal del área de estudio, la mayor proporción del sustrato es blando y sólo existen formaciones rocosas aisladas que generalmente se encuentran embancadas de arena, no se realizó una caracterización de las comunidades bentónicas submareales de sustrato duro.

En la zona intermareal del área de estudio se distribuyeron 18 puntos de muestreo. En 6 puntos se evaluó la calidad química de los sedimentos (SED_1-SED_6). En 6 puntos se caracterizaron las comunidades bentónicas intermareales de sustrato blando (TIB_1-TIB_6). En 6 puntos se caracterizaron las comunidades intermareales de sustrato duro (TIR_1-TIR_6).

La ubicación y descripción de cada uno de los puntos de muestreo considerados en el diseño experimental, se presenta en la Figura 4.2-1 y Tabla 4.2-1, respectivamente.

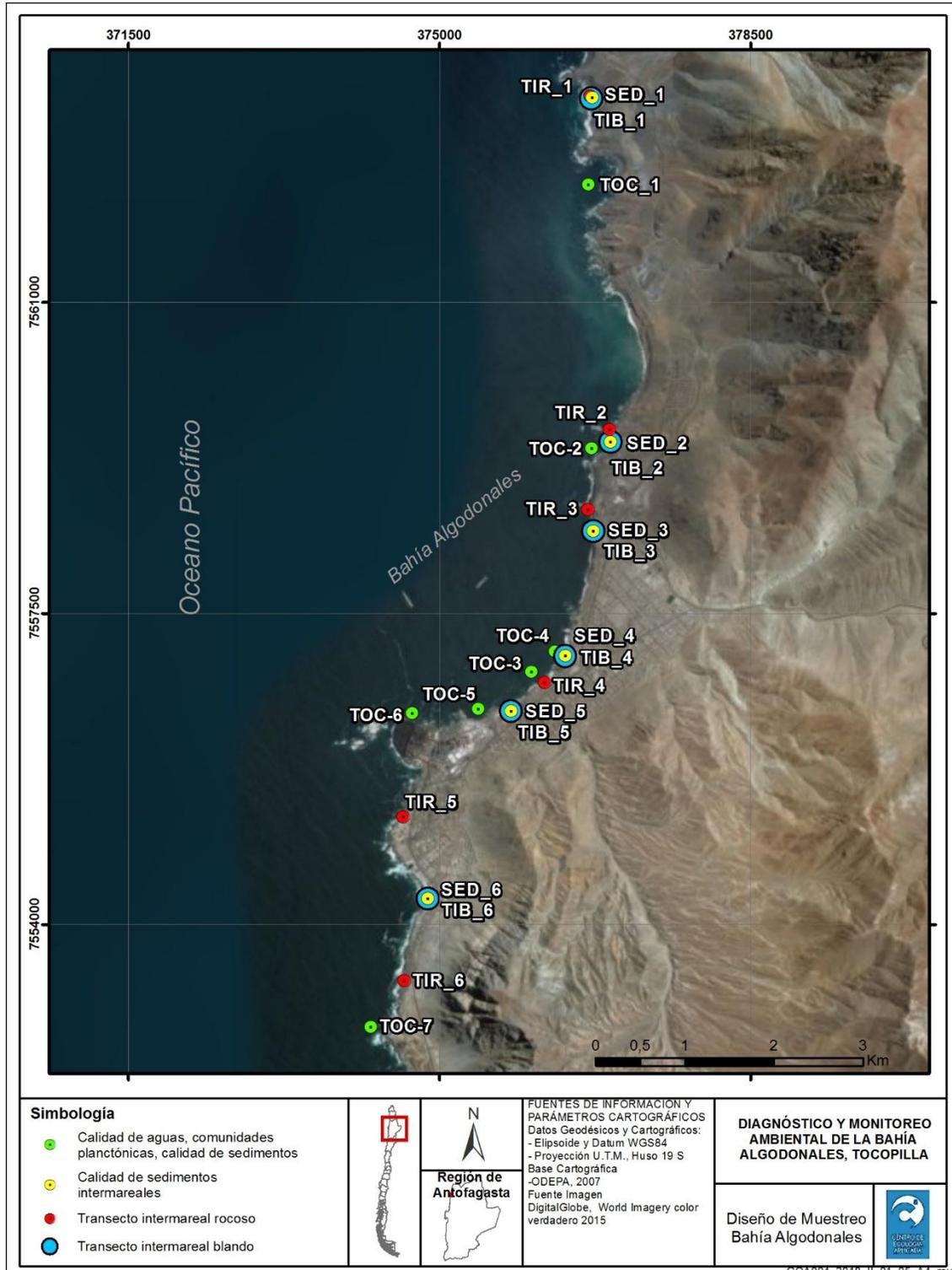


Figura 4.2-1: Ubicación de los puntos de muestreo en la columna de agua, sedimento y biota, Bahía Algodonales, Tocopilla.

Tabla 4.2-1: Ubicación y descripción de puntos de muestreo considerados en el diseño experimental.

Criterio bases técnicas/CEA	ID	Coordenadas UTM		Componentes a muestrear
		Norte (m)	Este (m)	
Caleta Vieja; Cenizales	TOC_1	7562332	376567	Calidad química de la columna de agua (S y F), Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal, Calidad química de sedimentos submareales.
Caleta Duendes; POAL: 013-A-To	TOC_2	7559358	376711	
Planta Lixiviación; POAL: 060-S-To	TOC_3	7556847	376028	
Playa/Camping	TOC_4	7557069	376295	
RCA NORGENER; POAL: 100-S-To	TOC_5	7556422	375432	
Punta Algodonales; POAL: 110-S-To	TOC_6	7556373	374690	
LIPESED	TOC_7	7552846	374223	
Caleta Vieja; Cenizales	SED_1	7562569	377006	Calidad química de sedimentos intermareales
Caleta Duendes	SED_2	7559431	376922	
Emisario Sanitario	SED_3	7558424	376725	
Playa/Camping	SED_4	7557022	376414	
RCA NORGENER	SED_5	7556403	375800	
Playa al sur Punta algodonales	SED_6	7554290	374863	
Caleta Vieja; Cenizales	TIR_1	7562375	376952	Biota sustrato rocoso submareal (TSR) e intermareal (TIR), metales e hidrocarburos en biota
Caleta Duendes	TIR_2	7559566	376908	
Emisario Sanitario; POAL:030-B-To	TIR_3	7558667	376664	
Playa/Camping	TIR_4	7556721	376177	
Roca al sur Punta algodonales	TIR_5	7555208	374584	
Playa al sur Punta algodonales	TIR_6	7553365	374598	
Caleta Vieja; Cenizales	TIB_1	7562567	377006	Macroinfauna intermareal
Caleta Duendes	TIB_2	7559431	376922	
Emisario Sanitario	TIB_3	7558424	376725	
Playa/Camping	TIB_4	7557022	376414	
RCA NORGENER	TIB_5	7556403	375800	
LIPESED	TIB_6	7554290	374863	

El detalle de las variables muestreadas en las tres componentes se presenta a continuación:

- **Columna de agua:** Profundidad, sólidos suspendidos, temperatura, pH, cloro libre residual, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, salinidad, turbidez, arsénico, amonio, grasas y aceites, hidrocarburos totales, nitratos, zinc, coliformes fecales y totales, cadmio, cobre, DBO₅, fósforo total, hidrocarburos alifáticos totales, clorofila (a), hierro, mercurio, plomo, vanadio, cromo, níquel, manganeso, molibdeno y selenio.
- **Sedimentos:** Granulometría, hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos totales, arsénico, cobre, cromo, mercurio, plomo, vanadio, hidrocarburos alifáticos totales, molibdeno, manganeso, níquel, zinc, cadmio, hierro, selenio y talio.
- **Biota:** Índices comunitarios y ecológicos (similitud, diversidad, uniformidad, etc.), riqueza específica, biomasa, cobertura, abundancia, antraceno, fenantreno, naftaleno, analitos en tejido animal (talio, mercurio, molibdeno, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, arsénico, selenio, vanadio, cromo y cadmio).

4.2.1.1 Campaña de invierno 2018

Entre los días 04/07/2018 y 11/08/2018 se llevó a cabo la mayoría de las actividades programadas, entre ellas la toma de muestras de calidad química de la columna de agua, intermareales blandos, derivadores. Por condición de puerto cerrado y baja visibilidad para realizar buceo, a partir del día 08/08/2018, quedaron pendientes las siguientes actividades:

- Toma de muestras de sedimentos submareales en el punto de muestreo TOC_6.
- Lanzamiento de derivadores en Sicigia-Vacante en todos los puntos y derivadores cuadratura llenante en los puntos DER4, DER5 y DER6.
- Filmaciones de submareal rocoso.

Estas fueron programadas para la semana comprendida entre los días 10/09/2018 y 16/09/2018, sin embargo, nuevamente se presentaron condiciones adversas al haber presencia de marejadas y condición de puerto cerrado, impidiendo la realización de las actividades.

En conversaciones con la autoridad marítima, se nos informó que el mes de septiembre se pronostica con fuertes vientos y marejadas en la región de Antofagasta, por lo que las actividades pendientes quedaron programadas entre los días 06/10/2018 y 08/10/2018.

De conversaciones con pescadores del sector y junto con información del servicio meteorológico de la Armada de Chile, se obtuvo información de que las condiciones marítimas no eran óptimas para la realización de las actividades entre los días 06/10/2018 y 08/10/2018, por lo que se postergarán para el mes de noviembre.

De la Figura 4.2-2 a la Figura 4.2-4 se adjuntan capturas de pantalla de situación de puerto e información de marejadas, entregadas por el servicio meteorológico de la Armada de Chile en los periodos señalados anteriormente.

El día 08/12/2018 se llevó a cabo una campaña extraordinaria para obtener los datos de derivadores restantes, midiendo el comportamiento en sicigia para las fases de vaciante y llenante en la bahía. Debido a la intensidad de las corrientes, uno de los derivadores utilizados resulto dañado, no permitiendo la obtención de la trayectoria del derivador DER1 a 5m de profundidad.



SERVICIO Meteorológico de la Armada de Chile
Jueves, 13 de septiembre de 2018 | 17:42:32

ENGLISH VERSION | Pronósticos | Versión Luján | Estado de Puertos | Reportes estadísticos | Estaciones Meteorológicas Automáticas | Artículos Editoriales

Estado de Puertos

Situación de los puertos del litoral, informada por las Autoridades Marítimas Locales:

PRIMERA ZONA NAVAL - SEGUNDA ZONA NAVAL - TERCERA ZONA NAVAL - CUARTA ZONA NAVAL - QUINTA ZONA NAVAL

Capital de Puerto	Estado del Puerto	Condición	Información Adicional	Fecha y Hora Local	Viento	Mar
CUARTA ZONA NAVAL - subir						
ARICA	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	SITIOS DE TRA 2B,3,4 Y SITIO 5 CERRADOS-SITIO 7 ENARJ CERRADO T.M CONAP SICA SICA CERRADOS	13/09/2018 09:52	Viento medido con instrumento Dirección 220° Intensidad 4 nudos	MAREJADA del Sur/ Oeste
PATACHE	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	TERMINALES MARITIMOS DE COLLAHUALS, PATACHE Y RATILLOS 1 Y 2 CERRADOS POR MAREJADAS	13/09/2018 06:03	Viento medido con instrumento Dirección 225° Intensidad 2 nudos	MAREJADA del Sur/ Oeste
IQUIQUE	Abierto - Condiciones normales	NORMAL		13/09/2018 06:03	Viento medido con instrumento Dirección 270° Intensidad 1 nudo	MAREJADILLA del Sur/ Oeste
MEJILLONES	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	TT.M.M. MINERA MICHELLA INHABILITADO POR RESOLUCIÓN LOCAL TT.M.M. CENTINELA CERRADO POR AVISO DE MAREJADAS VIGENTES. RESTO DE LA BAHÍA CONDICIÓN NORMAL.	13/09/2018 06:25	Viento medido con instrumento Dirección 250° Intensidad 4 nudos	MAREJADILLA del Nor/ Oeste
ANTOFAGASTA	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	SE MANTIENE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO POR MAREJADAS PARA ATU, ERA Y ENEX, MUELLE MECANIZADO PUERTO COLOSO ABIERTO. ZARPE PARA NAVES MENORES SUSPENDIDO.	13/09/2018 17:25	Viento medido con instrumento Dirección 215° Intensidad 14 nudos	MAREJADA del Sur/ Oeste
TALTAL	Abierto - Condiciones normales	MAREJADAS		13/09/2018 06:00	Viento medido con instrumento Dirección 225° Intensidad 2 nudos	MAREJADA del Norte
TOCOPILLA	Cerrado Totalmente - Paralización de actividad	MAREJADAS	CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA NAVES MAYORES Y NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA, TERMINALES MARITIMOS, PARALIZACIÓN DE FAENAS PORTUARIAS Y DE BUCEO.	13/09/2018 06:25	Viento medido con instrumento Dirección 054° Intensidad 4 nudos	MAREJADA del Nor/ Este

Figura 4.2-2: Aviso de puerto cerrado puerto de Tocopilla, informado por el servicio meteorológico de la Armada de Chile, para el día 13/09/2018.

Situación de los puertos del litoral, informada por las Autoridades Marítimas Locales:

PRIMERA ZONA NAVAL - SEGUNDA ZONA NAVAL - TERCERA ZONA NAVAL - CUARTA ZONA NAVAL - QUINTA ZONA NAVAL

Capitanía de Puerto	Estado del Puerto	Condición	Información Adicional	Fecha y Hora Local	Viento	Mar
CUARTA ZONA NAVAL » subir						
ARICA	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	SITIOS 2B, 3, 4 Y 5 DE TPA CERRADOS; SITIO 7 ENAPU CERRADO Y T.M. COMAP Y T.M. SICA SICA CERRADO	07/09/2018 04:04	Viento medido con instrumento Dirección 230° Intensidad 5 nudos	MAREJADA del Sur/ Oeste
PATACHE	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	070909 - SE MANTIENE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO SEGÚN EL SIGUIENTE DETALLE: - TERMINAL MARÍTIMO COLLAHUASI. - TERMINAL MARÍTIMO PATACHE. - TERMINAL MARÍTIMO PATILLOS 2. - MANIOBRAS DE AMARRAS/CORRIDAS DE NAVES EN TERMINALES. - TRABAJOS DE CARGA EN TERMINALES. - ZARPE DE NAVES MENORES DE 25 T.A.S. DENTRO/ FUERA DE LA BAHÍA. - FAENAS DE BUCEO. PUERTO ABIERTO. - TERMINAL MARÍTIMO PATILLOS 1.	07/09/2018 06:09	Viento medido con instrumento Dirección 220° Intensidad 5 nudos	MAREJADA del Sur/ Oeste
IQUIQUE	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA MANIOBRAS DE ATRACHE DEL SITIO N° 1, 3 Y 4, SE SUSPENDEN FAENAS SITIO N° 1, 2, 3 Y 4. SE MANTIENE PUERTO ABIERTO PARA LOS T.M. CODEC Y ESHAX, SITIO DE ATRACHE N° 2, NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA Y FAENAS DE BUCEO DENTRO DE LA BAHÍA.	06/09/2018 22:47	Viento medido con instrumento Dirección 277° Intensidad 3 nudos	MAREJADA del Sur/ Oeste
MEJILLONES	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	TT.M. MINERA MICHILLA INHABILITADO POR RESOLUCIÓN LOCAL, RESTO BAHÍA CONDICIÓN NORMAL, AVISO DE MAREJAS VIGENTE DESDE EL MIÉRCOLES 05 DE SEPTIEMBRE HASTA EL DOMINGO 16 DE SEPTIEMBRE.	07/09/2018 05:55	Viento medido con instrumento Dirección 298° Intensidad 4 nudos	RIZADA del Nor/ Oeste
ARTOFAGASTA	Cerrado Totalmente - Paralización de actividad	MAREJADAS	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA ATE, SPA Y TERMINAL MARÍTIMO ENEX. TERMINAL MARÍTIMO DE COLOSO SE MANTIENE ABIERTO Y ZARPE NAVES MENORES SUSPENDIDO.	07/09/2018 06:23	Viento medido con instrumento Dirección 245° Intensidad 10 nudos	MAREJADA del Sur/ Oeste
TALTAL	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	puerto abierto pero con manijas vigentes	07/09/2018 05:51	Viento medido con instrumento Dirección 025° Intensidad 1 nudos	CALMA (sin dirección).
TOCOPILLA	Cerrado Totalmente - Paralización de actividad	MAREJADAS	CERRADO PARA NAVES MAYORES, NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA, PARALIZACIÓN DE FAENAS PORTUARIAS Y DE BUCEO Y TERMINALES MARÍTIMOS.	07/09/2018 05:49	Viento medido con instrumento Dirección 260° Intensidad 6 nudos	RIZADA del Sur/ Oeste

Figura 4.2-3: Aviso de puerto cerrado puerto de Tocopilla, informado por el servicio meteorológico de la Armada de Chile, para el día 07/13/2018.



SERVICIO Meteorológico de la Armada de Chile

Lunes, 8 de octubre de 2018 | 09:57:32

ENGLISH VERSION | Pronósticos | Versión Liviana | Estado de Puertos | Reportes estadísticos | Estaciones Meteorológicas Automáticas | Artículos Editoriales

AVISO Especial Marejadas

Área o Sector: **GOLFO DE PENAS HASTA ARICA Y ARCHIPIÉLAGO JUAN FER**

» Fecha y hora local de validez:
Desde **09/10/2018 06:00** Hasta **13/10/2018 23:00**

Descripción del Aviso:

AVISO ESPECIAL DE MAREJADAS
GOLFO DE PENAS HASTA ARICA Y ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ

1.-FUERTE VIENTO EN ÁREA OCEÁNICA GENERARÁ OLEAJE Y MALAS CONDICIONES DE MAR, QUE SE PROYECTARÁN COMO MAREJADAS DEL SURWESTE CON ROMPIENTE EN EL BORDE COSTERO, SEGÚN EL SIGUIENTE DETALLE:

ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ : MARTES 09 OCTUBRE (AM).
GOLFO DE PENAS A GOLFO DE ARAUCO : MARTES 09 OCTUBRE (AM).
GOLFO DE ARAUCO A COQUIMBO : MARTES 09 OCTUBRE (PM).
COQUIMBO A ARICA : MIÉRCOLES 10 OCTUBRE (AM).

ALCANZANDO SU MAYOR DESARROLLO EN LAS RESPECTIVAS HORAS DE PLEAMAR Y SEGÚN CONDICIONES DE VIENTO LOCAL.

2.-ESTA CONDICIÓN SE MANTENDRÁ A LO MENOS HASTA:
GOLFO DE PENAS A GOLFO DE ARAUCO : MIÉRCOLES 10 OCTUBRE.
ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ : JUEVES 11 OCTUBRE.
GOLFO DE ARAUCO A COQUIMBO : JUEVES 11 OCTUBRE.
COQUIMBO A ARICA : SABADO 13 OCTUBRE.

3.-LA AUTORIDAD MARÍTIMA INSTA A LA COMUNIDAD A ACTUAR CON PRUDENCIA Y CAUTELA, RESPETANDO LAS NORMAS DE SEGURIDAD ESTABLECIDAS, EVITANDO EL TRANSITO POR SECTORES ROCOSOS, INGRESAR A PLAYAS O DESARROLLAR ACTIVIDADES NAÚTICAS Y DEPORTIVAS SIN LA DEBIDA AUTORIZACIÓN.

4.-ESTA Y OTRAS INFORMACIONES METEOROLÓGICAS SERÁN DIFUNDIDAS POR LA RED DE RADIOESTACIONES MARÍTIMAS COSTERAS, SISTEMAS DE COMUNICACIONES SATELITALES Y PUBLICADAS EN LA PÁGINA WEB:
<http://meteoarmada.directemar.cl> VERSION PARA NAVEGANTES
<http://web.directemar.cl/met/jturno/indice/index.htm> Y CUENTA TWITTER DEL CENTRO METEOROLÓGICO DE VALPARAÍSO @MetArmada_Valp.

MET104SM N°48/2018

ALERTAS

- Mal Tiempo: ISLA GUAMBLIM A FARO SAN PEDRO 08/10/2018 09:00 hrs.
- Especial Condiciones Meteorológicas Sin avisos vigentes
- Marejadas: GOLFO DE PENAS HASTA ARICA Y ARCHIPIÉLAGO JUAN FER 09/10/2018 06:00 hrs.

Estado de Puertos

síguenos en Twitter

- > @Servimet_Armada
- > @MetArmada_Ique
- > @MetArmada_Valp
- > @MetArmada_Thno
- > @MetArmada_Montt
- > @MetArmada_Mag

Herramientas

- > Conversión de Medidas

Normativas

- > Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar (S.O.L.A.S. 1974-78)
- > Informaciones para la Seguridad de la Navegación Marítima (OMM 9 2014) volumen D
- > Manual Conjunto OMI OHI OMM (2014)
- > Guía de los Servicios

Figura 4.2-4: Aviso de marejadas en la costa chilena, informado por el servicio meteorológico de la Armada de Chile, entre los días 09/10/2018 y 10/10/2018.

Por otro lado, la información preliminar que fue posible recopilar se detalla a continuación.

4.2.1.1.1 Cuerpo de agua

En la columna de agua de Bahía Algodonales se registraron parámetros in-situ (pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y potencial redox), se analizaron parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales, sólidos totales suspendidos y turbidez); nutrientes (amonio, fósforo total y nitrato); parámetros biológicos (clorofila a, coliformes totales y fecales, demanda bioquímica de oxígeno); metales disueltos (arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio, vanadio y zinc); y otros parámetros de importancia ambiental (cloro libre residual, aceites y grasas, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos totales). A continuación, se describen en mayor detalle los parámetros in-situ, arsénico, cadmio, cobre, plomo, vanadio y zinc. El resto de los resultados se presentan en Anexos digitales: 03_OE2/00_Resultados_Laboratorio y 03_OE2/01_CTD.

Las aguas de Bahía Algodonales presentaron valores de conductividad eléctrica homogéneos entre los puntos de muestreo submareales. A nivel de estratos, el superficial presentó mayores valores con respecto al estrato profundo (Tabla 4.2-2). La salinidad fue similar entre puntos de muestreo y estratos, con valores esperados para agua marina (mínimo=34,78 g/l y máximo=34,91 g/l) (Tabla 4.2-2).

El contenido de oxígeno disuelto en el estrato superficial de los puntos submareales varió de 6,0 mg/L a 7,6 mg/L, mientras que en el estrato profundo fue menor, 2,2 mg/L a 6,4 mg/L. En general, el estrato superficial presentó mejor oxigenación respecto al estrato profundo (Tabla 4.2-2).

Las aguas fueron moderadamente alcalinas, con variaciones en ambos estratos de 7,6 a 7,8. Valores que están dentro de los límites establecidos en la EPA (2009) y CCME (2007) (Tabla 4.2-2).

La temperatura varió entre 14 °C y 16°C en el estrato superficial de los puntos submareales y de manera similar en el estrato profundo las temperaturas estuvieron entre 14°C y 15°C (Tabla 4.2-2).

Los valores de potencial redox fueron propios de ambientes que favorecen las reacciones de oxidación, con valores entre 116,7 y 192,4 mV en el estrato superficial y con variaciones de 118,2 y 190,3 mV que en el estrato profundo. Especialmente los 2 estratos, presentaron el mismo patrón aumentando desde TOC-1 a TOC-3 para luego disminuir hacia los puntos ubicados al sur de la bahía (Tabla 4.2-2).

Tabla 4.2-2: Parámetros in situ medidos en la campaña de invierno 2018. Bahía de Algodonales.

Punto de muestreo	Temperatura	Conductividad Eléctrica	Salinidad	O2	pH	Potencial Redox	Turbidez
	°C	mS/cm	g/L	mg/l	-	mV	NTU
TOC1-S	14,50	42,19	34,78	7,40	7,78	116,72	1,63

Punto de muestreo	Temperatura	Conductividad Eléctrica	Salinidad	O2	pH	Potencial Redox	Turbidez
	°C	mS/cm	g/L	mg/l	-	mV	NTU
TOC1-F	13,96	41,70	34,81	4,23	7,65	118,23	1,91
TOC2-S	14,18	41,96	34,87	6,22	7,57	189,40	1,28
TOC2-F	14,05	41,83	34,86	4,73	7,67	186,78	1,34
TOC3-S	15,39	43,16	34,87	6,27	7,62	192,43	1,62
TOC3-F	13,61	41,42	34,87	2,21	7,56	190,30	3,50
TOC4-S	16,23	43,98	34,87	6,01	7,59	176,69	2,08
TOC4-F	13,95	41,74	34,86	3,12	7,64	175,44	3,14
TOC5-S	14,75	42,54	34,87	7,58	7,65	129,73	1,40
TOC5-F	14,52	42,29	34,85	6,38	7,76	141,07	1,68
TOC6-S	14,69	42,52	34,91	6,01	7,59	150,39	1,28
TOC6-F	14,27	42,05	34,86	4,23	7,72	149,49	1,51
TOC7-S	14,77	42,49	34,82	6,75	7,78	157,40	1,20
TOC7-F	14,22	41,98	34,84	6,31	7,75	157,73	1,30
CMC (Agudo) EPA,2009	-	-	-	-	-	-	-
CCC (crónico) EPA,2009	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-
CCME, 2007	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-

De los trece metales disueltos analizados, ocho presentaron concentraciones bajo el límite de detección (cadmio, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc), mientras que el arsénico y cobre registraron un solo valor cuantificable en TOC-5 fondo (Norgener) y TOC-4 superficial (Playa/camping), respectivamente. El resto de los puntos registró para estos 2 metales concentraciones bajo el límite. En el caso del cobre, la concentración superó el criterio de exposición crónica y aguda de la EPA,2009.

El molibdeno y el vanadio registraron concentraciones cuantificables en la mayoría de los puntos de muestreo (Tabla 4.2-3 y Tabla 4.2-4). El molibdeno no presentó diferencias entre estratos, la variación en el estrato superficial fue de <0,003 mg/l en TOC-3 (planta de lixiviación) y el resto de puntos entre 0,008 mg/l y 0,009 mg/l, mientras que en el estrato de fondo las concentraciones estuvieron entre 0,007 mg/l y 0,009 mg/l.

El vanadio tuvo un patrón similar en el estrato superficial y fondo, con concentraciones bajo el límite de detección en el punto de muestreo TOC-3 (planta de lixiviación) y para el resto de los puntos variaciones ente 0,208 mg/l y 0,218 mg/l.

Tabla 4.2-3: Metales disueltos medidos en la campaña de invierno 2018 en puntos de muestreo TOC1, TOC2, TOC3 y TOC4, en Bahía Algodonales.

Variable	TOC-1		TOC-2		TOC-3		TOC-4		EPA,2009	
	S	F	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088
Cobre	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	<0,003	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	<0,002	<0,002	0,004	0,01	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,003	0,01	0,01	0,01	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,074	0,0082
Plomo	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,21	0,0081
Selenio	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,29	0,071
Vanadio	0,21	0,208	0,213	0,217	0,218	0,211	<0,008	<0,008	-	-
Zinc	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,090	0,081

(-) normativa no estable concentración límite. **En negrita:** concentración supera criterio de exposición aguda.
Celda de color: concentración supera criterio de exposición crónica.

Tabla 4.2-4: Metales disueltos medidos en la campaña de invierno 2018 en puntos de muestreo TOC5, TOC6 y TOC7, en Bahía Algodonales.

Variable	TOC-5		TOC-6		TOC-7		EPA,2009	
	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088
Cobre	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	<0,002	0,01	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,074	0,0082
Plomo	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,21	0,0081
Selenio	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,29	0,071
Vanadio	0,214	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	-	-
Zinc	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,090	0,081

(-) normativa no estable concentración límite. **En negrita:** concentración supera criterio de exposición aguda.
Celda de color: concentración supera criterio de exposición crónica.

4.2.1.1.2 Calidad de sedimentos

En los sedimentos de Bahía Algodonales, se analizó la granulometría de los sedimentos; hidrocarburos (hidrocarburos totales, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos aromáticos totales); y metales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio, talio, vanadio y zinc). A continuación, se describen en mayor detalle la granulometría y los metales que presentan un interés por su toxicidad y mayor presencia en la matriz. El resto de los resultados se presentan en Anexos digitales: 03_OE2/00_Resultados_Laboratorio. Cabe mencionar que se tomó una réplica en cada una de las componentes.

La granulometría de los sedimentos de estudio se presenta en la Tabla 4.2-5 y Figura 4.2-5. El tamaño del grano de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales varía de arena muy gruesa a muy fina, con mayor predominancia de arena fina en los puntos de muestreo ubicados en caleta duendes (SED-2), emisario sanitario (SED-3) y Playa/camping (SED-4), indicando un menor flujo de energía, condiciones que favorecen la depositación de material fino. La arena gruesa y muy gruesa se observó al norte y sur de la bahía.

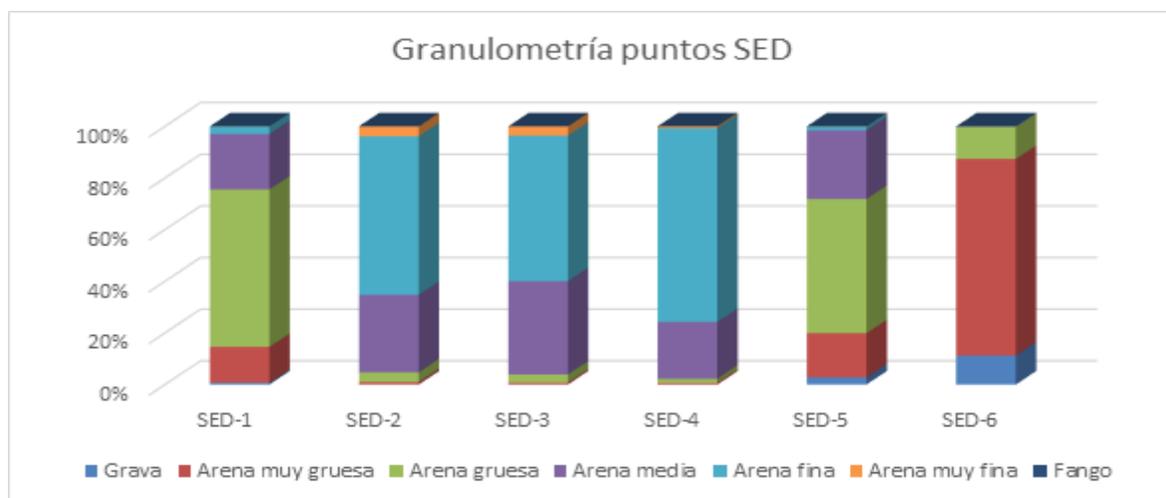


Figura 4.2-5: Granulometría en puntos de medición intermareal SED, campaña invierno 2018.

Tabla 4.2-5: Granulometría (%) de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

Punto de muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena Media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
SED-1	0,66%	13,96%	60,92%	21,50%	2,91%	0,05%	0,00%
SED-2	0,05%	0,89%	3,82%	29,98%	61,40%	3,84%	0,02%
SED-3	0,00%	0,71%	3,21%	36,16%	56,33%	3,59%	0,01%
SED-4	0,00%	0,62%	1,62%	22,02%	75,09%	0,65%	0,00%
SED-5	2,79%	17,12%	51,98%	26,61%	1,43%	0,07%	0,00%
SED-6	11,27%	76,11%	12,36%	0,13%	0,09%	0,05%	0,00%

En cuanto al contenido de metales en la bahía, especialmente las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (SED-2), emisario sanitario (SED-3), Playa/camping (SED-4) y Norgener (SED-5), indicando un menor flujo de energía en estos sectores, condiciones que favorecen la depositación. La excepción a este patrón se observó con el vanadio ya que las concentraciones de metales fueron mayores en caleta vieja (SED-1) (Tabla 4.2-6).

Tabla 4.2-6: Concentración de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		SED-01	SED-02	SED-03	SED-04	SED-05	SED-06	ISGQ	PEL
Hierro	mg/kg	45077,0	76176,0	149167,0	250903,0	106190,0	13954,0	(*)	(*)
Cobre	mg/kg	75,0	3328,2	6036,7	21581,0	9476,5	98,6	18,7	108
Zinc	mg/kg	20,0	846,0	3319,0	8090,0	2593,0	11,0	124	271
Molibdeno	mg/kg	5,0	364,0	619,0	986,0	388,0	5,0	(*)	(*)
Arsénico	mg/kg	1,3	146,2	438,6	917,4	495,9	4,1	7,24	41,6
Vanadio	mg/kg	436,3	136,3	126,6	145,8	58,1	43,7	(*)	(*)
Cromo	mg/kg	42,2	21,4	40,5	84,9	22,2	6,8	52,3	160
Plomo	mg/kg	0,6	15,2	29,6	73,5	31,6	0,5	30,2	112
Níquel	mg/kg	5,6	12,9	9,9	8,6	4,5	6,8	(*)	(*)
Selenio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Talio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Cadmio	mg/kg	0,1	0,1	0,4	0,8	0,5	0,1	0,7	4,2
Mercurio	mg/kg	0,01	0,02	0,03	0,08	0,03	0,01	0,13	0,7
Manganeso	mg/kg	-	-	-	-	-	-	(*)	(*)

(*) Normativa no establece límite de referencia.

Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002)

Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002)

La concentración de hierro varió entre 13954,0 mg/kg a 250903,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y SED-4 (playa camping), respectivamente. la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-6).

La concentración de cobre varió entre 75,0 mg/kg en SED-1 (caleta vieja) y 21581,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando en todos los puntos el criterio ISGQ y la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) en SED-2, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-6).

La concentración de zinc varió entre 11,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 8090,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-6).

La concentración de arsénico varió entre 1,3 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y 917,4 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-6).

La concentración de vanadio varió entre 43,7 mg/kg en SED-6 (playa al sur de caleta algodonales) y 436,3 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002).

La concentración de cromo varió entre 6,8 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 84,9 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando el criterio ISGQ correspondiente a 52,3 mg/kg en los puntos SED-3 y SED-4 (Tabla 4.2-6).

La concentración de plomo varió entre 0,5 mg/kg en SED-6 (caleta vieja, cenizales) y 73,5 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando el criterio ISGQ correspondiente a 30,2 mg/kg en este último punto (Tabla 4.2-6).

La concentración de cadmio varió entre 0,1 mg/kg en SED-1 (playa al sur de algodonales) y SED-2 (caleta duendes) a 0,8 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando el criterio ISGQ correspondiente a 0,7 mg/kg en este último (Tabla 4.2-6).

Así, considerando las muestras en cada uno de los puntos SED, para la bahía se obtuvo que los metales con mayor presencia en los sedimentos superficiales intermareales fueron el hierro ($106911,2 \pm 84768,9$ mg/kg), cobre ($6766,0 \pm 8104,4$ mg/kg) y zinc ($2479,8 \pm 3066,1$ mg/kg). Seguido de molibdeno ($394,5 \pm 375,4$ mg/kg), arsénico ($333,9 \pm 355,6$ mg/kg) y vanadio ($157,8 \pm 142,9$ mg/kg) (Tabla 4.2-7).

Tabla 4.2-7: Concentración promedio de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Hierro	6	106911,2	84768,9	13954,0	250903,0
Cobre	6	6766,0	8104,4	75,0	21581,0
Zinc	6	2479,8	3066,1	11,0	8090,0
Molibdeno	6	394,5	375,4	5,0	986,0
Arsénico	6	333,9	355,6	1,3	917,4
Vanadio	6	157,8	142,9	43,7	436,3
Cromo	6	36,3	27,2	6,8	84,9
Plomo	6	25,2	27,2	0,5	73,5
Níquel	6	8,1	3,1	4,5	12,9
Selenio	6	1,0	0,0	1,0	1,0
Talio	6	1,0	0,0	1,0	1,0
Cadmio	6	0,3	0,3	0,1	0,8

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Mercurio	6	0,0	0,0	0,0	0,1
Manganeso	-	-	-	-	-

(-): resultado a la espera de análisis del laboratorio.

El tamaño del grano de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales varió de grava a arena muy fina, con mayor predominancia de arena fina y muy fina. La arena gruesa y muy gruesa se observó al sur de la bahía, específicamente en el punto TOC-7 (Tabla 4.2-8 y Figura 4.2-6).

Tabla 4.2-8: Granulometría de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

Punto de muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
TOC-1	0,00	0,76	2,40	15,52	72,35	8,90	0,07
TOC-2	0,09	0,45	1,10	2,37	53,57	42,23	0,19
TOC-3	0,21	2,40	2,25	2,14	19,87	68,58	4,59
TOC-4	0,00	1,57	1,68	2,93	42,56	50,29	0,98
TOC-5	0,10	0,21	1,85	5,35	66,10	25,68	0,70
TOC-6	-	-	-	-	-	-	-
TOC-7	43,30	44,71	11,63	0,24	0,05	0,03	0,03

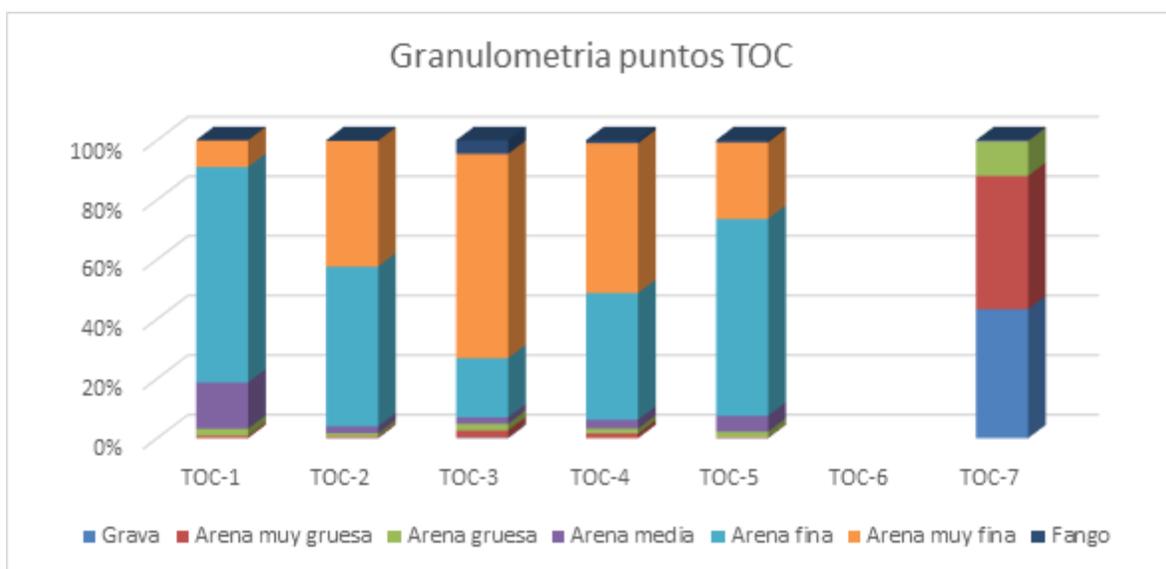


Figura 4.2-6: Granulometría en puntos de medición intermareal TOC.

En cuanto al contenido de metales en los puntos de medición intermareal TOC, la concentración de hierro varió entre 17328,0 mg/kg y 151753,0 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja-cenizales) y TOC-2 (caleta duendes), respectivamente. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9).

Tabla 4.2-9: Concentración de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		TOC-01	TOC-02	TOC -03	TOC -04	TOC -05	TOC-7	ISGQ	PEL
Hierro	mg/kg	17328,0	151753,0	75889,0	78918,0	56056,0	79352,0	(*)	(*)
Cobre	mg/kg	68,9	3560,4	4503,4	3272,9	989,3	6078,7	18,7	108
Zinc	mg/kg	20,0	3619,0	454,0	1029,0	471,0	38,0	124	271
Molibdeno	mg/kg	5,0	735,0	154,0	399,0	172,0	110,0	(*)	(*)
Manganeso	mg/kg	51,0	217,0	333,0	314,0	179,0	72,0	(*)	(*)
Vanadio	mg/kg	138,5	129,1	198,8	150,5	131,7	148,1	(*)	(*)
Arsénico	mg/kg	2,5	419,3	51,9	136,3	61,8	181,2	7,24	41,6
Cromo	mg/kg	9,0	48,5	25,1	23,8	15,4	117,2	52,3	160
Níquel	mg/kg	3,5	9,1	17,8	15,5	14,1	84,3	(*)	(*)
Plomo	mg/kg	0,6	26,4	13,1	18,5	18,9	11,5	30,2	112
Selenio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Talio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Cadmio	mg/kg	0,1	1,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,7	4,2
Mercurio	mg/kg	0,01	0,01	0,06	0,04	0,01	0,01	0,13	0,7

La concentración de cobre varió entre 68,9 mg/kg en TOC-1 (Caleta vieja-cenizas) y 6078,7 mg/kg en TOC-7 (LIPESED), superando , a excepción de TOC-1, la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002)) (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9).

La concentración de zinc varió entre 20,0 mg/kg en TOC-1 (Caleta vieja-cenizas) y 3619,0 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=108 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos TOC-02, TOC-3, TOC-4 y TOC-5) (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9).

La concentración de arsénico varió entre 2,5 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja, cenizas) y 419,3 mg/kg en TOC-2 (Caleta Duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos TOC-02, TOC -3, TOC -4, TOC-5 y TOC-7 (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9).

La concentración de vanadio varió entre 129,1 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes) y 198,8 mg/kg en TOC-3 (planta lixiviación), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9).

La concentración de cromo varió entre 9,0 mg/kg en TOC-1 (Caleta vieja-cenizas) y 117,2 mg/kg en TOC-7 (LIPESED), superando el criterio ISGQ correspondiente a 52,3 mg/kg en TOC-7 (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9).

La concentración de plomo varió entre 0,6 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y 26,4 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ, correspondiente a 30,2 mg/kg (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9).

La concentración de cadmio varió entre 0,1 mg/kg en TOC-1, TOC-3, TOC-5 y TOC-7 a 1,4 mg/kg TOC-2 (Caleta duendes), superando el criterio ISGQ correspondiente a 0,7 mg/kg en este último punto (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9).

Luego, de considerar todas las mediciones realizadas en los puntos TOC se destaca que, los metales con mayor presencia en los sedimentos submareales fueron el hierro ($76549,3 \pm 43810,1$ mg/kg), cobre ($3078,9 \pm 2223,7$ mg/kg) y zinc ($938,5 \pm 1363,9$ mg/kg). Seguido de molibdeno ($262,5 \pm 265,1$ mg/kg), manganeso ($194,3 \pm 118,2$ mg/kg), vanadio ($149,5 \pm 25,6$ mg/kg) y arsénico ($142,2 \pm 150,0$ mg/kg) (Tabla 4.2-7). Especialmente las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (TOC-2), planta de lixiviación (TOC-3), Playa/camping (TOC -4) y Norgener (TOC-5) (Tabla 4.2-10 y Tabla 4.2-9). Lo cual sugiere que en estos puntos existe un menor flujo de energía, condiciones que favorecen la depositación.

Tabla 4.2-10: Concentración promedio de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Hierro	6	76549,3	43810,1	17328,0	151753,0
Cobre	6	3078,9	2223,7	68,9	6078,7
Zinc	6	938,5	1363,9	20,0	3619,0
Molibdeno	6	262,5	265,1	5,0	735,0
Manganeso	6	194,3	118,2	51,0	333,0
Vanadio	6	149,5	25,6	129,1	198,8
Arsénico	6	142,2	150,0	2,5	419,3
Cromo	6	39,8	40,2	9,0	117,2
Níquel	6	24,1	30,0	3,5	84,3
Plomo	6	14,8	8,7	0,6	26,4
Selenio	6	1,0	0,0	1,0	1,0
Talio	6	1,0	0,0	1,0	1,0
Cadmio	6	0,3	0,5	0,1	1,4
Mercurio	6	0,02	0,02	0,01	0,06

4.2.1.1.3 Comunidades planctónicas

i. Fitoplancton

En el análisis cualitativo de fitoplancton se registró la presencia de un total de 59 taxa, de los cuales 38 corresponden al grupo de las diatomeas y 15 taxa al grupo de los

dinoflagelados (Tabla 4.2-11). La distribución espacial de fitoplancton fue heterogénea entre los puntos de muestreo, registrando índices de abundancia relativa entre “Raro” (R) a “Muy Abundante” (M). La diatomea *Chaetoceros* spp.. presentó un índice de abundancia relativa “Muy Abundante” (M) en toda el área de estudio con una frecuencia de ocurrencia del 100%. Otras Diatomeas “Abundante” y “Muy Abundante” fueron *Guinardia* sp., *Coscinodiscus* spp., *Planktoniella* sp., *Coscinodiscus perforatus*, *Detonula* sp., *Bacteriastrum* sp. En cambio, en dinoflagelados los géneros *Triplos* sp. y *Protopteridinium* sp. presentaron un índice de abundancia relativa “Muy Abundante” en los puntos de muestreo TOC-6 y TOC-2.

Tabla 4.2-11 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) de la comunidad de fitoplancton obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Chaetoceros</i> spp.	M	M	M	M	M	M	M
<i>Guinardia</i> sp.	M	M	M	M	M	M	A
<i>Coscinodiscus</i> spp.	M	M	M		M	M	M
<i>Planktoniella</i> sp.	M		M	M	M	M	M
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	M	M	M	M	M	A	A
<i>Detonula</i> sp.	M	M	M	A	M	M	
<i>Bacteriastrum</i> sp.	M		E	A	E	E	A
<i>Planktoniella</i> spp.		M					
<i>Pleurosigma</i> sp.		M	A			M	E
<i>Pennales</i> ind.	A		E	A	M	E	A
<i>Stephanopyxis</i> sp.	A	A	A	A	M	E	
<i>Coscinodiscus</i> sp.				M			
<i>Thalasionema</i> sp.		A	M			A	A
<i>Actinoptychus senarius</i>	E			E	E		E
<i>Actinoptychus</i> sp.	E		R		E		
<i>Asterionellopsis</i> sp.			E				
<i>Asteromphalus</i> sp.		A	E			E	
<i>Biddulphia</i> sp.					R		
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	A				A		
<i>Chaetoceros didymus</i>	E	A	E	E			E
<i>Corethron</i> sp.	E	E	R	E	E	R	E
<i>Cylindrotheca</i> sp.						E	
<i>Dactyliosolen</i> sp.		A	E			A	
<i>Ditylum</i> sp.	A	A	A		A	A	E
<i>Ditylum</i> spp.				A			
<i>Entomoneis</i> sp.		E	E			R	R
<i>Grammatophora</i> sp.	E	E	A	A	E		E
<i>Halamphora</i> sp.		A	E			E	R
<i>Leptocylindrus</i> sp.			A			R	

Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Licmophora sp.</i>			E	E		R	
<i>Lithodesmium sp</i>			E				
<i>Navicula sp.</i>			E			E	
<i>Plagiotropis sp</i>	E			E			
<i>Proboscia sp.</i>	E	A	E	E	A	E	A
<i>Rhizosolenia sp.</i>	R	A			E	E	
<i>Rhizosolenia spp.</i>			A				
<i>Thalassiosira sp.</i>		E					
<i>Trigonium sp.</i>				R			
Dinoflagelados	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Tripes muelleri</i>	E	A	E	R		A	R
<i>Tripes furca</i>		A				A	
<i>Protoperidinium depressum</i>		E	E			A	
<i>Protoperidium sp.</i>					A		
<i>Protoperidium spp.</i>	E	E	E	E		A	E
<i>Tripes lineatus</i>		E	R			A	
<i>Tripes spp.</i>	E			E			A
<i>Dinophysis acuminata</i>	E	E				E	E
<i>Dinophysis caudata</i>						R	E
<i>Tripes balechii</i>				R			
<i>Tripes fusus</i>	E	E		R		E	
<i>Tripes horridus</i>		E				E	
<i>Tripes limulus</i>	E			E	R		E
<i>Tripes pentagonus</i>	R						
<i>Tripes sp.</i>					R		
Silicoflagelados	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Dictyocha sp.</i>	E		E	E	A	E	E
<i>Dictyocha spp.</i>		M					
Tintinidos (microzooplancton)	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Tintinnopsis sp.</i>	E	A	E	E	E	E	E
Otros grupos	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Foraminifero</i>	E			R		R	
<i>Rhodophyceae ind</i>						R	
<i>Chlorophyceae ind</i>						R	

En el análisis cuantitativo de fitoplancton se registró un total de 59 taxa, de los cuales 40 taxa pertenecen al grupo de las diatomeas y 14 taxa al grupo de los dinoflagelados. No se observa un patrón espacial en particular (Figura 4.2-7a).

La abundancia de fitoplancton, en general, registró las mayores magnitudes en el sector norte del área de estudio (TOC-1-TOC-3) (Figura 4.2-7b).

Entre las microalgas identificadas, la diatomea *Coscinodiscus* sp. registró las mayores abundancias en toda el área de estudio (TOC-1 a TOC-7), tanto en el estrato superficial (Figura 4.2-8) como en el de fondo (Figura 4.2-9).

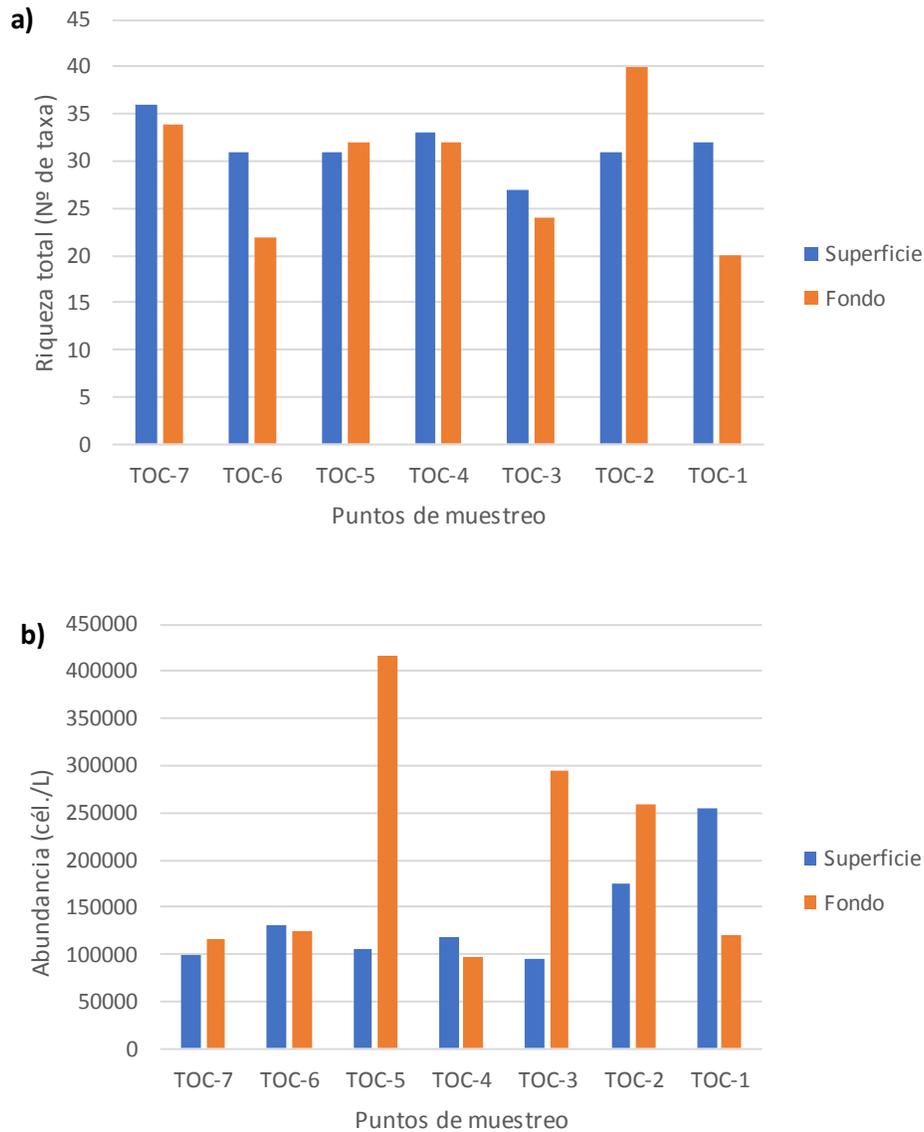


Figura 4.2-7 a) Riqueza y (b) Abundancia del Fitoplancton en dos estratos de la columna de agua (Superficie y Fondo). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

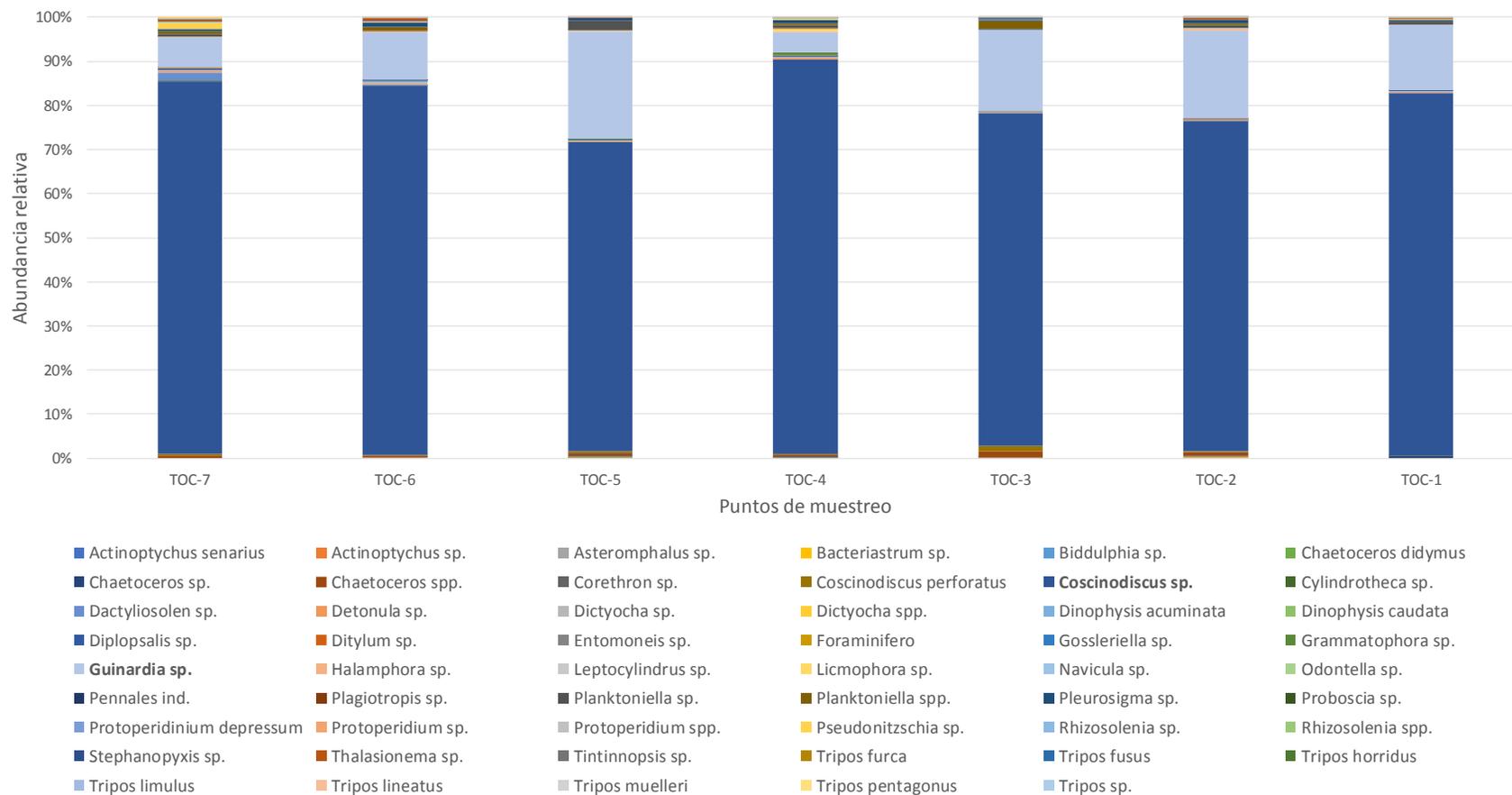


Figura 4.2-8 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato superficial de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

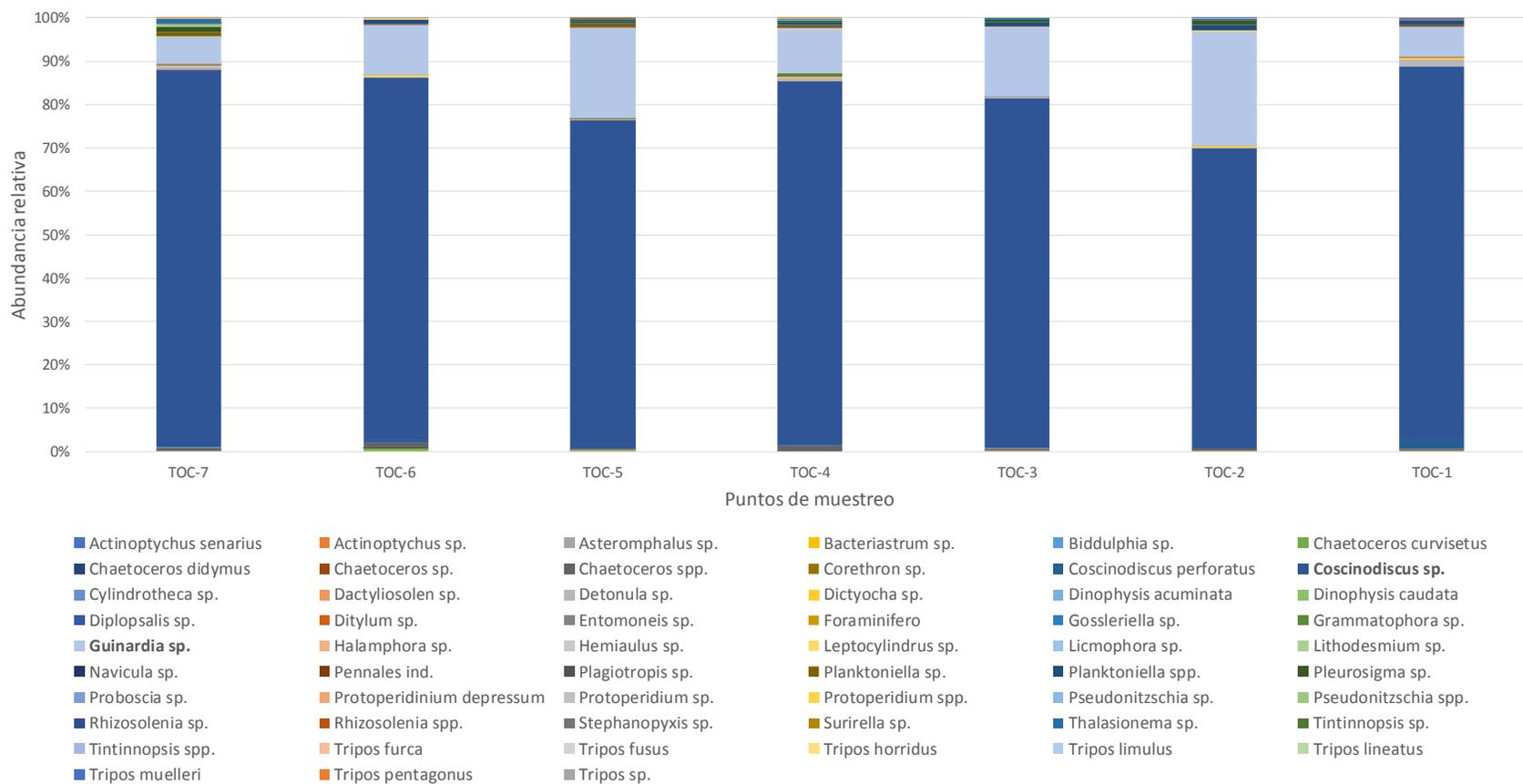


Figura 4.2-9 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato fondo de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

ii. Zooplancton

La caracterización del ensamble de zooplancton, se realizó en función de las características del ciclo de vida de los taxa identificados; i) Meroplancton, compuesto por organismos que desarrollan sólo una parte su ciclo de vida en el plancton y ii) Holoplancton, compuesto por organismos que desarrollan su ciclo de vida completo en el plancton.

El Meroplancton registró 15 taxa. A nivel espacial, la riqueza total presentó en general un patrón homogéneo en el área de estudio (Figura 4.2-10a). En cuanto a la abundancia, las mayores magnitudes se registraron en los extremos norte y sur del área de estudio (TOC-1 y TOC-7, respectivamente) (Figura 4.2-10b).

La composición de taxa indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios y poliquetos en el área de estudio. (Figura 4.2-11).

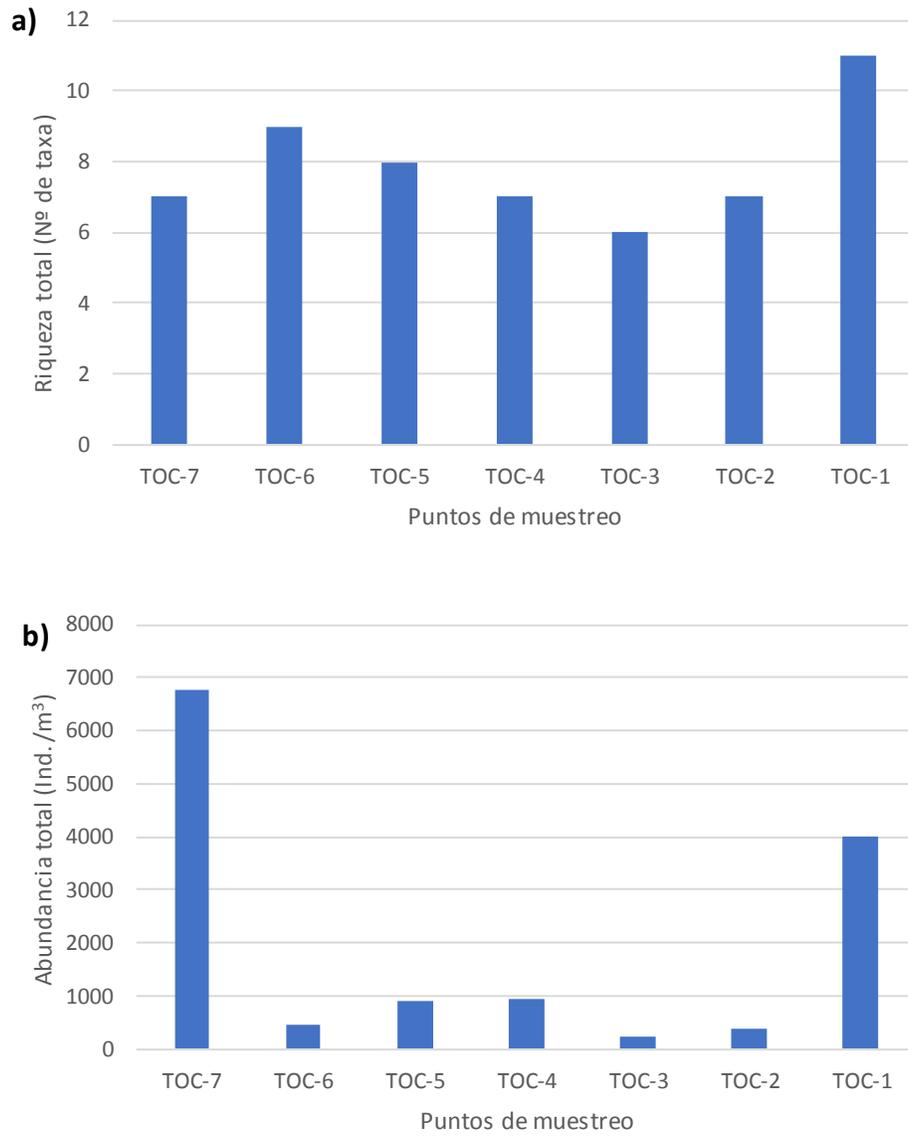


Figura 4.2-10 a) Riqueza y (b) Abundancia del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

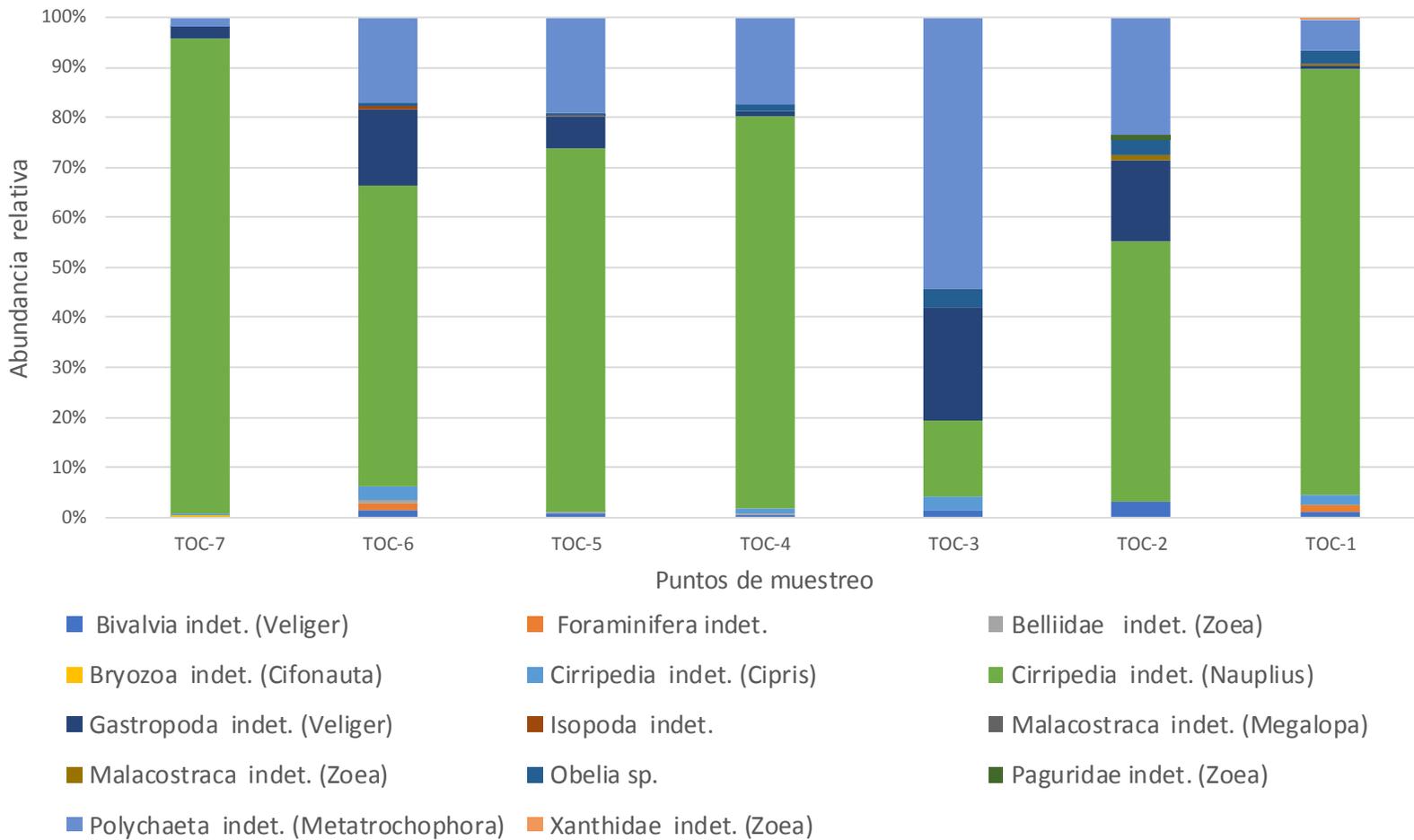


Figura 4.2-11 Abundancia Relativa (%) del Meroplankton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

El Holoplancton registró 16 taxa compuesto principalmente por Copépodos. A nivel espacial, en general, la riqueza total presentó un patrón homogéneo en el área de estudio (Figura 4.2-12a). En cuanto a la abundancia, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos de muestreo, observándose las mayores magnitudes en los puntos de muestreo TOC-7 y TOC-5 (Figura 4.2-12b).

Durante la campaña de invierno en el área de estudio se registró mayor presencia de copépodos. Las mayores abundancias relativas fueron registradas por los copépodos *Calanus sp.*, *Oithona sp.* y *Oncaea sp.* (Figura 4.2-13).

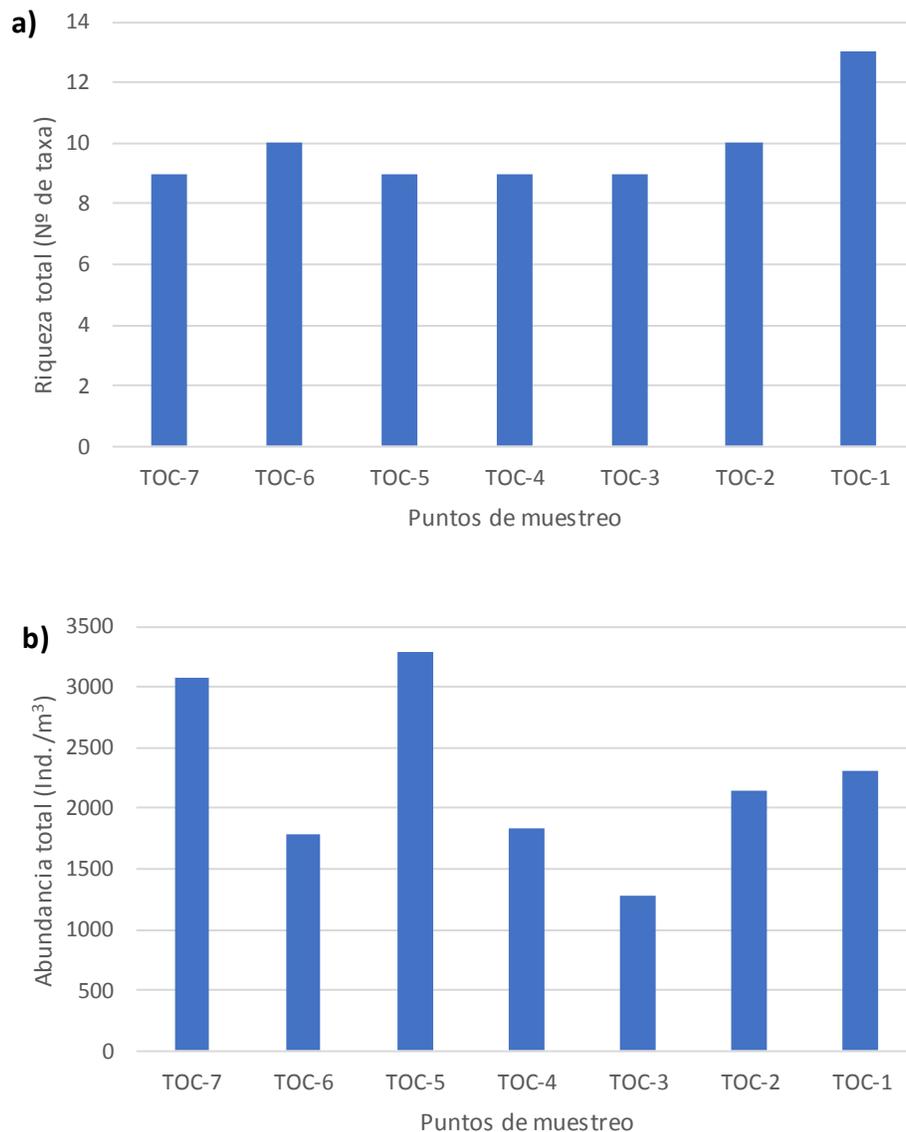


Figura 4.2-12 a) Riqueza y (b) Abundancia del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

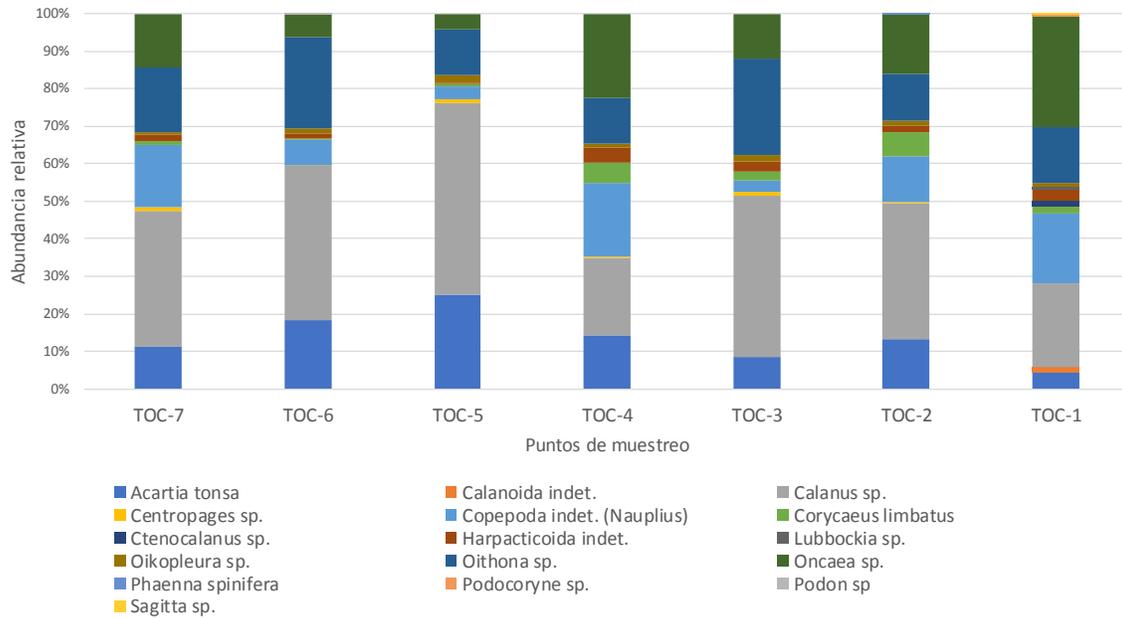


Figura 4.2-13 Abundancia Relativa (%) del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

iii. Ictioplancton

El ictioplancton registro una riqueza total de 8 taxa. La riqueza total en el área de estudio presentó valores irregulares entre los puntos de muestreo, con mayor cantidad de huevos en el sector central del área de estudio (entre TOC-2 y TOC-5) (Figura 4.2-14a).

La abundancia, presentó las mayores magnitudes en la porción de los huevos y en el sector entre TOC-2 y TOC-5. La porción de larvas en la presente campaña de invierno presentó valores de abundancia menores que la de huevos en todos los puntos de muestreo (Figura 4.2-14b).

Para determinar la dominancia de organismos del ictioplancton en el área de estudio, se consideraron todos los taxa registrados durante la campaña actual. La Anchoqueta (*Engraulis ringens*) y el Baúnco (*Girella laevifrons*) dominaron en la porción de huevos en todos los puntos de muestreo (Figura 4.2-15 a y b), mientras que en la porción de larvas se registró sólo la presencia de Anchoqueta. (Figura 4.2-15b).

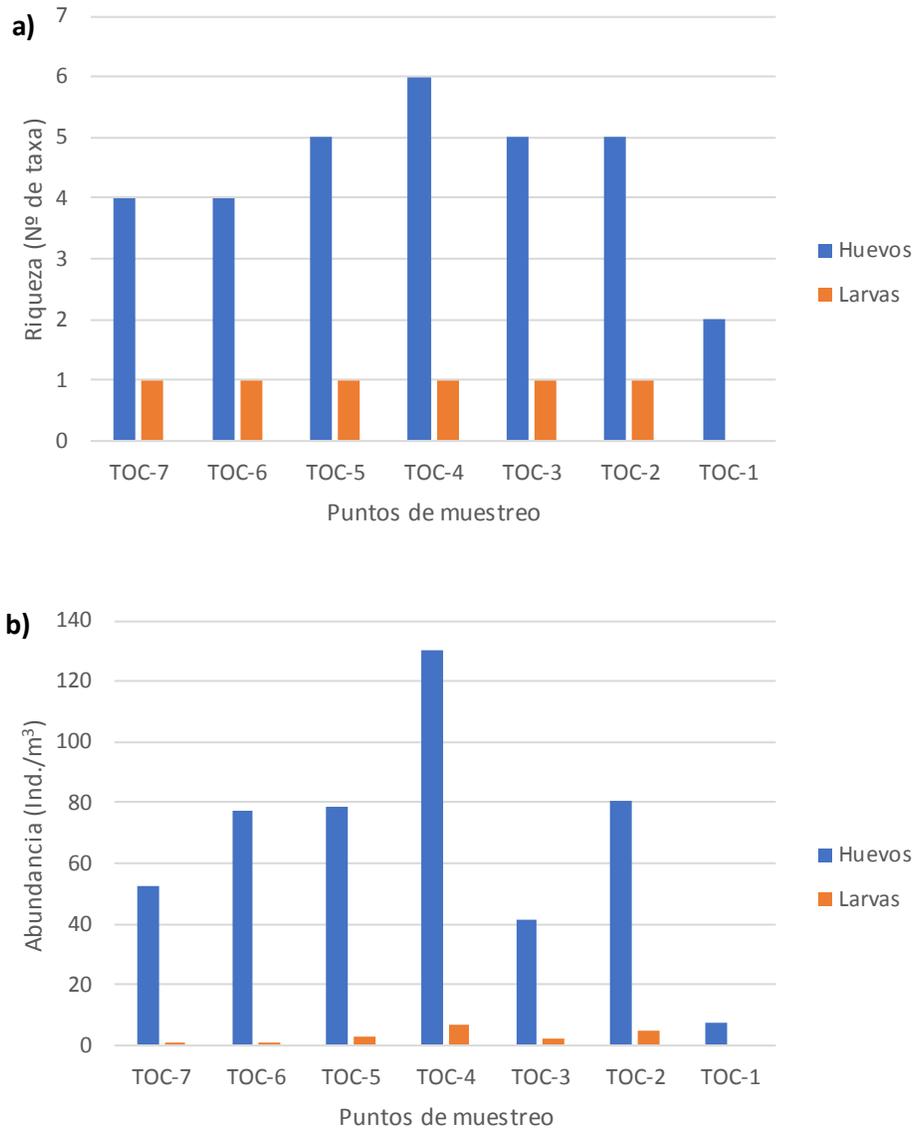


Figura 4.2-14 a) Riqueza y (b) Abundancia del ictioplancton (Huevos y Larvas). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018

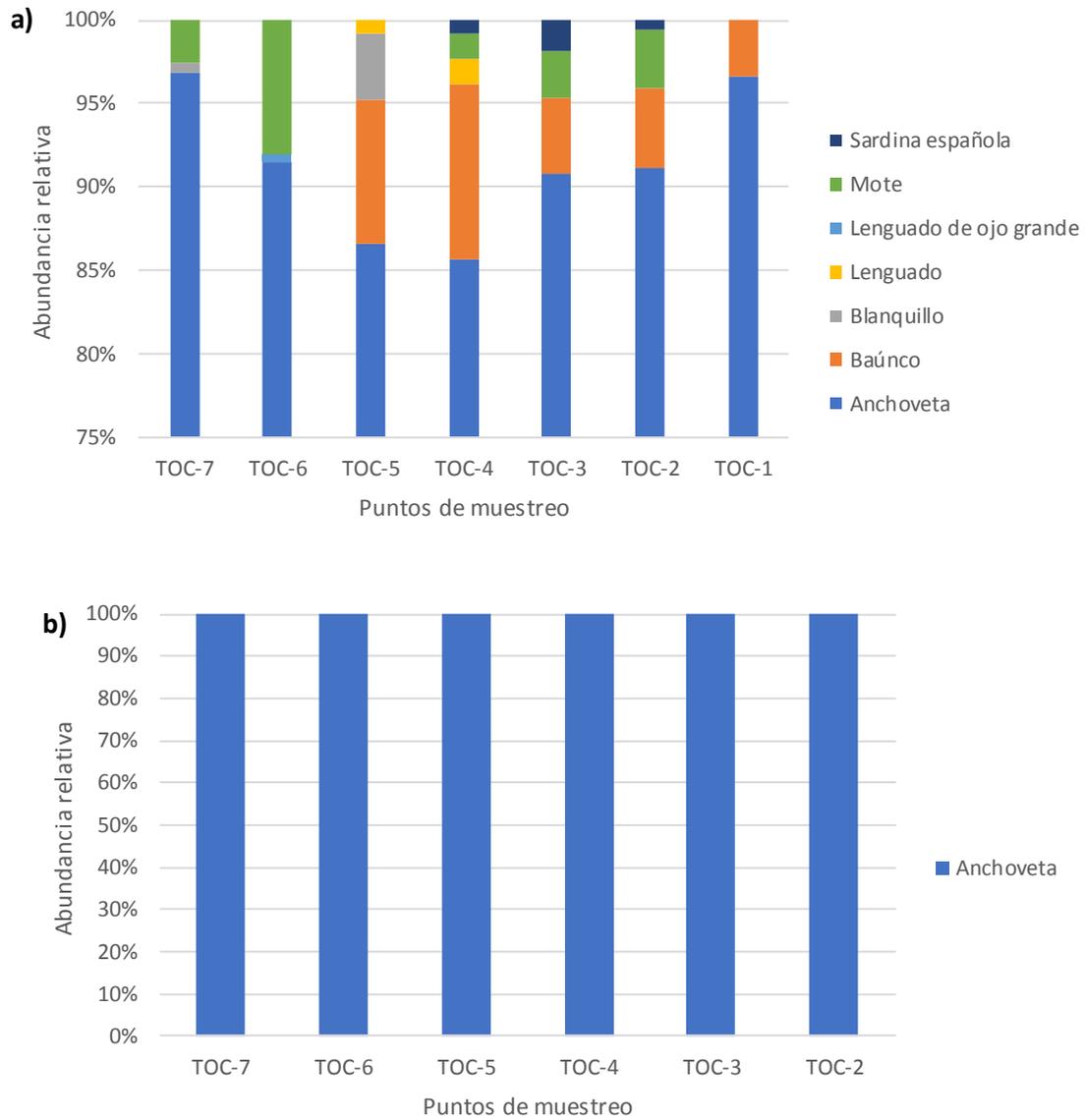


Figura 4.2-15 (a) Abundancia Relativa (%) de porción de Huevos y (b) Abundancia Relativa (%) de la porción de Larvas del ictioplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

4.2.1.1.4 Comunidades bentónicas submareal blando

Los ensambles de macroinfauna submareal prospectados estuvieron constituidos en total por 19 grupos taxonómicos. La mayor riqueza fue registrada en el extremo norte del área de estudio (TOC-1) y la menor en el sector sur (TOC-6) (Figura 4.2-16a).

Con relación a los valores de abundancia estimados en el área de estudio, las mayores magnitudes fueron registradas en el extremo norte del área de estudio (TOC-1). Este patrón se observó tanto para la expresión en densidad, como para la expresión en biomasa (Figura 4.2-16b).

Con relación a las abundancias relativas estimadas en los ensambles prospectados, se registró una prevalencia de gusanos poliquetos de la familia Hesionidae (TOC-7) y del género *Nephtys* sp. (TOC-5). Por otra parte, en el punto de muestreo TOC-4 sólo se registró la presencia de *Excirolana braziliensis* (Figura 4.2-17).

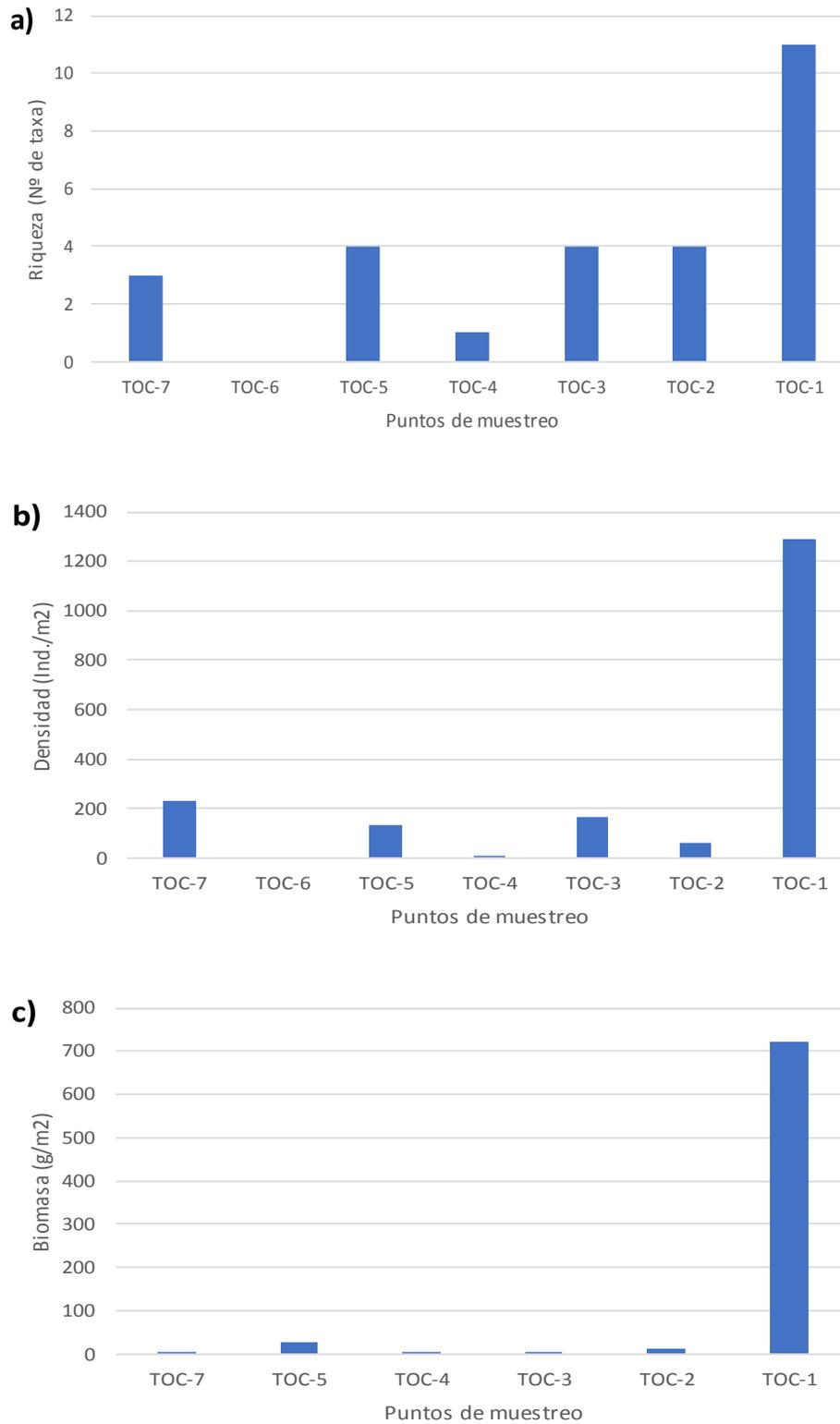


Figura 4.2-16 Riqueza (a), Densidad (b) y biomasa (c) de ensamblajes de macroinfauna submareal presentes en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

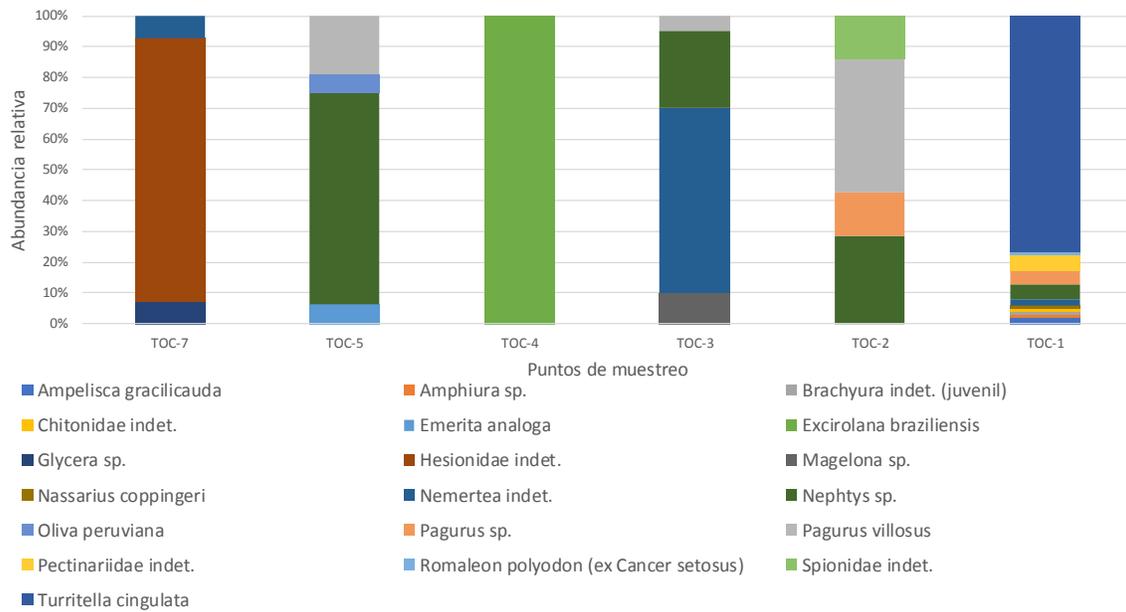


Figura 4.2-17 Abundancia relativa de ensamblajes de macroinfauna submareal presente en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

4.2.1.1.5 Comunidades bentónicas submareal duro

Los resultados de este componente serán incluidos en el próximo informe, puesto que a la fecha están en proceso.

4.2.1.1.6 Comunidades bentónicas intermareal blando

Considerando los 6 transectos visitados (TIB-1 a TIB-6), se reconoció un total de 8 grupos taxonómicos, donde los gusanos poliquetos presentaron la mayor distribución y abundancia en el área de estudio. Las mayores riquezas se registraron entre los puntos de muestreo TIB-3 y TIB-6, en ambos casos asociadas al estrato medio y superior (Figura 4.2-18a).

Con relación a los valores de abundancia, las mayores densidades fueron registradas en los estratos medio e inferior del transecto intermareal TIB-6 (Figura 4.2-18b). Mientras que las mayores biomásas fueron registradas en el estrato inferior del transecto TIB-2 (Figura 4.2-18 b y c).

Con respecto a las abundancias relativas, *Emerita analoga* sólo se registró en el estrato inferior del transecto TIB-2, en donde fue el único taxón registrado. Un patrón similar ocurre con los Chironómidos en el estrato superior del transecto TIB-4 y con los oligochaetos registrados en el estrato superior del transecto TIB-6 (Figura 4.2-19).

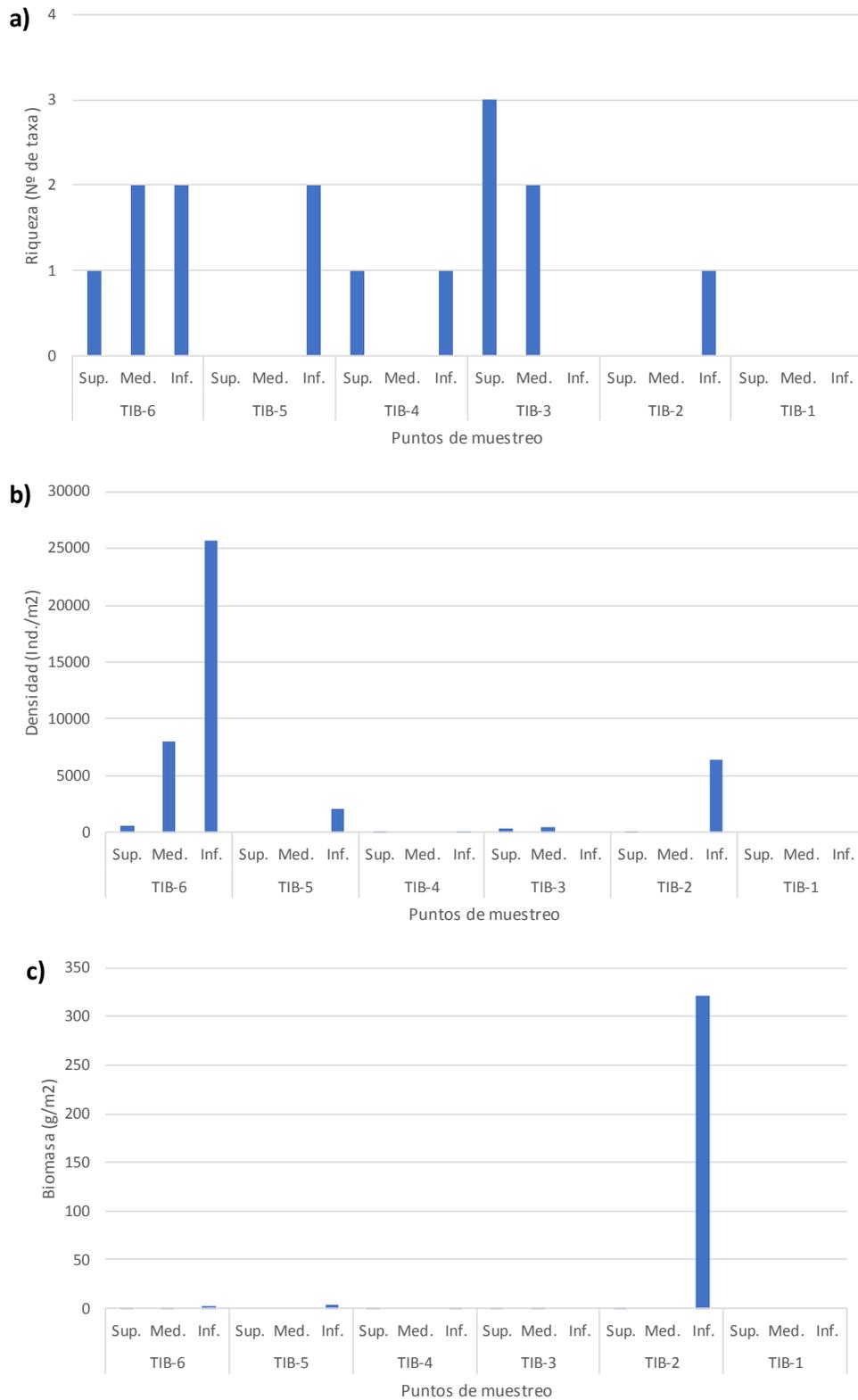


Figura 4.2-18 Riqueza (a), Densidad (b) y Biomasa (c) de ensamblajes de macroinfauna intermareal prospectados en transectos en el área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

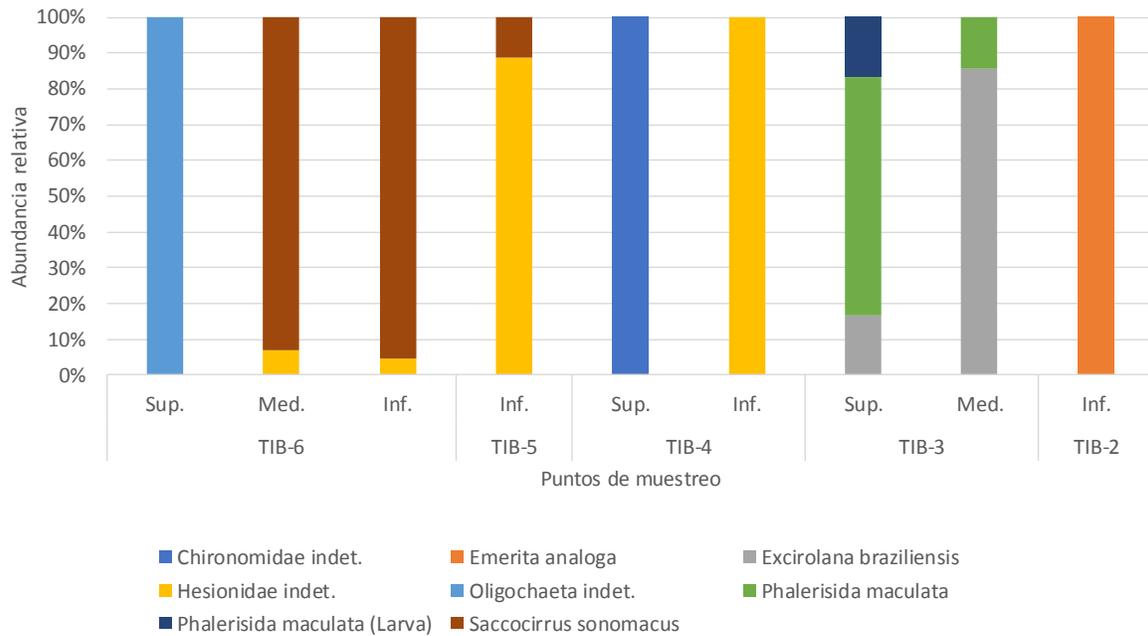


Figura 4.2-19 Abundancia relativa de ensamblajes de macroinfauna intermareal presente en área de estudio (Sup= Estrato superior; Med= Estrato Intermedio; Inf= Estrato Inferior). Bahía Algodonales. Campaña Invierno 2018

4.2.1.1.7 Comunidades bentónicas intermareal duro

Los resultados de este componente serán incluidos en el próximo informe, puesto que a la fecha están en proceso.

4.2.1.2 Campaña verano 2019

4.2.1.2.1 Calidad de agua

En la columna de agua de Bahía Algodonales, al igual que la campaña anterior, se registraron parámetros in-situ (pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y potencial redox), se analizaron parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales, sólidos totales suspendidos y turbidez); nutrientes (amonio, fósforo total y nitrato); parámetros biológicos (clorofila a, coliformes totales y fecales, demanda bioquímica de oxígeno); metales disueltos (arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio, vanadio y zinc); y otros parámetros de importancia ambiental (cloro libre residual, aceites y grasas, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos totales). A continuación, se describen en mayor detalle los parámetros in-situ, arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo, vanadio y zinc. El resto de los resultados se presentan en Anexos digitales: 03_OE2/00_Resultados_Laboratorio y 03_OE2/01_CTD.

Las aguas de Bahía Algodonales presentaron valores de conductividad eléctrica homogéneos entre los puntos de muestreo submareales. A nivel de estratos no se observa

una diferencia importante, el estrato superficial varió entre 43,88 mS/cm y 45,36 mS/cm, mientras que el profundo presentó valores de 43,24 mS/cm y 44,15 mS/cm (Tabla 4.2-12).

La salinidad fue similar entre puntos de muestreo y estratos, con valores esperados para agua marina (mínimo=34,64 g/l y máximo=34,91 g/l), a excepción de TOC-7 (fondo) (Tabla 4.2-12)

El contenido de oxígeno disuelto en el estrato superficial de los puntos submareales varió de 5,5 mg/L a 7,1 mg/L, mientras que en el estrato profundo fue levemente menor 4,8 mg/L a 6,5 mg/L. En general, el estrato superficial presentó mejor oxigenación respecto al estrato profundo (Tabla 4.2-12).

Las aguas fueron moderadamente alcalinas, con variaciones de pH entre 7,57 y 8,23 unidades en el estrato superficial, y de 7,62 a 7,87 unidades en el estrato profundo. Todos los valores se encontraron dentro de los límites establecidos en la EPA (2009) (Tabla 4.2-12).

La temperatura varió entre 16 °C y 18°C en el estrato superficial de los puntos submareales y levemente menores fueron las temperaturas del estrato profundo 15°C y 16°C (Tabla 4.2-12).

Los valores de potencial redox fueron propios de ambientes que favorecen las reacciones de oxidación, con valores en el estrato superficial entre 11,8 y 168,2 mV y de 39,4 a 168,53 en el estrato profundo (Tabla 4.2-12).

Tabla 4.2-12: Parámetros in situ medidos en la campaña de verano 2019. Bahía de Algodonales.

Punto de muestreo	Temperatura	Conductividad Eléctrica	Salinidad	O2	pH	Potencial Redox	Turbidez
	°C	mS/cm	g/L	mg/l	-	mV	NTU
TOC1-S	16,57	44,30	34,86	6,63	7,80	157,62	2,89
TOC1-F	15,49	43,24	34,86	4,84	7,62	161,61	1,58
TOC2-S	16,95	44,67	34,85	6,97	7,79	142,94	2,00
TOC2-F	16,11	43,81	34,82	6,45	7,72	145,01	1,66
TOC3-S	16,89	44,57	34,82	6,37	7,79	146,18	1,53
TOC3-F	16,44	44,15	34,83	6,43	7,73	145,83	1,77
TOC4-S	16,64	44,43	34,91	7,08	7,57	155,62	1,62
TOC4-F	16,43	44,14	34,83	6,31	7,69	158,79	1,67
TOC5-S	17,67	45,36	34,83	5,52	7,65	168,23	2,16
TOC5-F	16,27	43,99	34,85	5,06	7,66	168,53	1,73
TOC6-S	16,61	44,34	34,85	5,64	7,72	166,04	1,69
TOC6-F	16,29	43,99	34,82	5,12	7,72	166,72	1,97
TOC7-S	16,38	43,88	34,64	6,17	8,23	11,78	1,77

Punto de muestreo	Temperatura	Conductividad Eléctrica	Salinidad	O2	pH	Potencial Redox	Turbidez
	°C	mS/cm	g/L	mg/l	-	mV	NTU
TOC7-F	16,04	43,71	34,79	5,72	7,87	39,43	1,40
CMC (Agudo) EPA,2009	-	-	-	-	-	-	-
CCC (crónico) EPA,2009	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-
CCME, 2007	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-

De los trece metales disueltos analizados (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-14), seis presentaron concentraciones bajo el límite de detección (cadmio, cromo, manganeso, mercurio, níquel y plomo), el resto se detalla a continuación.

La concentración de arsénico disuelto en el estrato superficial varió entre <0,005 mg/L a 0,044 mg/L, valor que superó el criterio de exposición crónica (EPA,2009) en el punto TOC-2 (caleta duendes), mientras que en el estrato profundo la variación fue de <0,005 mg/L a 0,072 mg/L, superando el criterio de exposición aguda (EPA,2009) en TOC-4 (playa/camping).

El cobre disuelto superficial varió entre <0,003 mg/L a 0,007 mg/L, y en el estrato profundo entre <0,003 mg/L a 0,012 mg/L, ambos máximos superaron la concentración de exposición aguda (EPA,2009) en TOC-2 (caleta duende) y TOC-4 (playa/camping), respectivamente.

La concentración de vanadio disuelto en el estrato superficial varió entre <0,008 mg/L a 0,022 mg/L, mientras que en el fondo varió entre <0,008 mg/L a 0,023 mg/L.

La concentración de zinc superficial varió entre <0,002 mg/L a 0,031 mg/L, y entre 0,006 mg/L a 0,033 mg/L en el estrato profundo. Todas las concentraciones fueron menores a los criterios de la EPA,2009, indicando que a estas concentraciones una comunidad acuática puede estar expuesta sin presentar efectos agudos (muerte o alteración del crecimiento) o efectos crónicos (problemas reproductivos) (EPA 2009).

Tabla 4.2-13: Metales disueltos medidos en la campaña de verano 2019 en los puntos de muestreo TOC1, TOC2, TOC3 y TOC4, en Bahía Algodonales.

Variable mg/L	TOC-1		TOC-2		TOC-3		TOC-4		EPA,2009	
	S	F	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	0,021	0,013	0,044	<0,005	0,015	0,025	0,038	0,072	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088

Variable mg/L	TOC-1		TOC-2		TOC-3		TOC-4		EPA,2009	
	S	F	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Cobre	<0,003	<0,003	0,007	0,007	<0,003	0,009	<0,003	0,012	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	0,004	0,066	0,005	0,007	0,005	0,012	<0,002	0,011	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0,008	0,011	0,009	0,010	0,036	0,010	0,010	0,013	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,008	0,074	0,0082
Plomo	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,21	0,0081
Selenio	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,29	0,071
Vanadio	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,023	-	-
Zinc	0,005	0,023	0,025	0,006	0,022	0,033	<0,002	0,027	0,090	0,081

(-) normativa no estable concentración límite. **En negrita:** concentración supera criterio de exposición aguda. **Celda de color:** concentración supera criterio de exposición crónica

Tabla 4.2-14: Metales disueltos medidos en la campaña de verano 2019 en los puntos de muestreo TOC5, TOC6 y TOC7, en Bahía Algodonales.

Variable	TOC-5		TOC-6		TOC-7		EPA,2009	
	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	0,013	<0,005	0,033	<0,005	<0,005	0,029	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088
Cobre	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	0,009	0,009	0,010	0,007	0,006	0,015	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0,011	0,011	0,012	0,008	0,009	0,011	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,074	0,0082
Plomo	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,21	0,0081
Selenio	<0,005	0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,29	0,071
Vanadio	0,017	0,014	0,022	0,019	0,019	0,019	-	-
Zinc	0,031	0,010	0,009	0,013	0,023	0,031	0,090	0,081

(-) normativa no estable concentración límite. **En negrita:** concentración supera criterio de exposición aguda. **Celda de color:** concentración supera criterio de exposición crónica.

4.2.1.2.2 Calidad de Sedimentos

En los sedimentos de Bahía Algodonales, al igual que en la campaña anterior, se analizó la granulometría de los sedimentos; hidrocarburos (hidrocarburos totales, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos aromáticos totales); y metales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio, talio, vanadio y zinc). A continuación, se describen en mayor detalle la granulometría y los metales que presentan un interés por su toxicidad y mayor presencia en la matriz. El resto de los resultados se presentan en Anexos digitales: 03_OE2/00_Resultados_Laboratorio. Cabe mencionar que se tomó una replica en cada una de las componentes.

La granulometría de los sedimentos de estudio se presenta en la Tabla 4.2-5. El tamaño del grano de los sedimentos intermareales de Bahía Algodonales varió de arena gruesa a fina, con mayor predominancia de arena gruesa en los puntos de muestreo ubicados en caleta vieja-cenizas (SED-1), norgener (SED-5) y Playa al sur de Algodonales (SED-6). La arena fina se observó en caleta duendes (SED-2) y emisario sanitario (SED-3).

Tabla 4.2-15: Granulometría de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Verano 2019.

Punto de muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
SED-1	2,38%	10,58%	54,33%	29,92%	2,69%	0,10%	0,01%
SED-2	0,05%	1,45%	1,19%	23,30%	70,83%	3,03%	0,14%
SED-3	0,01%	0,08%	1,92%	23,72%	69,68%	4,51%	0,08%
SED-4	0,08%	0,42%	28,94%	63,69%	6,72%	0,12%	0,04%
SED-5	10,98%	36,11%	43,78%	8,67%	0,40%	0,07%	0,00%
SED-6	0,18%	42,18%	56,58%	0,93%	0,10%	0,02%	0,00%

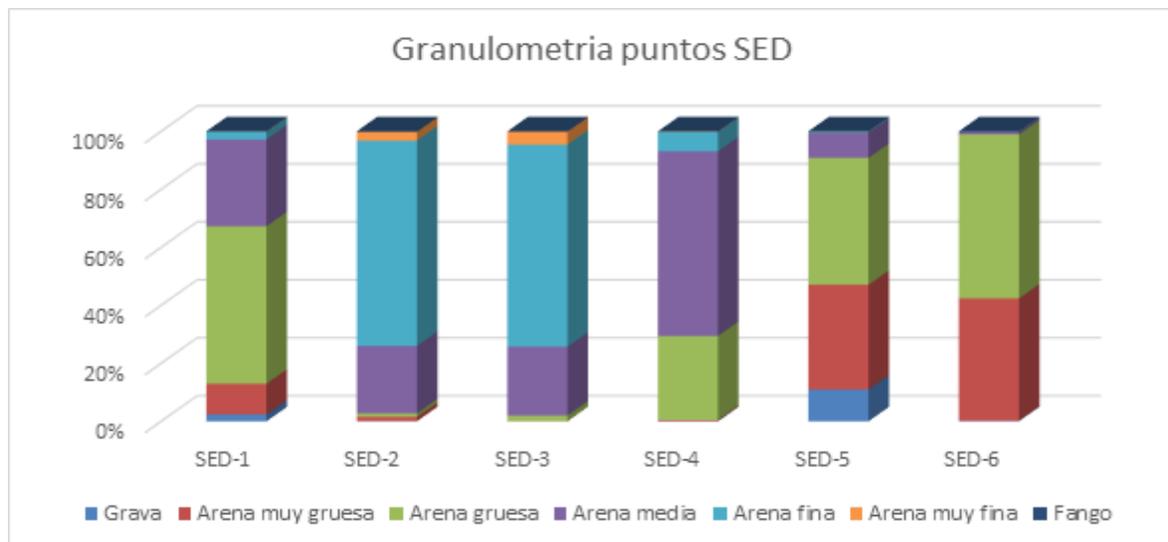


Figura 4.2-20: Granulometría en puntos de medición intermareal SED, campaña verano 2019.

En cuanto al contenido de metales de las muestras SED, la concentración de hierro varió entre 3019,0 mg/kg a 205284,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y SED-3 (emisario sanitario), respectivamente. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-17 y Tabla 4.2-16).

La concentración de cobre varió entre 12,4 mg/kg en SED-6 (playa al sur de Algodonales) y 5786,1 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando en todos los puntos el criterio ISGQ y la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) en SED-2, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-17 y Tabla 4.2-16).

La concentración de zinc varió entre 8,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 3875,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-17 y Tabla 4.2-16).

La concentración de arsénico varió entre 0,6 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 483,2 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-17 y Tabla 4.2-16).

La concentración de vanadio varió entre 21,1 mg/kg en SED-6 (playa al sur de caleta algodonales) y 154,7 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) 5 (Tabla 4.2-17 y Tabla 4.2-16).

La concentración de cromo varió entre 8,5 mg/kg en SED-5 (norgener) y 38,0 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), ningún punto superó los criterios de CCME,2002 (Tabla 4.2-17 y Tabla 4.2-16).

La concentración de plomo varió entre 0,5 mg/kg en SED-6 (playa al sur Punta Algodonales) y 29,9 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), ningún punto superó los criterios de CCME,2002 (Tabla 4.2-17 y Tabla 4.2-16).

La concentración de cadmio varió entre 0,1 mg/kg en SED-1 (playa al sur de algodonales) y SED-2 (caleta duendes) a 0,5 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), superando el criterio ISGQ correspondiente a 0,7 mg/kg en este último (Tabla 4.2-16).

Tabla 4.2-16: Concentración de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		SED-01	SED-02	SED-03	SED-04	SED-05	SED-06	ISGQ	PEL
Hierro	mg/kg	20999,0	70812,0	205284,0	87952,0	43233,0	3019,0	(*)	(*)
Cobre	mg/kg	87,5	1786,0	5199,8	5786,1	3439,9	12,4	18,7	108
Zinc	mg/kg	17,0	562,0	614,0	3875,0	662,0	8,0	124	271
Molibdeno	mg/kg	5,0	342,0	696,0	379,0	255,0	5,0	(*)	(*)
Arsénico	mg/kg	1,1	110,8	483,2	191,5	198,9	0,6	7,24	41,6
Vanadio	mg/kg	154,7	135,8	89,2	130,2	36,2	21,1	(*)	(*)
Cromo	mg/kg	10,8	29,6	38,0	24,7	8,5	8,6	52,3	160
Plomo	mg/kg	0,8	13,4	29,9	11,4	8,0	0,5	30,2	112
Níquel	mg/kg	3,6	14,5	8,1	12,7	4,6	1,5	(*)	(*)
Selenio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Talio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Cadmio	mg/kg	0,1	0,1	0,5	0,2	0,2	0,4	0,7	4,2
Mercurio	mg/kg	0,01	0,05	0,04	0,05	0,08	0,01	0,13	0,7
Manganeso	mg/kg	-	-	-	-	-	-	(*)	(*)

(*) Normativa no establece límite de referencia.

Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002)

Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002)

Luego, considerando las mediciones realizadas en los puntos SED, se destaca en la bahía que en general los metales con mayor presencia en los sedimentos superficiales intermareales fueron el hierro ($71883,2 \pm 72398,1$ mg/kg), cobre ($2718,6 \pm 2498,1$ mg/kg) y zinc ($956,3 \pm 1460,1$ mg/kg). Seguido de molibdeno ($280,3 \pm 260,2$ mg/kg), arsénico ($164,3 \pm 178,9$ mg/kg) y vanadio ($94,5 \pm 55,5$ mg/kg) (Tabla 4.2-17). Espacialmente, las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (SED-2), emisario sanitario (SED-3), Playa/camping (SED-4) y Norgener (SED-5), indicando un menor flujo de energía en estos sectores, condiciones que favorecen la depositación. La excepción a este patrón se observó con el vanadio ya que las concentraciones de metales fueron mayores en caleta vieja (SED-1), disminuyendo hacia el sur.

Tabla 4.2-17: Concentración promedio de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Verano 2019.

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Hierro	6	71883,2	72398,1	3019,0	205284,0
Cobre	6	2718,6	2498,1	12,4	5786,1
Zinc	6	956,3	1460,1	8,0	3875,0
Molibdeno	6	280,3	260,2	5,0	696,0
Arsénico	6	164,3	178,9	0,6	483,2

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Vanadio	6	94,5	55,5	21,1	154,7
Cromo	6	20,0	12,5	8,5	38,0
Plomo	6	10,7	10,8	0,5	29,9
Níquel	6	7,5	5,2	1,5	14,5
Selenio	6	1,0	0,0	1,0	1,0
Talio	6	1,0	0,0	1,0	1,0
Cadmio	6	0,3	0,2	0,1	0,5
Mercurio	6	0,0	0,0	0,0	0,1
Manganeso	-	-	-	-	-

(-): resultado a la espera de análisis del laboratorio.

El tamaño del grano de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales varió de grava a arena muy fina, con mayor predominancia de arena fina y muy fina. La grava se observó al sur de la bahía, específicamente en el punto TOC-7, mientras que la arena muy fina en TOC-3, TOC-4 y TOC-5 (Tabla 4.2-18 y Figura 4.2-21).

Tabla 4.2-18: Granulometría de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

Punto de muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
TOC-1	0,13%	0,60%	3,06%	5,32%	55,51%	34,73%	0,64%
TOC-2	0,19%	0,48%	0,92%	2,78%	66,63%	28,67%	0,33%
TOC-3	0,12%	0,39%	1,11%	3,08%	33,30%	60,25%	1,76%
TOC-4	0,49%	0,41%	0,98%	2,42%	25,64%	68,72%	1,33%
TOC-5	0,65%	1,26%	1,60%	1,83%	16,41%	73,97%	4,27%
TOC-6	3,80%	3,28%	7,84%	51,23%	32,31%	1,42%	0,11%
TOC-7	61,98%	36,14%	1,76%	0,05%	0,06%	0,01%	0,00%

(-) punto de muestreo sin sedimentos.

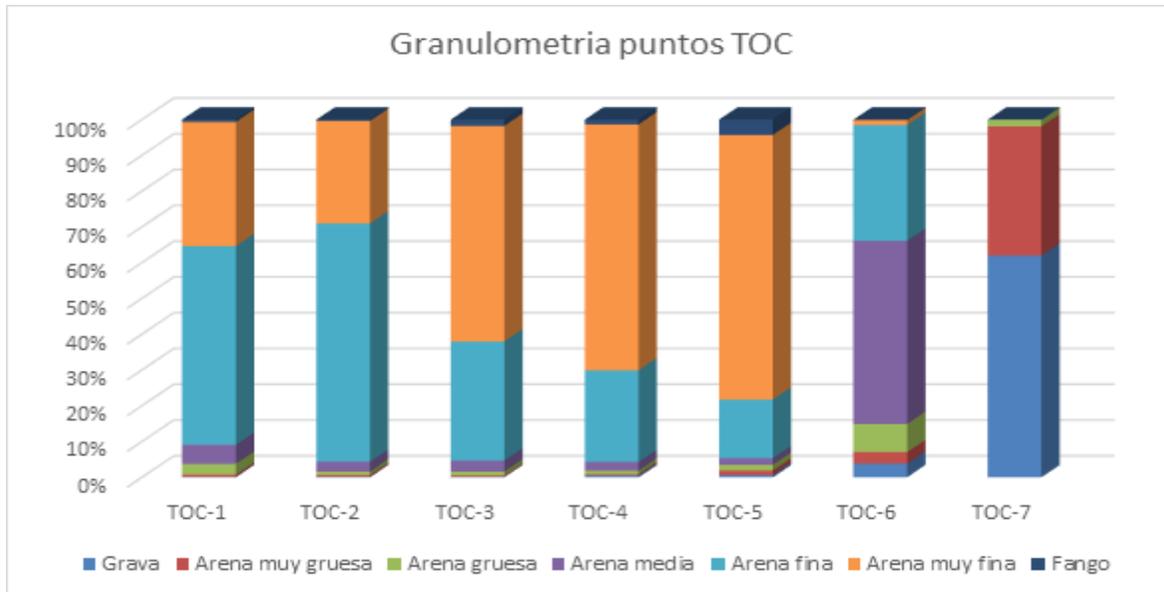


Figura 4.2-21: Granulometría en puntos de medición intermareal TOC, campaña verano 2019.

En cuanto al contenido de metales en los puntos de medición submareales TOC, la concentración de hierro varió entre 22083,0 mg/kg y 185589,0 mg/kg en TOC-7 (Lipesed) y TOC-2 (caleta duendes), respectivamente. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19)

La concentración de cobre varió entre 95,4 mg/kg en TOC-1 (Caleta vieja-cenizales) y 4363,6 mg/kg en TOC-3 (emisario sanitario), superando, a excepción de TOC-1, la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19).

La concentración de zinc varió entre 5,0 mg/kg en TOC-7 (playa al sur de Punta Algodonales) y 3653,0 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos TOC-02, TOC-3, TOC-4 y TOC-5) (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19)

La concentración de arsénico varió entre 3,4 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja, cenizales) y 403,0 mg/kg en TOC-2 (Caleta Duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos TOC-02, TOC -3, TOC -4 y TOC-5 (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19)

La concentración de vanadio varió entre 14,0 mg/kg en TOC-7 (playa al sur de Punta Algodonales) y 221,9 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja, cenizales), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19)

La concentración de cromo varió entre 0,8 mg/kg en TOC-7 (playa al sur de Punta Algodonales) y 48,1 mg/kg en TOC-2 (Caleta Duendes), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ, correspondiente a 52,3 mg/kg (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19).

La concentración de plomo varió entre 0,8 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y 27,3 mg/kg en TOC-5 (Norgener), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ, correspondiente a 30,2 mg/kg (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19).

La concentración de cadmio varió entre 0,1 mg/kg en TOC-1, TOC-3 y TOC-7 a 0,5 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ, correspondiente a 0,7 mg/kg (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19).

Tabla 4.2-19: Concentración de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO							CCME (2002)	
		TOC-01	TOC-02	TOC -03	TOC -04	TOC -05		TOC-7	ISGQ	PEL
Hierro	mg/kg	28365,0	185589,0	134109,0	90414,0	102019,0	32943,0	22083,0	(*)	(*)
Cobre	mg/kg	95,4	3802,5	4363,6	4055,0	2501,0	385,1	480,5	18,7	108
Zinc	mg/kg	33,0	3653,0	733,0	2152,0	1502,0	57,0	5,0	124	271
Molibdeno	mg/kg	10,0	853,0	263,0	546,0	441,0	9,0	9,0	(*)	(*)
Vanadio	mg/kg	221,9	108,0	194,5	141,3	121,5	103,3	14,0	(*)	(*)
Arsénico	mg/kg	3,4	403,0	72,5	222,7	167,5	11,4	5,9	7,24	41,6
Cromo	mg/kg	16,4	48,1	26,2	32,6	25,1	18,6	0,8	52,3	160
Níquel	mg/kg	4,6	11,4	21,7	14,6	17,4	48,9	1,5	(*)	(*)
Plomo	mg/kg	0,8	24,3	13,9	22,9	27,3	24,0	1,2	30,2	112
Selenio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Talio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Cadmio	mg/kg	0,1	0,5	0,1	0,3	0,4	0,1	0,1	0,7	4,2
Mercurio	mg/kg	0,01	0,03	0,06	0,06	0,03	0,02	0,05	0,13	0,7

(*) Normativa no establece límite de referencia.

Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002)

Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002)

Así, considerando las mediciones realizadas en cada uno de los puntos submareales TOC, se destaca que en general los metales con mayor presencia en los sedimentos submareales fueron el hierro ($85074,6 \pm 61542,3$ mg/kg), cobre ($2240,4 \pm 1890,7$ mg/kg) y zinc ($1162,1 \pm 1373,5$ mg/kg). Seguido de molibdeno ($304,4 \pm 326,8$ mg/kg), vanadio ($129,2 \pm 67,6$ mg/kg) y arsénico ($126,6 \pm 149,0$ mg/kg) (Tabla 4.2-20). Especialmente las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (TOC-2), planta de lixiviación (TOC-3), Playa/camping (TOC -4) y Norgener (TOC-5). Lo cual sugiere que en estos puntos existe un menor flujo de energía, condiciones que favorecen la depositación (Tabla 4.2-20 y Tabla 4.2-19).

Tabla 4.2-20: Concentración promedio de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Hierro	7	85074,6	61542,3	22083,0	185589,0
Cobre	7	2240,4	1890,7	95,4	4363,6
Zinc	7	1162,1	1373,5	5,0	3653,0
Molibdeno	7	304,4	326,8	9,0	853,0
Vanadio	7	129,2	67,6	14,0	221,9
Arsénico	7	126,6	149,0	3,4	403,0
Cromo	7	24,0	14,6	0,8	48,1
Níquel	7	17,2	15,7	1,5	48,9
Plomo	7	16,3	11,3	0,8	27,3
Selenio	7	1,0	0,0	1,0	1,0
Talio	7	1,0	0,0	1,0	1,0
Cadmio	7	0,2	0,2	0,1	0,5
Mercurio	7	0,04	0,02	0,01	0,06
Manganeso	7				

4.2.1.2.3 Comunidades planctónicas

iv. Fitoplancton

El análisis cualitativo de fitoplancton indicó la presencia de un total de 33 taxa, de los cuales 16 corresponden al grupo de las diatomeas y 15 taxa al grupo de los dinoflagelados (Tabla 4.21). La distribución espacial de fitoplancton fue heterogénea entre los puntos de muestreo, registrando índices de abundancia relativa entre “Raro” (R) a “Muy Abundante” (M). El dinoflagelado *Tripos fusus* presentó un índice de abundancia relativa “Muy Abundante” (M) en toda el área de estudio con una frecuencia de ocurrencia del 100%. Otros dinoflagelados “Abundante” y “Muy Abundante” fueron *Protoperidinium pellucidum* y *Dinophysis* sp. Diatomeas de los géneros *Thalassiosira* sp., *Coscinodiscus* spp. Y *Lithodesmium* sp. presentaron un índice de abundancia relativa “Abundante” en los puntos ubicados en el extremo sur del área de estudio (TOC-7 y TOC-6).

Tabla 4.21 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) de la comunidad de fitoplancton obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Thalassiosira</i> sp.	R	E	E		R	A	A
<i>Coscinodiscus</i> spp.					E	E	A
<i>Lithodesmium</i> sp.		E			E	E	A
<i>Planktoniella</i> sp.		E		E			E
<i>Biddulphia</i> sp.			E	E	E		
<i>Chaetoceros</i> spp.	E		E		E		

Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Coscinodiscus sp.</i>	E		E	E			
<i>Rhizosolenia sp.</i>	E						
<i>Thalasionema sp.</i>				E			
<i>Chaetoceros sp.</i>		E					
<i>Detonula sp.</i>		E					
<i>Grammatophora sp.</i>				E			R
<i>Pennales ind.</i>					R		
<i>Pleurosigma sp.</i>		R		E		R	E
<i>Asteromphalus sp.</i>						R	E
<i>Pseudonitzschia sp.</i>					E		
Dinoflagelados	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Tripos fusus</i>	M	M	M	M	M	M	M
<i>Protoperidinium spp.</i>	A	M	M	M	M	E	
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	A	M	A	M	M		
<i>Tripos spp.</i>				M	M		
<i>Dinophysis sp.</i>	E	A		M			
<i>Dinophysis spp.</i>			M				
<i>Tripos limulus</i>		A	E	A	M		
<i>Tripos sp.</i>	R	A	M			R	
<i>Gonyaulax sp.</i>		E	E	E	E		
<i>Prorocentrum sp.</i>		E	E	E	E		A
<i>Protoperidinium claudicans</i>			E	R	E	E	R
<i>Protoperidinium sp.</i>							E
<i>Tripos balechii</i>					R		
<i>Tripos lineatus</i>	E	A	A	E			
<i>Tripos muelleri</i>		E	R	R			
Tintinidos (microzooplancton)	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Tintinnopsis sp.</i>		A	E	A	M	M	M
Otros grupos	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
<i>Octactis sp.</i>	E			E	E	R	A

Los resultados del análisis cuantitativo serán incorporados en el próximo informe, puesto que aún están en proceso.

v. Zooplancton

La caracterización del ensamble de zooplancton se realizó en función de las características del ciclo de vida de los taxa identificados; i) Meroplancton, compuesto por organismos que desarrollan sólo una parte su ciclo de vida en el plancton y ii) Holoplancton, compuesto por organismos que desarrollan su ciclo de vida completo en el plancton.

El Meroplancton registró 22 taxa compuesto principalmente por estados ontogénicos tempranos de cirripedios. A nivel espacial, la riqueza total presentó un patrón homogéneo en el área de estudio (Figura 4.2-22a). En cuanto a la abundancia, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos evaluados, con las mayores magnitudes en los puntos ubicados en el extremo sur del área de estudio (TOC-7 y TOC-6) (Figura 4.2-22b).

La composición de taxa en el meroplancton, indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios en el extremo sur (TOC-7 y TOC-6) del área de estudio. En el extremo norte se caracteriza por presentar mayores proporciones de larvas de bivalvos y poliquetos (TOC-1 a TOC-4) (Figura 4.2-23).

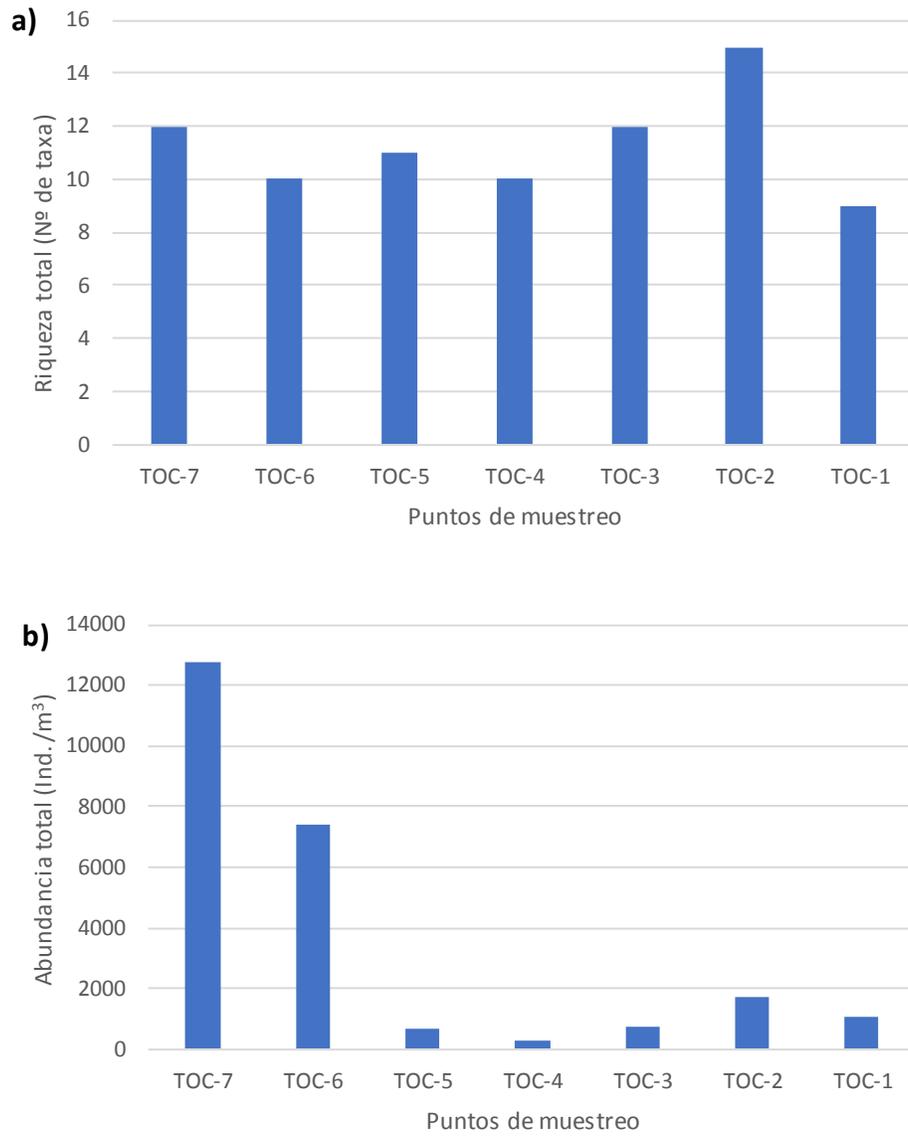


Figura 4.2-22 Riqueza y (b) Abundancia del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de Verano 2019.

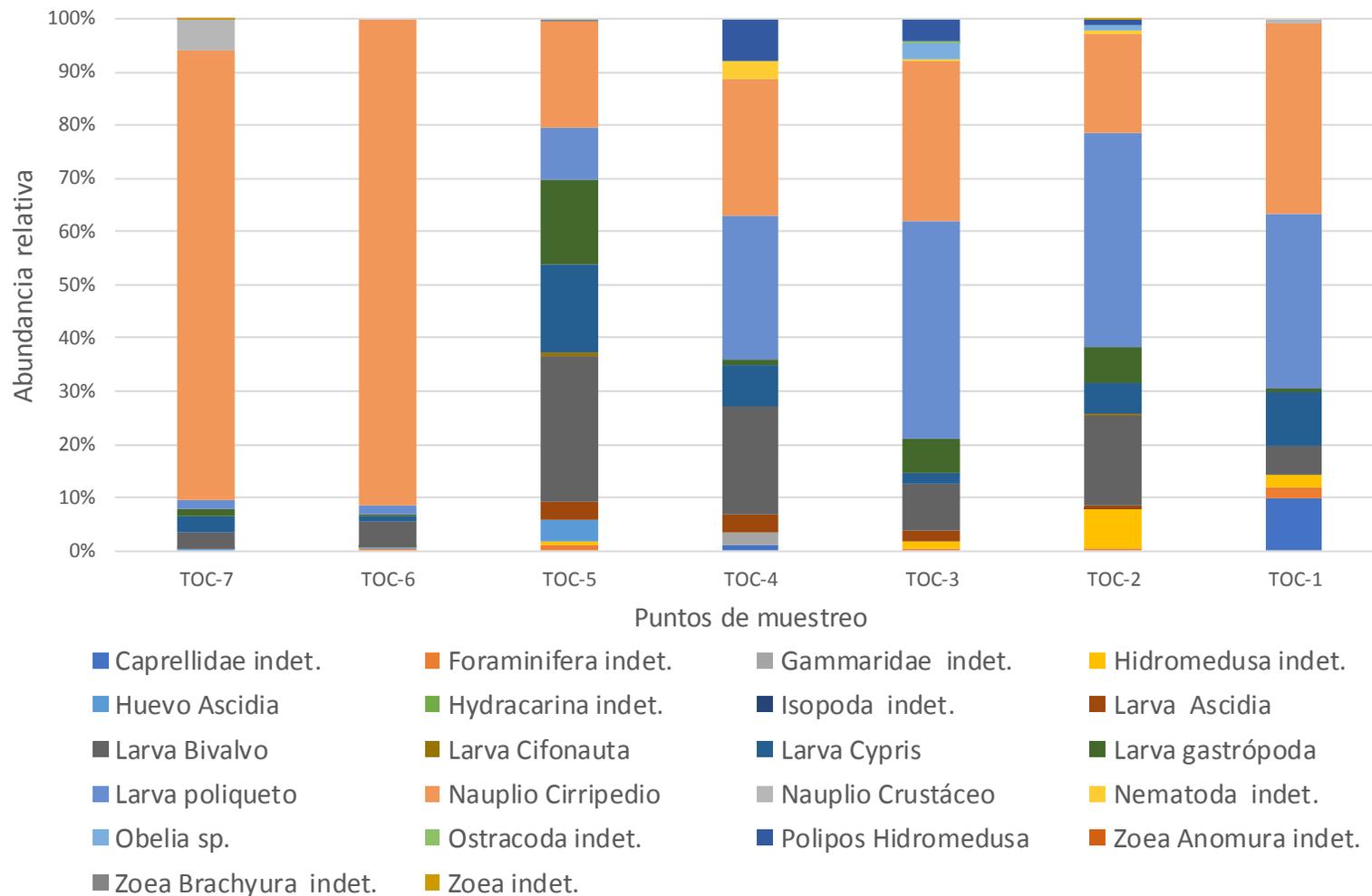


Figura 4.2-23 Abundancia Relativa (%) del Meroplankton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

El Holoplancton registró 15 taxa compuesto mayoritariamente por Copépodos. A nivel espacial, las mayores riquezas se registraron en el extremo norte del área de estudio (TOC-1 a TOC-4) (Figura 4.2-24a). En cuanto a la abundancia, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos de muestreo, con las mayores magnitudes en el sector sur del área de estudio (TOC-7 y TOC-6) (Figura 4.2-24b).

Durante la campaña de verano, se registró en mayor proporción organismos copépodos de los géneros *Calanus* sp. y *Acartia* sp. (Figura 4.2-25).

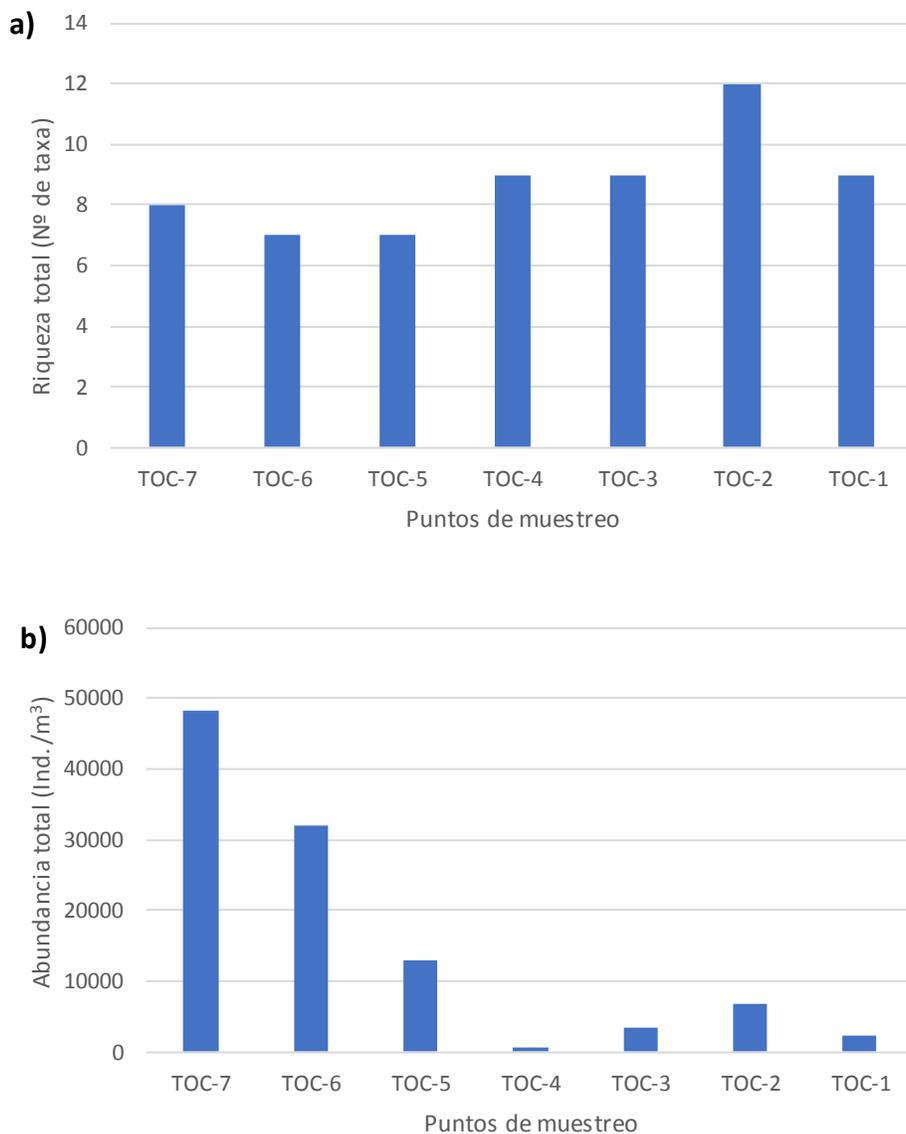


Figura 4.2-24 a) Riqueza y (b) Abundancia del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

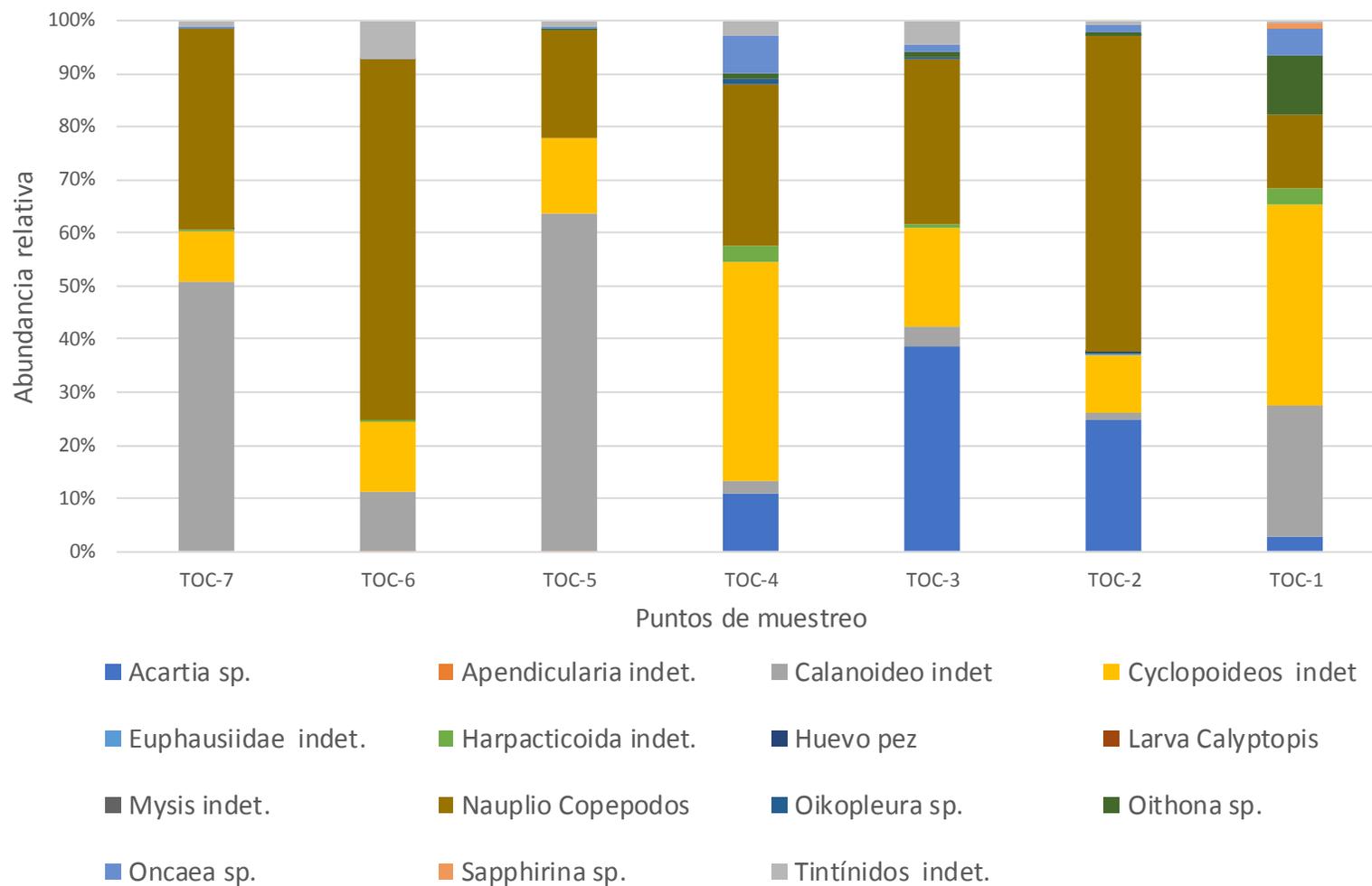


Figura 4.2-25 Relativa (%) del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

vi. Ictioplancton

El ictioplancton registro una riqueza total de 2 taxa, ambas en la porción de huevos. En la mayoría de los puntos de muestreo no se registró la presencia de ictioplancton (TOC-1, TOC-2, TOC-3 y TOC-6) y donde hubo presencia, sólo se registró 1 taxón (Figura 4.2-26a).

La abundancia presentó el mismo patrón descrito anteriormente con mayor abundancia de huevos en el punto de muestreo TOC-5. (Figura 4.2-26b).

Para determinar la dominancia de organismos del ictioplancton en el área de estudio, se consideraron todos los taxa registrados durante la campaña actual. Los resultados indican dominancia del Mote y el Baúnco, ambos en la porción de huevos. No se registró la presencia de larvas (Figura 4.2-27).

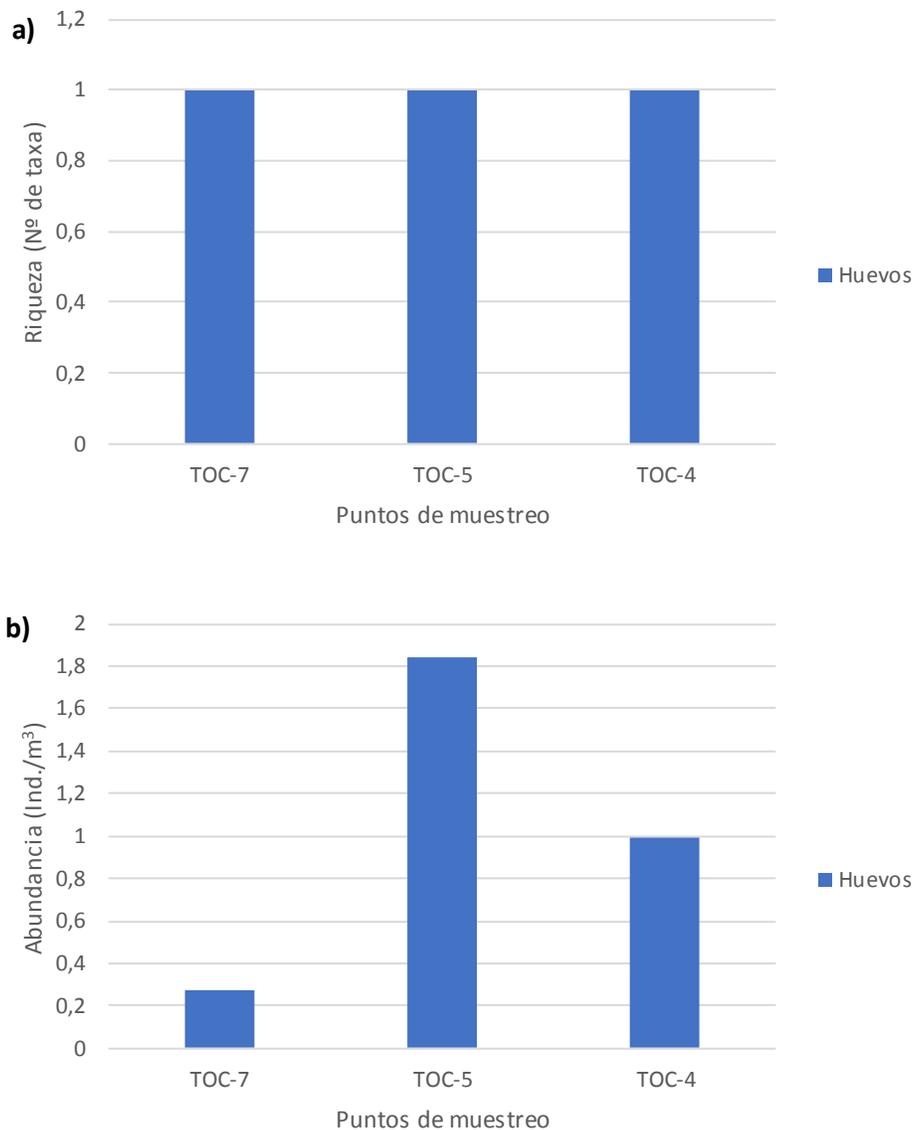


Figura 4.2-26 a) Riqueza y (b) Abundancia del ictioplancton (Huevos y Larvas). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

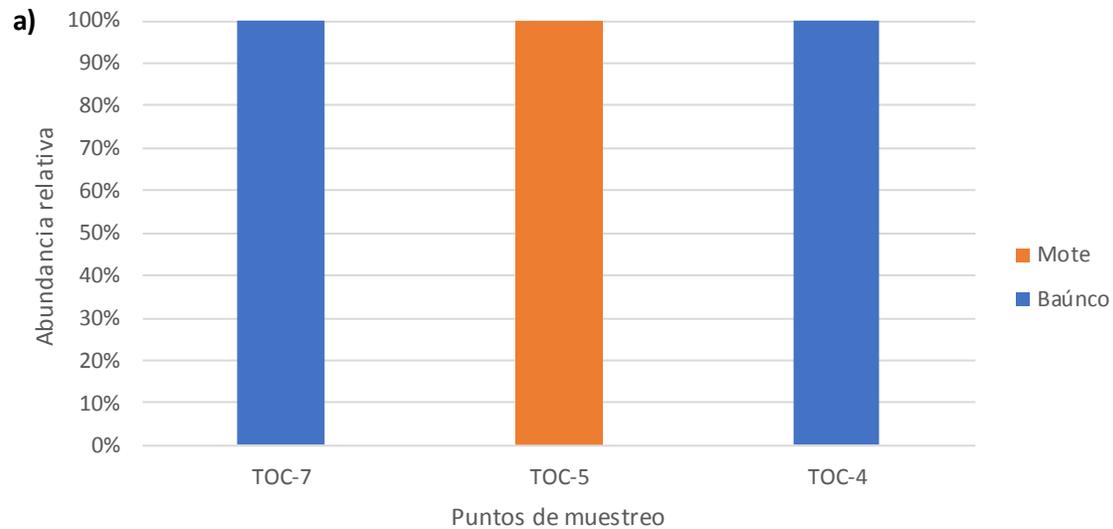


Figura 4.2-27 (a) Abundancia Relativa (%) de la porción de Huevos del ictioplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

4.2.1.2.4 Comunidades bentónicas submareal blando

Los ensambles de macroinfauna submareal prospectados durante la campaña de verano 2019 estuvieron constituidos en total por 28 grupos taxonómicos. Respecto de los registros de riqueza de especies, las mayores riquezas se observaron entre los puntos TOC-4 y TOC-6 (Figura 4.2-28a).

Con relación a los valores de abundancia estimados en el área de estudio, éstos presentaron el mismo patrón espacial descrito para la riqueza, en donde las mayores magnitudes fueron registradas entre los puntos de muestreo TOC-4 y TOC-6 (Figura 4.2-28b). Un patrón similar ocurre con la abundancia expresada en biomasa (Figura 4.2-28c).

Con relación a las abundancias relativas estimadas en los ensambles prospectados, en general se observó una prevalencia de gusanos poliquetos depositívoros (Figura 4.2-29).

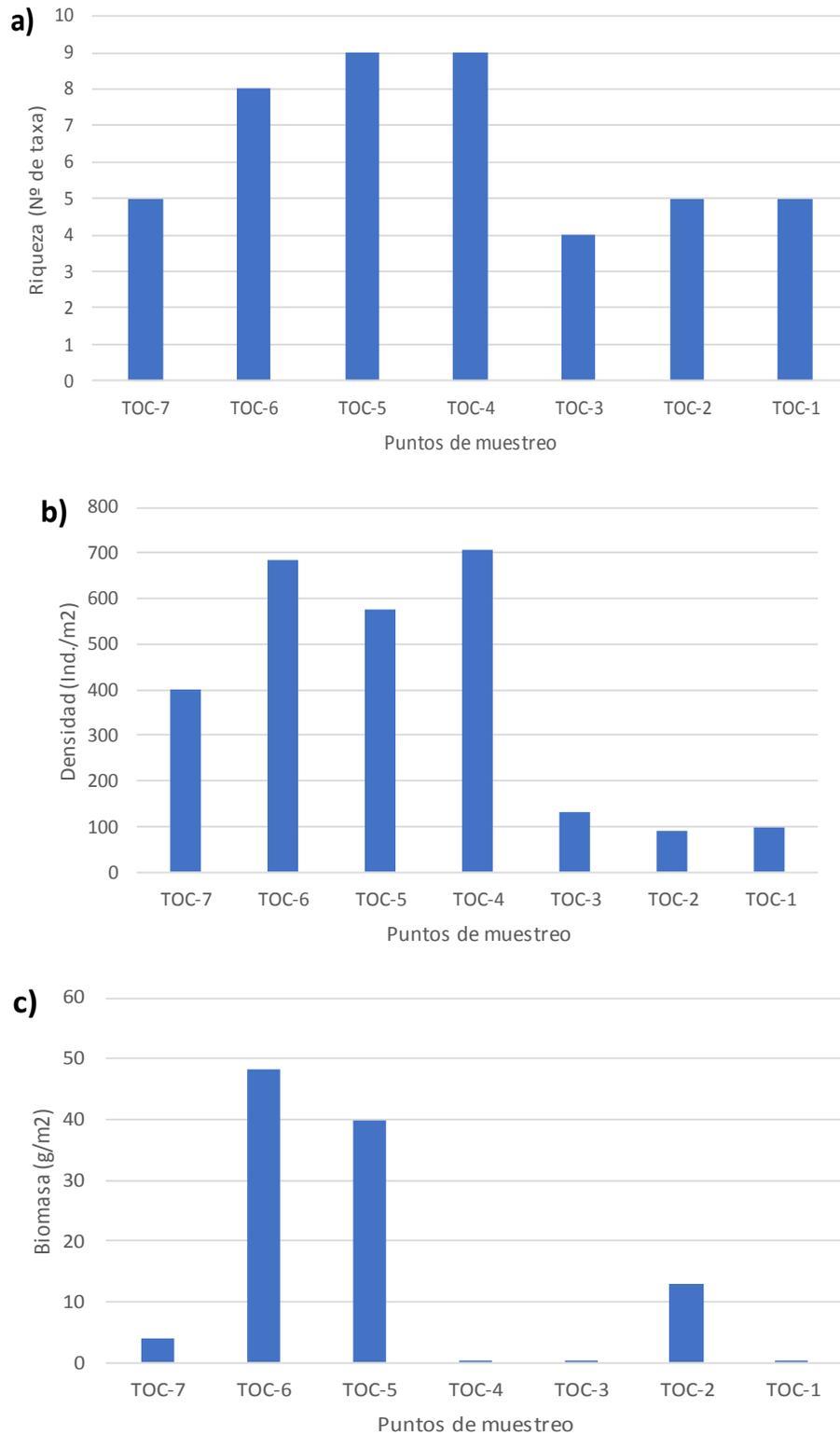


Figura 4.2-28 Riqueza (a), Densidad (b) y biomasa (c) de ensamblajes de macroinfauna submareal presentes en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

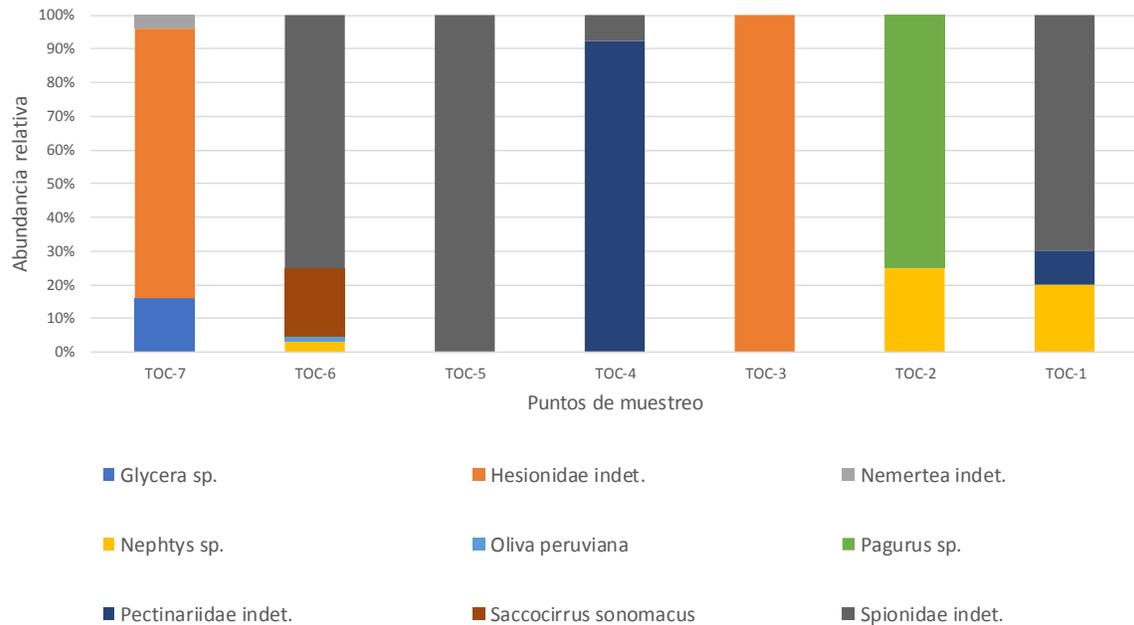


Figura 4.2-29 Abundancia relativa de ensamblajes de macroinfauna submareal presente en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

4.2.1.2.5 Comunidades bentónicas submareal duro

Los resultados de este componente serán incluidos en el próximo informe, puesto que a la fecha están en proceso.

4.2.1.2.6 Comunidades bentónicas intermareal blando

Considerando los 6 transectos visitados (TIB-1 a TIB-6), se reconoció un total de 6 grupos taxonómicos, donde los crustáceos presentaron la mayor distribución y abundancia en el área de estudio. Las mayores riquezas se registraron entre los puntos de muestreo TIB-2, TIB-3 y TIB-6, en la mayoría de los casos asociadas a los estratos superior e inferior (Figura 4.2-30a).

Con relación a los valores de abundancia, las mayores densidades fueron registradas en los estratos medio y superior del transecto intermareal TIB-2 (Figura 4.2-30b). Mientras que las mayores biomásas fueron registradas en el estrato inferior del transecto TIB-6 (Figura 4.2-30 b y c).

Con respecto a las abundancias relativas, *Emerita análoga* en la mayoría de los estratos y transectos de muestreo, excepto en el estrato inferior del transecto TIB-5, donde dominaron los poliquetos de la familia Hesionidae (Figura 4.2-31).

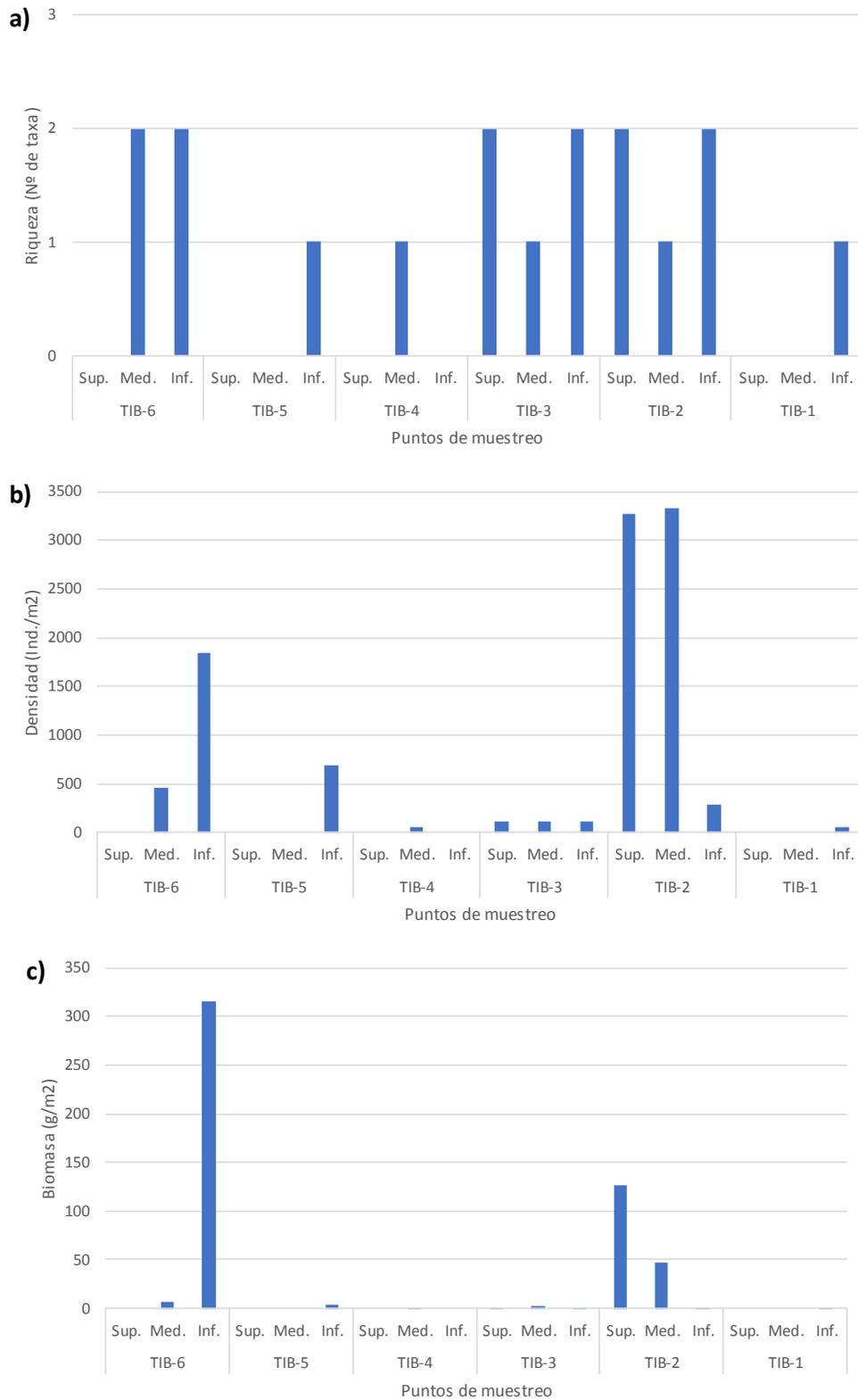


Figura 4.2-30 Riqueza (a), Densidad (b) y Biomasa (c) de ensamblajes de macroinfauna intermareal prospectados en transectos en el área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

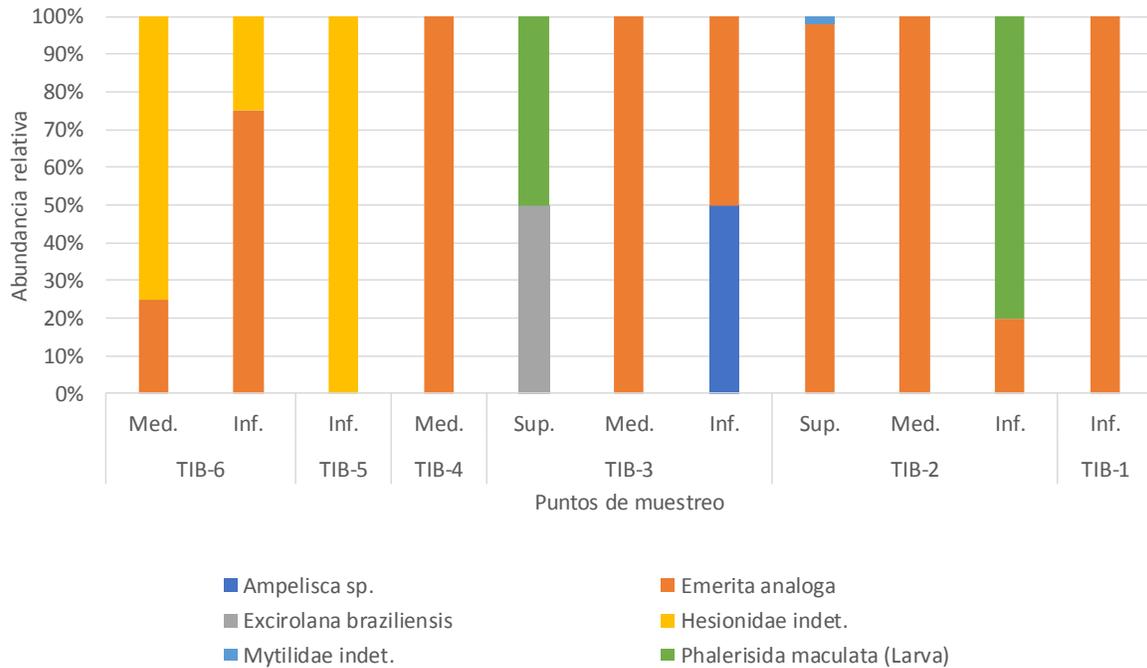


Figura 4.2-31 Abundancia relativa de ensamblajes de macroinfauna intermareal presente en área de estudio (Sup= Estrato superior; Med= Estrato Intermedio; Inf= Estrato Inferior). Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

4.2.1.2.7 Comunidades bentónicas intermareal duro

Los resultados de este componente serán incluidos en el próximo informe, puesto que a la fecha están en proceso.

4.2.2 Monitoreo estacional de variable oceanográficas de Bahía Algodonales

Actividad realizada de acuerdo con la programación definida en el Plan de trabajo inicial (en Anexos digitales: 2018_08_GOA004_INF_CO_V0A_Plan_Trabajo). Al respecto, se propuso realizar 2 campañas de monitoreo de carácter estacional para caracterizar el sistema de corrientes costero que ocurre en bahía Algodonales, distribuidas semestralmente en el primer año de ejecución del proyecto, de preferencia en invierno (junio) y verano (enero), con el objetivo de caracterizar en un ciclo anual las corrientes características de la bahía.

En el presente informe de avance N°2, se entrega los resultados de las campañas realizadas en agosto de 2018 y febrero de 2019, que corresponden a las estaciones de invierno y verano respectivamente. La caracterización de la dirección y magnitud de la velocidad en la columna de agua en bahía Algodonales, se realizó mediante la instalación de un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP), modelo Workhorse Sentinel 600, marca Teledyne,

Para la instalación y fijación de este instrumento en el fondo del mar (fondeo) reduciendo el riesgo de volcamiento, deslizamiento y movimiento, se consideró la utilización de un trípode de acero inoxidable con sistemas de anclaje, el cual considera 200 kg de peso muerto aproximadamente. Este instrumento puede registrar las propiedades del campo de flujos en varias capas y en intervalos recomendados de registro de 10 minutos. Se consideró su instalación por un período de 30 días.



Figura 4.2-32: Perfilador de corrientes acústico Teledyne WorkHorse Sentinel 600 junto a su trípode de acero para anclaje, Instalado en la campaña de invierno 2018

Por otra parte, se realizaron las mediciones de oceanografía lagrangiana, mediante el lanzamiento de derivadores en dos estratos y distribuidos de acuerdo con la Figura 4.2-33 y la Tabla 4.2-22 que da cuenta del diseño de muestreo de parámetros oceanográficos sobre la bahía Algodonales.

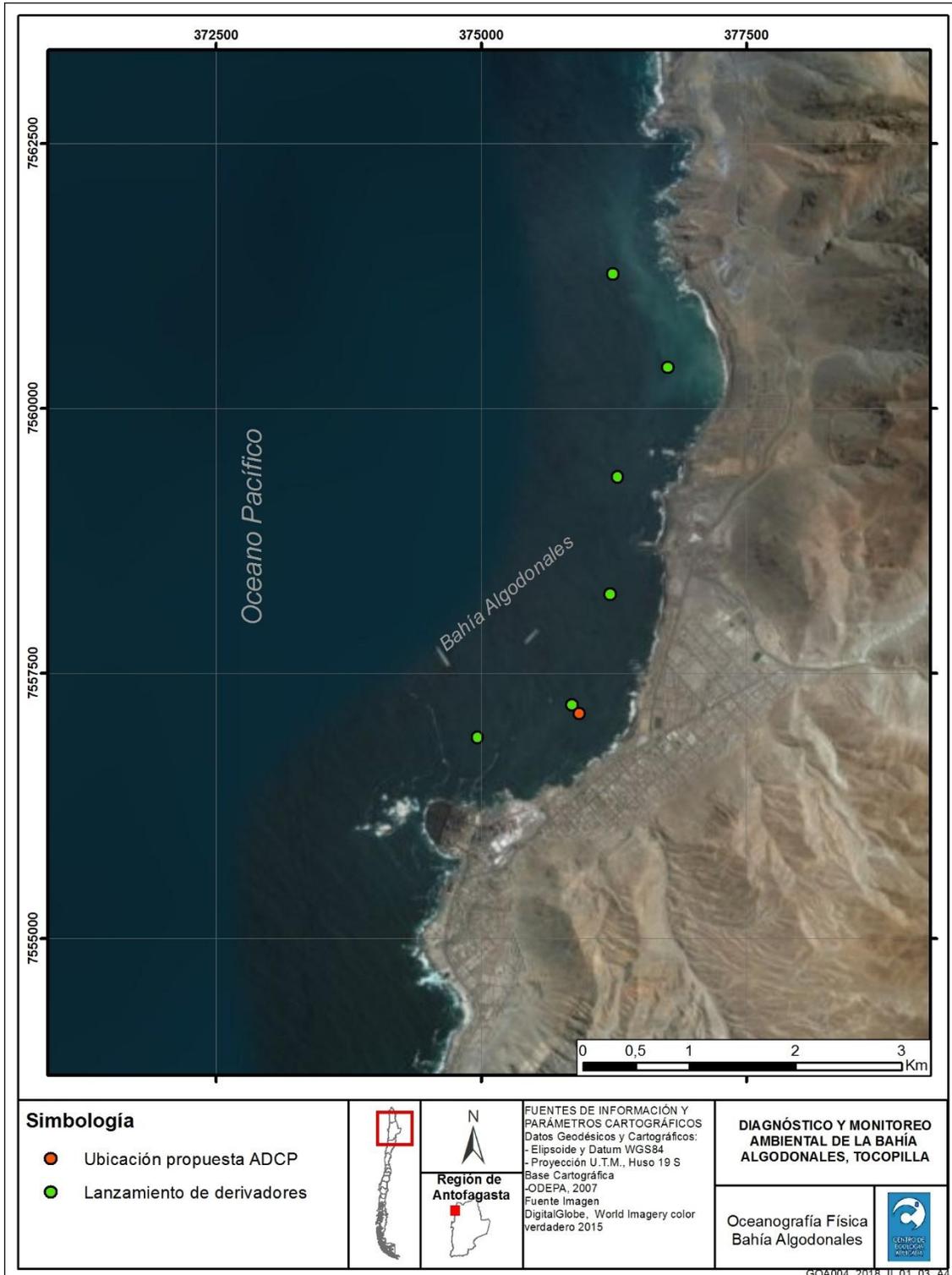


Figura 4.2-33: Puntos de muestreo de parámetros de oceanografía física en bahía Algodonales.

Tabla 4.2-22: Coordenadas de puntos de medición oceanográfica.

Nombre	Coordenada WGS84, UTM 19K	
	E (m)	N(m)
DER1	376238.0	7561270.0
DER2	376754.0	7560389.0
DER3	376283.0	7559357.0
DER4	376214.0	7558249.0
DER5	375853.0	7557201.0
DER6	374965.0	7556898.0
ADCP	375925.0	7557122.2

4.2.2.1 Campaña invierno 2018

4.2.2.1.1 Corrientes Eulerianas

En la Figura 4.2-34 se presenta la información registrada con el ADCP, de manera integrada para toda la columna de agua. La figura presenta los componentes ortogonales (Este y Norte) en profundidad. Se aprecia que las mayores magnitudes de corriente fueron obtenidas en las capas superficiales

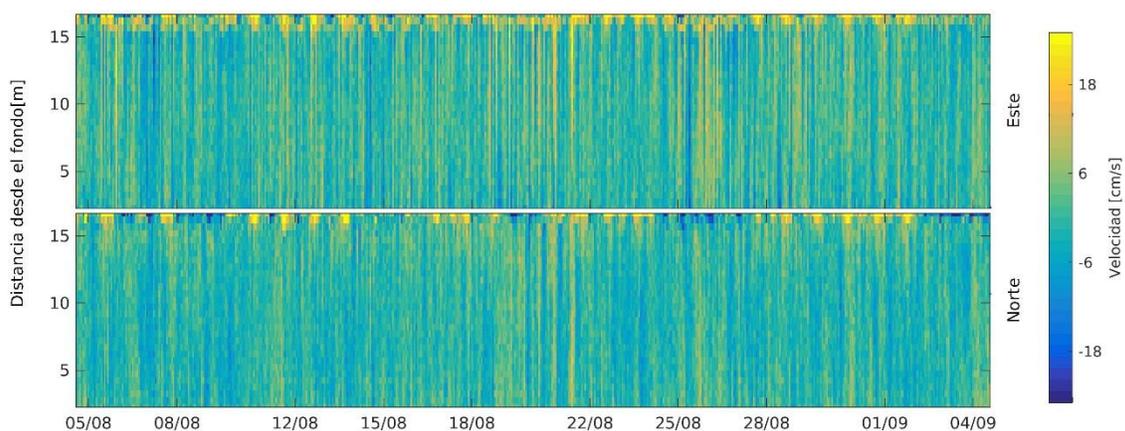


Figura 4.2-34: Registros de velocidades Eulerianas, componentes este y norte, agosto 2018.

A modo de representar el ciclo diario de corrientes y su estructura vertical, se efectuó un promedio diario de todo el perfil de corrientes, en dirección Este y Norte. Este resultado se presenta en la Figura 4.2-35.

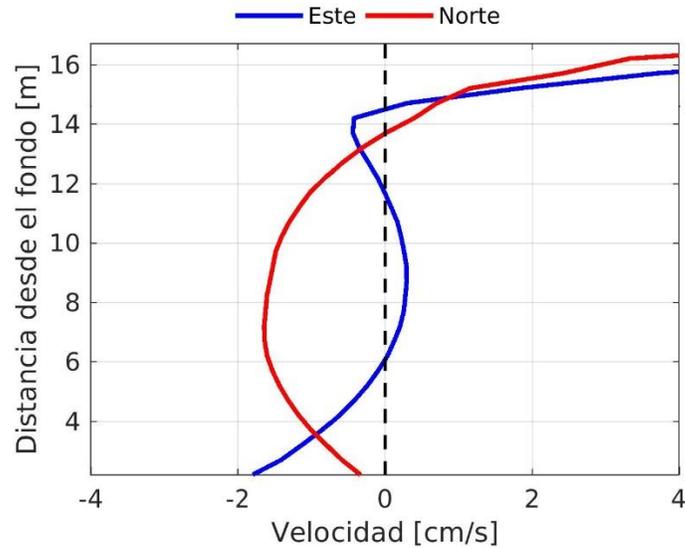


Figura 4.2-35: Estructura vertical de componentes ortogonales, ciclo diario de marea, agosto 2018.

Adicionalmente, en la Figura 4.2-36 se presentan los registros de velocidad y dirección de corrientes según las 3 capas definidas, representados como “chascones”. Los resultados son suavizados para facilitar su interpretación. Para las tres capas se observa que se producen cambios en el sentido de la velocidad, pasando desde valores positivos a negativos. En el caso de la capa superficial, dentro del mes de medición las corrientes se mantienen mayormente en valores positivos, con tendencia al NE. Para la capa intermedia en cambio, se aprecia mayor preferencia hacia valores negativos S. Finalmente, para la capa de fondo, se aprecia mayores variaciones en las direcciones registradas.

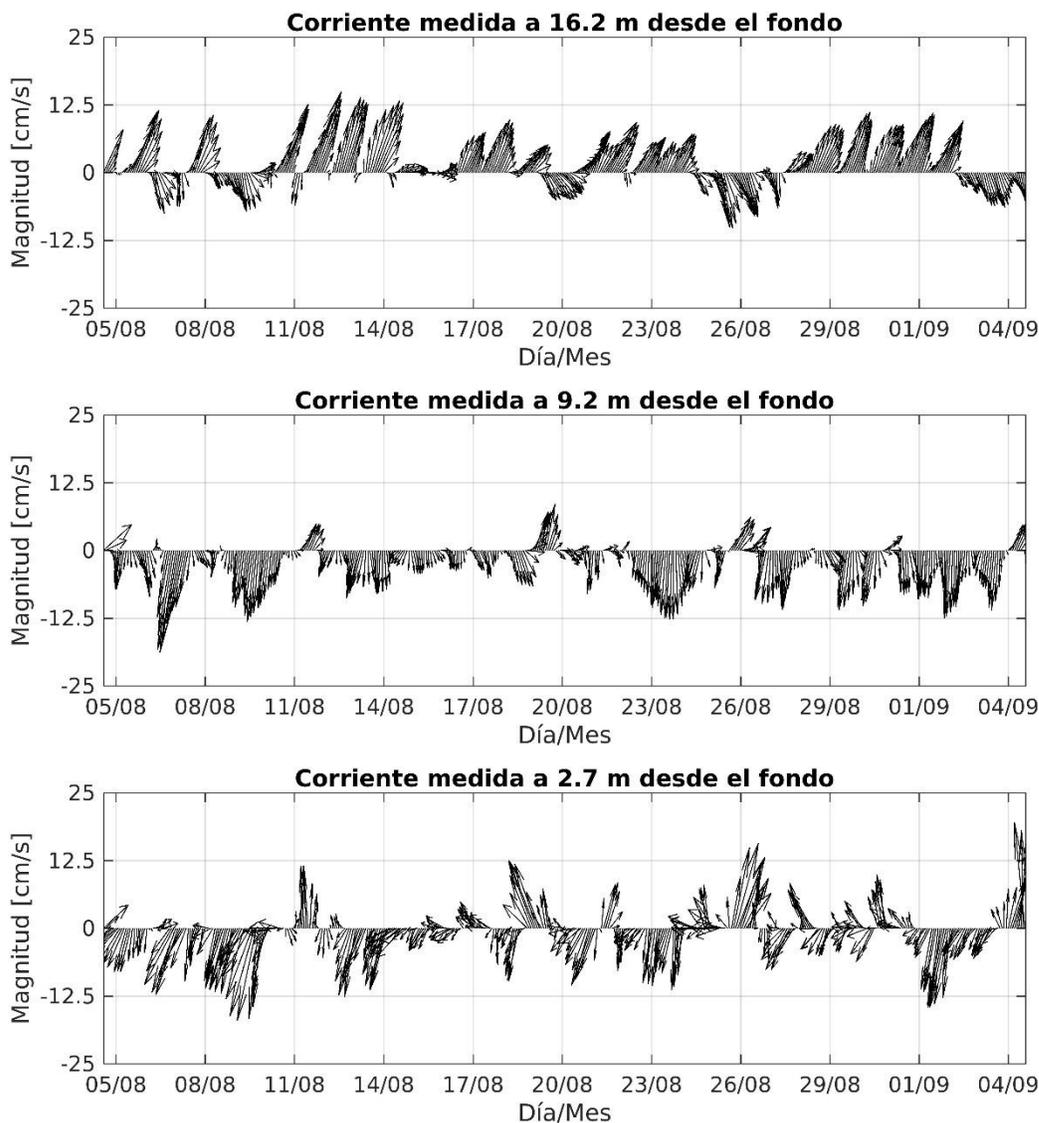


Figura 4.2-36: Registro de velocidad y dirección de corrientes según las capas definidas. Período de agosto 2018. *Nota: Las series de tiempo han sido suavizadas para facilitar su visualización.*

vii. Capa superficial

A continuación, se presentan los resultados a nivel superficial de la columna de agua. La Tabla 4.2-23 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-24 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-37 se presentan los histogramas de magnitud y dirección.

La capa superficial muestra una predominancia hacia las direcciones NE y E, con un 28,33 y 25,98%, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 10,12 cm/s, mientras que el máximo fue de 59,6 cm/s, y estuvo asociado a la dirección N (Tabla 4.2-23 y Figura 4.2-37).

Tabla 4.2-23: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa superficial, campaña invierno 2018.

Rango(cm/s)	Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%). Capa superficial.								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.22	0.09	0.11	0.09	0.07	0.09	0.11	0.13	0.92
]1,4]	1.30	1.34	1.79	1.41	1.32	1.41	0.99	1.21	10.77
]4,7]	1.90	2.51	3.16	3.29	2.15	1.03	1.48	1.43	16.95
]7,10]	1.50	3.18	5.35	3.47	1.34	0.92	1.05	0.90	17.72
]10,13]	0.92	3.85	4.84	2.58	1.14	0.52	0.27	0.47	14.58
]13,20]	1.14	8.40	8.09	3.63	1.79	0.20	0.40	0.52	24.17
]20,30]	0.52	7.05	2.51	1.14	0.81	0.09	0.04	0.13	12.30
]30,50]	0.31	1.81	0.13	0.09	0.07	0.00	0.00	0.02	2.44
]50,∞[	0.04	0.09	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.16
Total	7.86	28.33	25.98	15.70	8.71	4.26	4.34	4.82	100.00
Máximo(cm/s)	59.60	56.90	33.40	30.80	54.40	23.40	24.40	31.00	59.60
Promedio(cm/s)	10.47	16.41	12.24	10.65	10.42	6.55	6.83	7.42	10.12

Tabla 4.2-24: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa superficial, campaña de invierno 0218.

Magnitud(cm/s)	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa superficial								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.04	0.09	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.16
>30	0.34	1.88	0.13	0.09	0.09	0.00	0.00	0.02	2.55
>20	0.87	8.96	2.60	1.21	0.90	0.07	0.04	0.16	14.80
>13	1.99	17.16	10.64	4.75	2.64	0.29	0.43	0.65	38.54
>10	2.91	21.05	15.41	7.32	3.79	0.81	0.72	1.08	53.08
>7	4.37	24.34	20.83	10.77	5.15	1.70	1.72	2.02	70.91
>4	6.29	26.88	23.96	14.13	7.26	2.71	3.25	3.43	87.91
>1	7.59	28.20	25.87	15.59	8.62	4.17	4.23	4.66	98.93

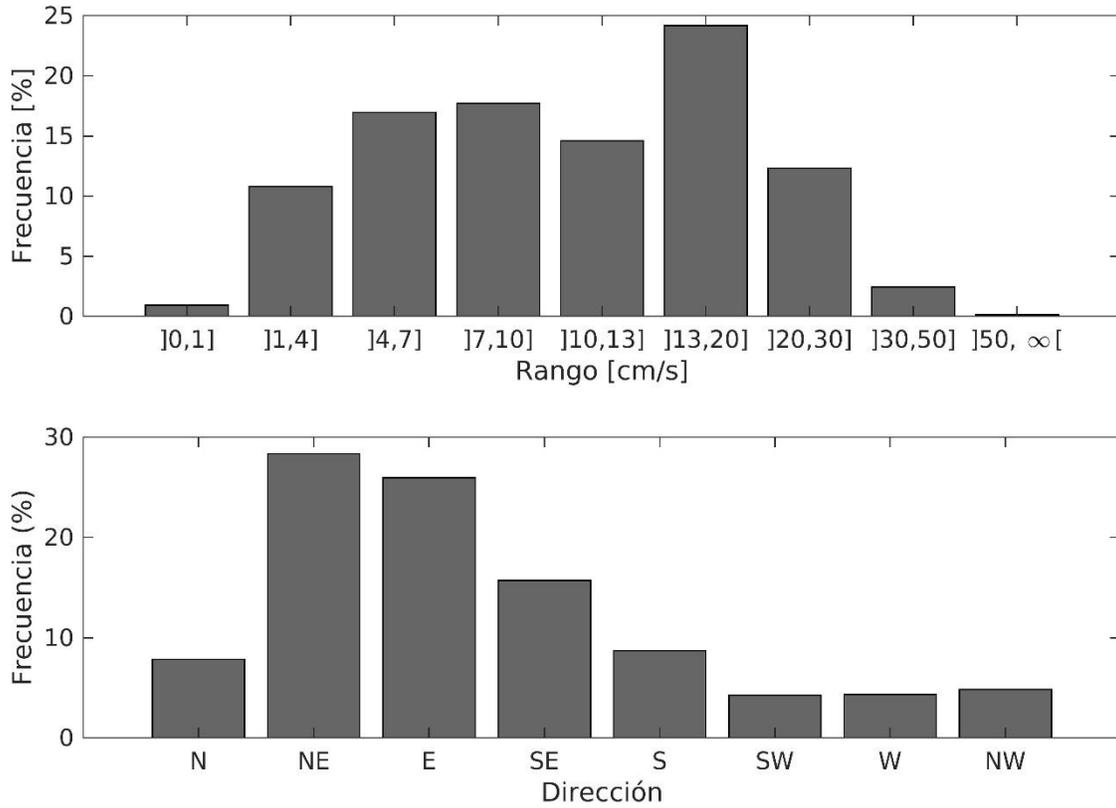


Figura 4.2-37: Histograma de Magnitud y Dirección, capa superficial, campaña de invierno 2018.

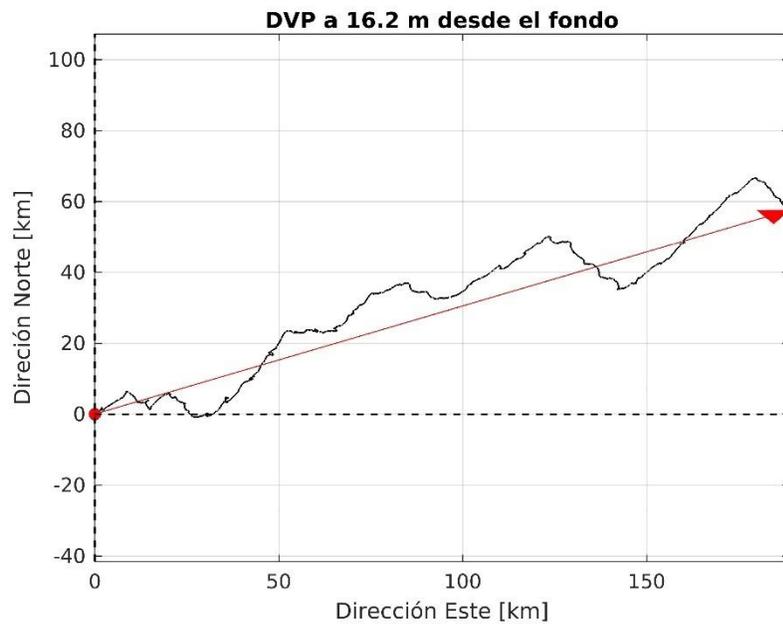


Figura 4.2-38: Diagramas de vector progresivo para capa superficial, campaña de invierno 2018.

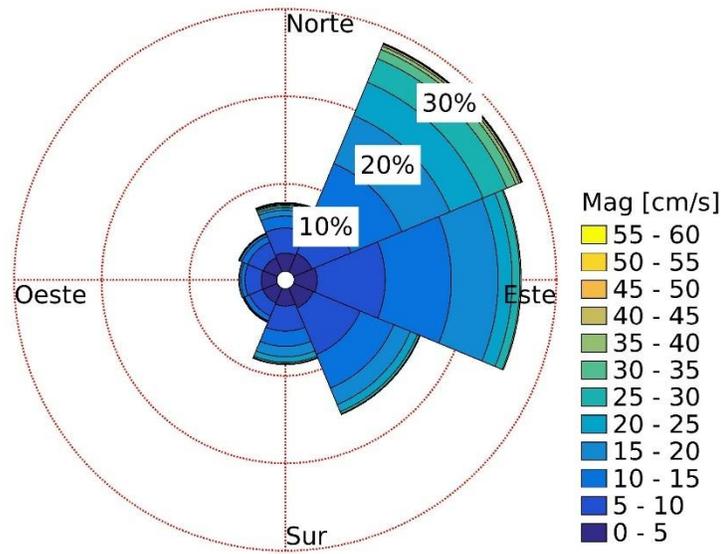


Figura 4.2-39: Rosa de corrientes para las capas superficiales, campaña de invierno 2018.

viii. Capa Intermedia

En la presente sección se presentan los resultados de la capa intermedia de la columna de agua. La Tabla 4.2-25 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-26 presenta las frecuencias de excedencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña invierno 2018. Adicionalmente, en la Figura 4.2-40 se presentan los histogramas correspondientes, a modo de observar la tendencia de la capa.

La capa intermedia presentó direcciones de corriente bastante distribuidas (ver Tabla 4.2-25 y Figura 4.2-40), presentando una leve predominancia hacia las direcciones SW y S, que presentaron un 17,72 y 17,31% de las mediciones, respectivamente. Las magnitudes de la capa intermedia presentaron un valor promedio de 5,02 cm/s (inferior a la capa superficial), mientras que el máximo fue de 20,4 cm/s, y estuvo asociado a la dirección W. Un 37,8% de las mediciones obtuvo una magnitud entre los 4 y los 7 cm/s.

Tabla 4.2-25: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña de invierno 2018.

Rango(cm/s)	Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%), capa intermedia								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.43	0.58	0.29	0.45	0.31	0.38	0.52	0.31	3.27
]1,4]	2.60	3.63	4.97	5.51	5.06	5.24	3.52	3.49	34.02
]4,7]	1.52	4.03	5.58	5.85	6.70	6.99	4.75	2.35	37.76
]7,10]	0.47	1.30	2.80	2.89	4.39	3.58	1.97	0.54	17.94
]10,13]	0.11	0.69	1.37	0.72	0.74	1.25	0.43	0.13	5.44
]13,20]	0.00	0.27	0.49	0.09	0.11	0.27	0.25	0.07	1.55

Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%), capa intermedia									
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]20,30]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
]30,50]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]50,∞[	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	5.13	10.50	15.50	15.50	17.31	17.72	11.44	6.90	100.00
Máximo(cm/s)	12.60	18.20	19.20	16.70	14.20	16.20	20.40	15.60	20.40
Promedio(cm/s)	3.89	5.07	5.77	5.13	5.49	5.63	5.16	4.03	5.02

Tabla 4.2-26: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña invierno 2018.

Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa intermedia									
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
>13	0.00	0.25	0.47	0.09	0.11	0.22	0.25	0.04	1.43
>10	0.09	0.92	1.79	0.78	0.78	1.37	0.67	0.20	6.61
>7	0.56	2.19	4.59	3.49	4.99	4.99	2.53	0.74	24.10
>4	2.08	6.07	10.12	9.43	11.60	11.71	7.17	2.89	61.08
>1	4.66	9.81	15.12	15.01	16.91	17.25	10.82	6.56	96.13

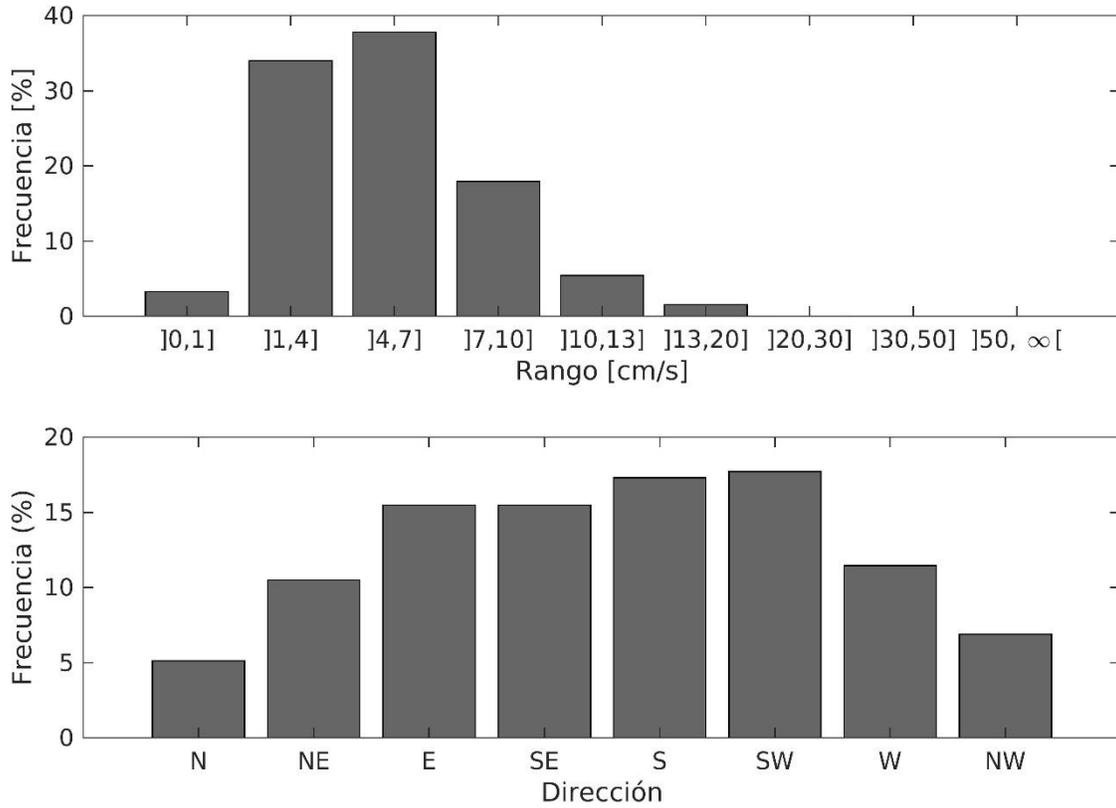


Figura 4.2-40: Histogramas de magnitud y dirección, capa intermedia, campaña de invierno 2018.

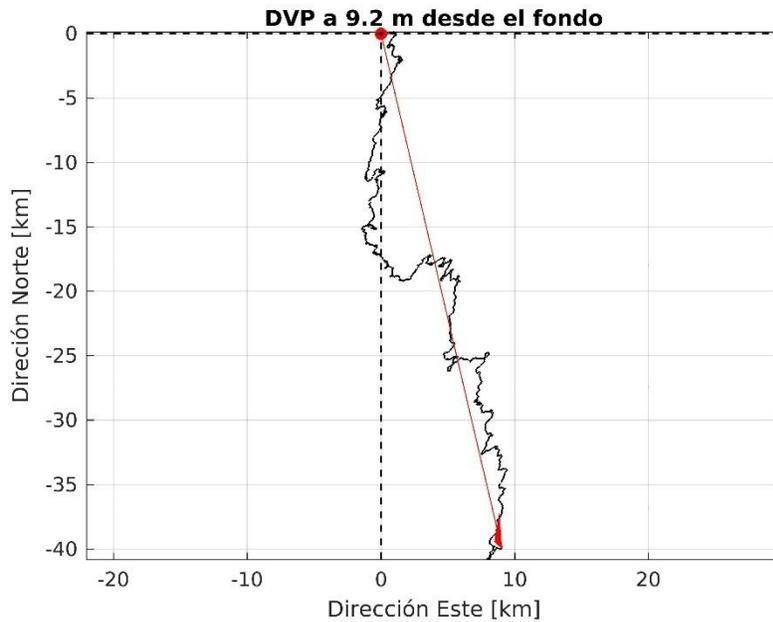


Figura 4.2-41: Diagramas de vector progresivo para las capas intermedias, campaña invierno 2018.

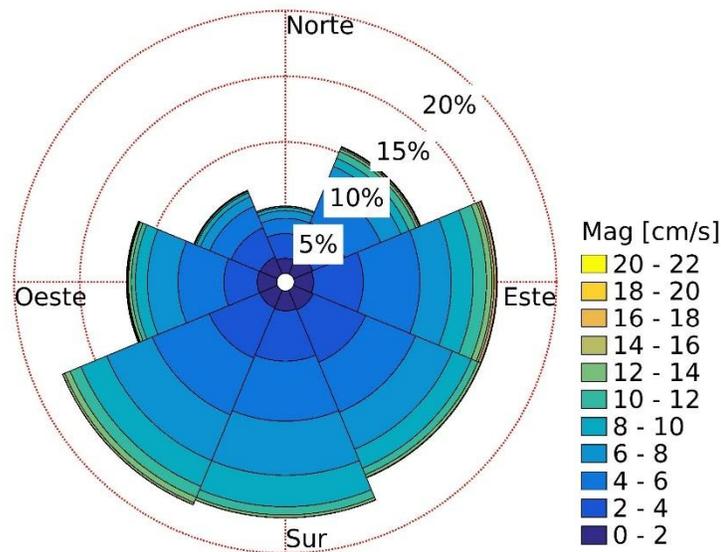


Figura 4.2-42: Rosa de corrientes para la capa intermedia, campaña invierno 2018.

ix. Capa de fondo

En la presente sección se presentan los resultados de la capa de fondo de la columna de agua. De forma análoga a las capas superiores, la Tabla 4.2-27 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-28 presenta las frecuencias de excedencia. En la Figura 4.2-43 se presentan los histogramas correspondientes, a modo de observar la tendencia de la capa.

Los resultados obtenidos en la capa de fondo fueron similares a aquellos descritos para la capa intermedia. La capa de fondo presentó direcciones de corriente bastante distribuidas (Tabla 4.2-27 y Figura 4.2-43), presentando en este caso una predominancia hacia la dirección W, con un 18,97% de las mediciones. Las magnitudes de la capa de fondo presentaron un valor promedio de 5,54 cm/s y el valor máximo medido fue de 20,8 cm/s (ambos similares a los presentados en la capa intermedia). Un 37% de las mediciones obtuvo una magnitud entre los 4 y los 7 cm/s

Tabla 4.2-27: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña de invierno 2018.

Rango(cm/s)	Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%), capa de fondo								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.22	0.18	0.38	0.22	0.29	0.25	0.25	0.25	2.04
]1,4]	2.96	2.80	3.16	4.03	4.28	4.61	4.37	3.58	29.79
]4,7]	3.27	2.37	2.98	5.38	5.35	5.53	6.79	5.40	37.07
]7,10]	1.66	0.92	2.08	2.71	2.91	2.60	4.73	3.87	21.48
]10,13]	0.29	0.13	0.65	1.01	0.72	1.08	1.88	1.81	7.57

Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%), capa de fondo									
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]13,20]	0.09	0.04	0.07	0.13	0.04	0.13	0.92	0.58	2.02
]20,30]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04
]30,50]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]50,∞[	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	8.49	6.45	9.32	13.48	13.59	14.20	18.97	15.50	100.00
Máximo(cm/s)	14.00	15.10	18.50	15.50	13.70	15.70	20.80	18.20	20.80
Promedio(cm/s)	5.02	4.66	5.40	5.56	5.32	5.41	6.53	6.45	5.54

Tabla 4.2-28. Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña de invierno 2018.

Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa de fondo									
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04
>13	0.07	0.04	0.07	0.09	0.02	0.11	0.94	0.58	1.93
>10	0.34	0.16	0.67	1.05	0.69	1.08	2.69	2.28	8.96
>7	1.95	1.05	2.75	3.67	3.54	3.67	7.48	6.02	30.15
>4	5.11	3.38	5.69	8.96	8.73	9.09	14.22	11.51	66.70
>1	8.20	6.27	8.89	13.17	13.21	13.91	18.57	15.25	97.47

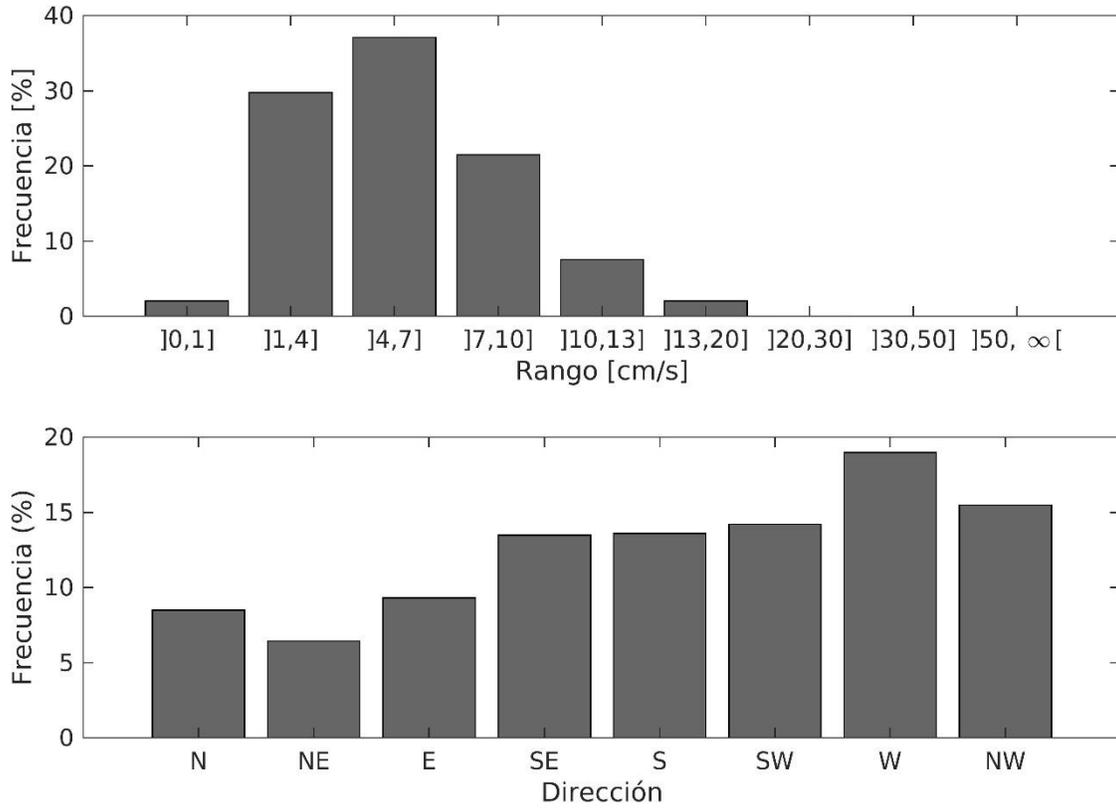


Figura 4.2-43: Histogramas de magnitud y dirección de corriente, capa de fondo, campaña de invierno 2018.

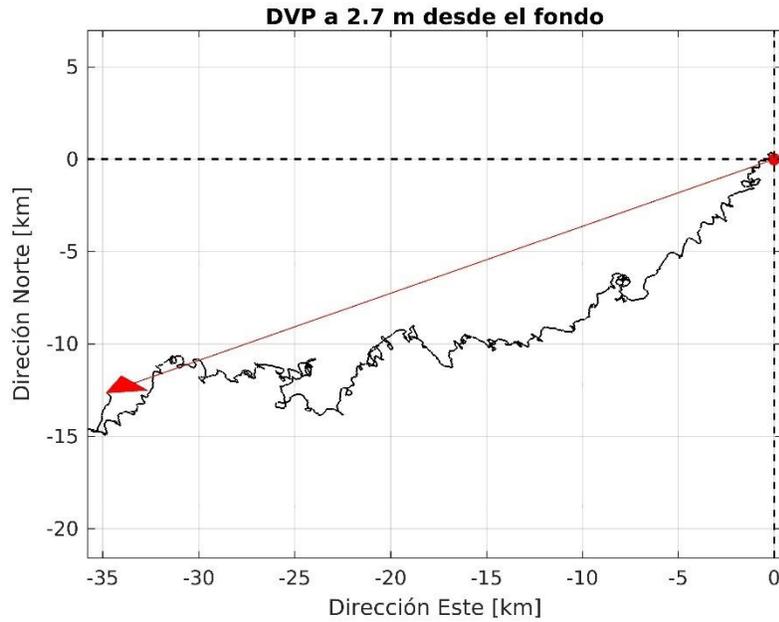


Figura 4.2-44: Diagrama de vector progresivo para la capa de fondo, campaña de invierno 2018.

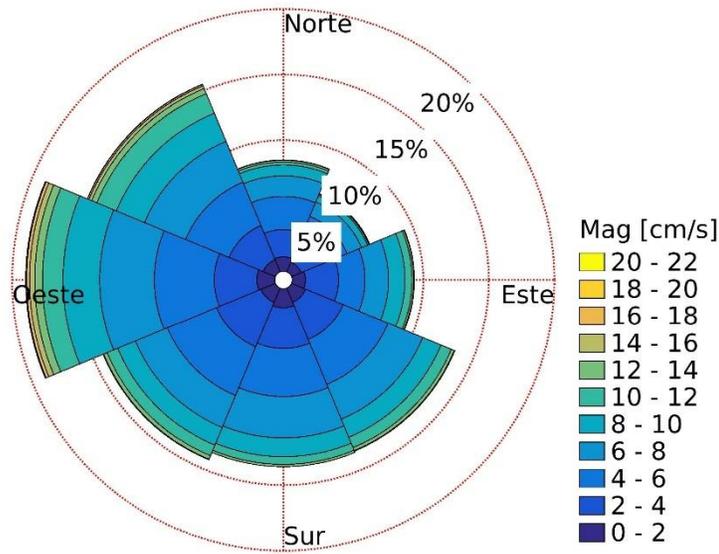


Figura 4.2-45: Rosa de corrientes para la capa de fondo, campaña de invierno 2018.

x. Armónicos de corrientes

Para los armónicos de corrientes, se identificaron los armónicos principales a partir de las amplitudes identificadas en la marea. De la Figura 4.2-46 se puede apreciar que los armónicos principales corresponden a 5 (K1, M2, N2, O1 y S2).

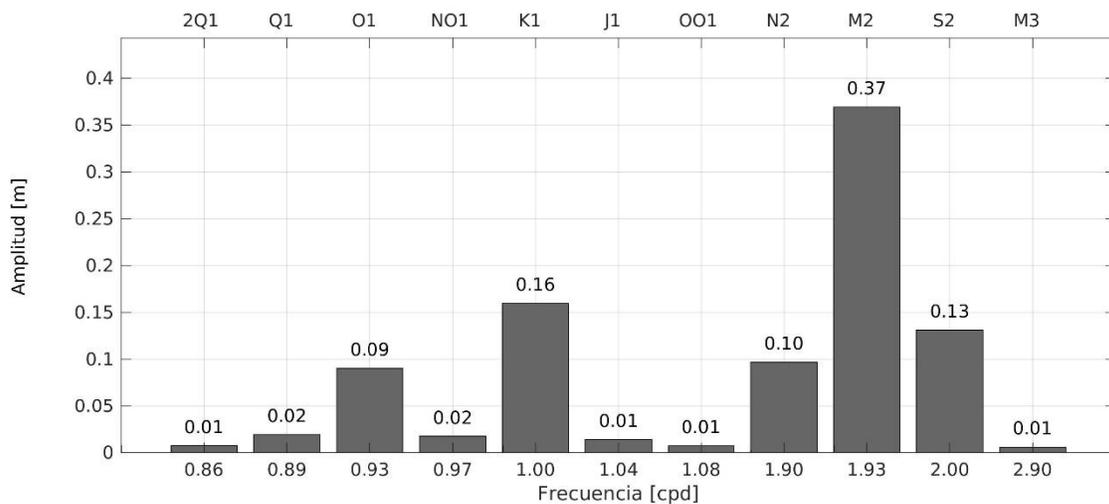


Figura 4.2-46: Frecuencia de armónicos, campaña de invierno 2018.

En la Figura 4.2-47 se presentan las elipses de los componentes principales (armónicos) en distintas profundidades de la columna de agua. Dichos componentes indican el comportamiento de las corrientes. Los componentes más relevantes corresponden a K1 (diurno) y M2 (semidiurno). En ambos se aprecia una mayor amplitud de la elipse en la capa

superficial en relación a las más profundas, sin embargo, en el componente K1 las elipses van aumentando hacia el fondo. Se aprecian leves rotaciones de dirección a lo largo de la columna de agua.

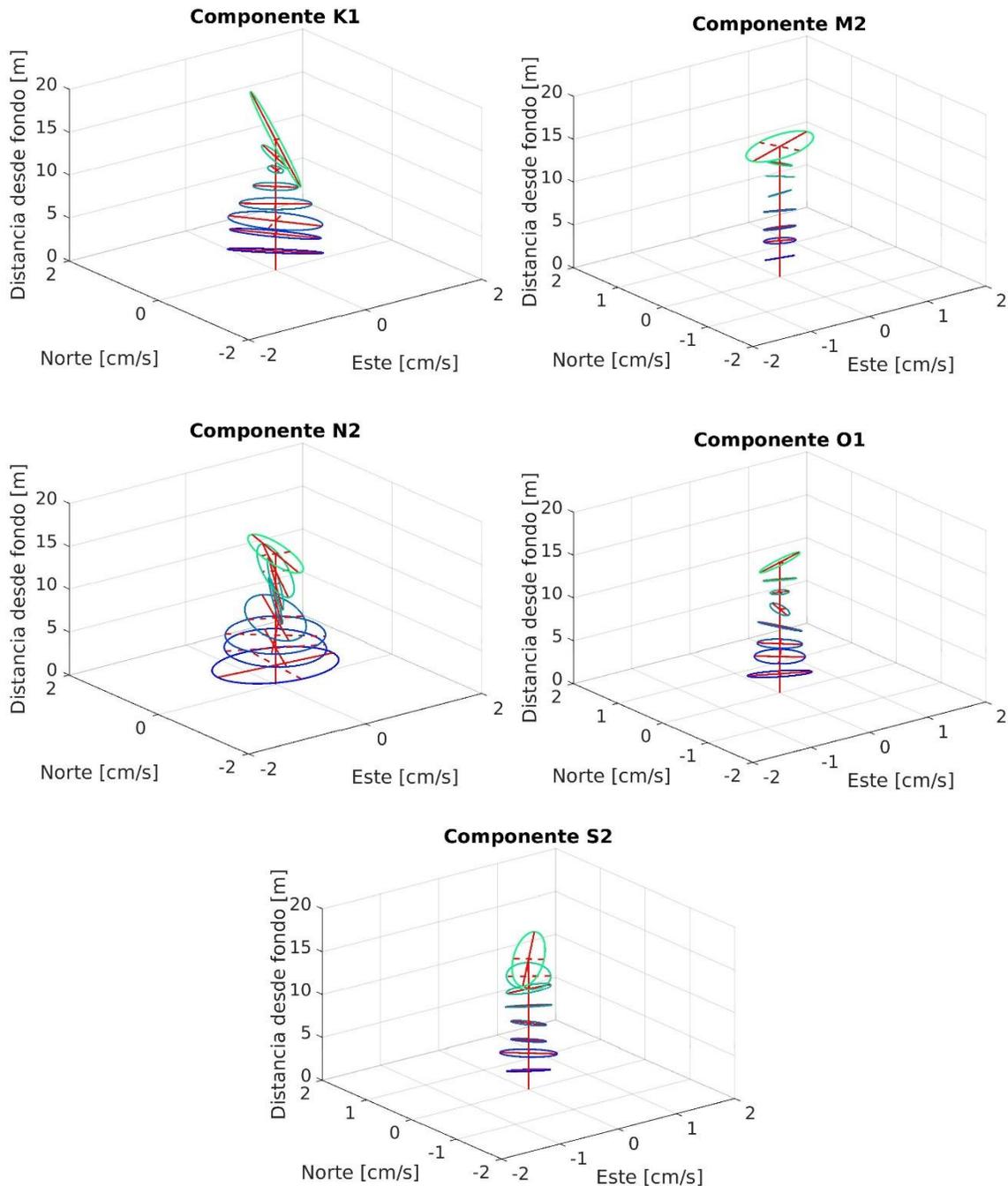


Figura 4.2-47: Elipses de corrientes de los componentes principales de marea en la columna de agua, campaña de invierno 2018

4.2.2.1.2 Corrientes Lagrangianas

La dinámica del campo de velocidades se evaluó a partir de los derivadores utilizados en terreno. Las Figura 4.2-48 y Figura 4.2-49, dan cuenta de la trayectoria de los derivadores utilizados, a niveles de 0 m y 5 m de profundidad, para las condiciones de cuadratura llenante y vaciante para los derivadores DER1, DER2 y DER3, y cuadratura vaciante y llenante para los derivadores DER4, DER5 y DER6. Las Figura 4.2-50 y Figura 4.2-51 dan cuenta de la trayectoria de los derivadores a niveles 0 y 5 m de profundidad, para las condiciones de sicigia vaciante y llenante. Las figuras son respaldadas con la Tabla 4.2-29, donde se presentan las distintas posiciones de los derivadores para distintos instantes de tiempo, y condiciones de mar.

De las trayectorias obtenidas, se observa que para cuadratura, a lo largo de la bahía se tiene una corriente predominante Norte, tanto en la condición llenante como vaciante en los 6 puntos de lanzamiento de derivadores (Figura 4.2-48 y Figura 4.2-49). Las trayectorias resultan similares al comparar los derivadores en ambos niveles de profundidad.

Por otro lado, para Sicigia se observó un comportamiento más disperso entre los derivadores, e incluso entre las distintas profundidades (Figura 4.2-50 y Figura 4.2-51). Los derivadores DER1, DER2 DER3 y DER4 presentaron corrientes con predominancia hacia el Este y Sur-Este en sicigia vaciante, mientras que los derivadores DER5 y DER6 presentaron corrientes con tendencias hacia el Oeste bajo la misma condición de marea.

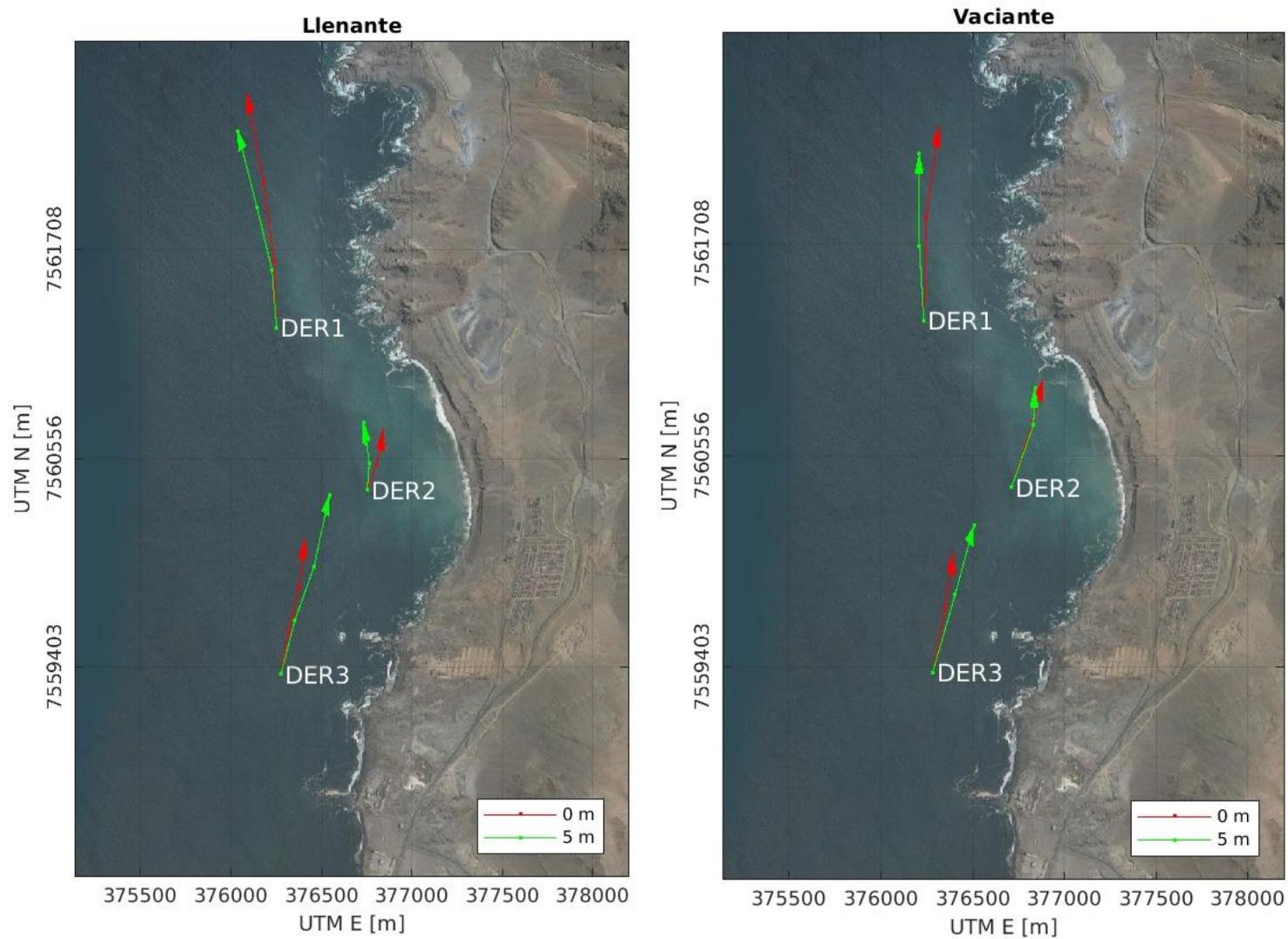


Figura 4.2-48: Trayectoria de derivadores DER1, DER2 y DER3 en cuadratura para fases de vaciante y llenante, campaña de invierno 2018.

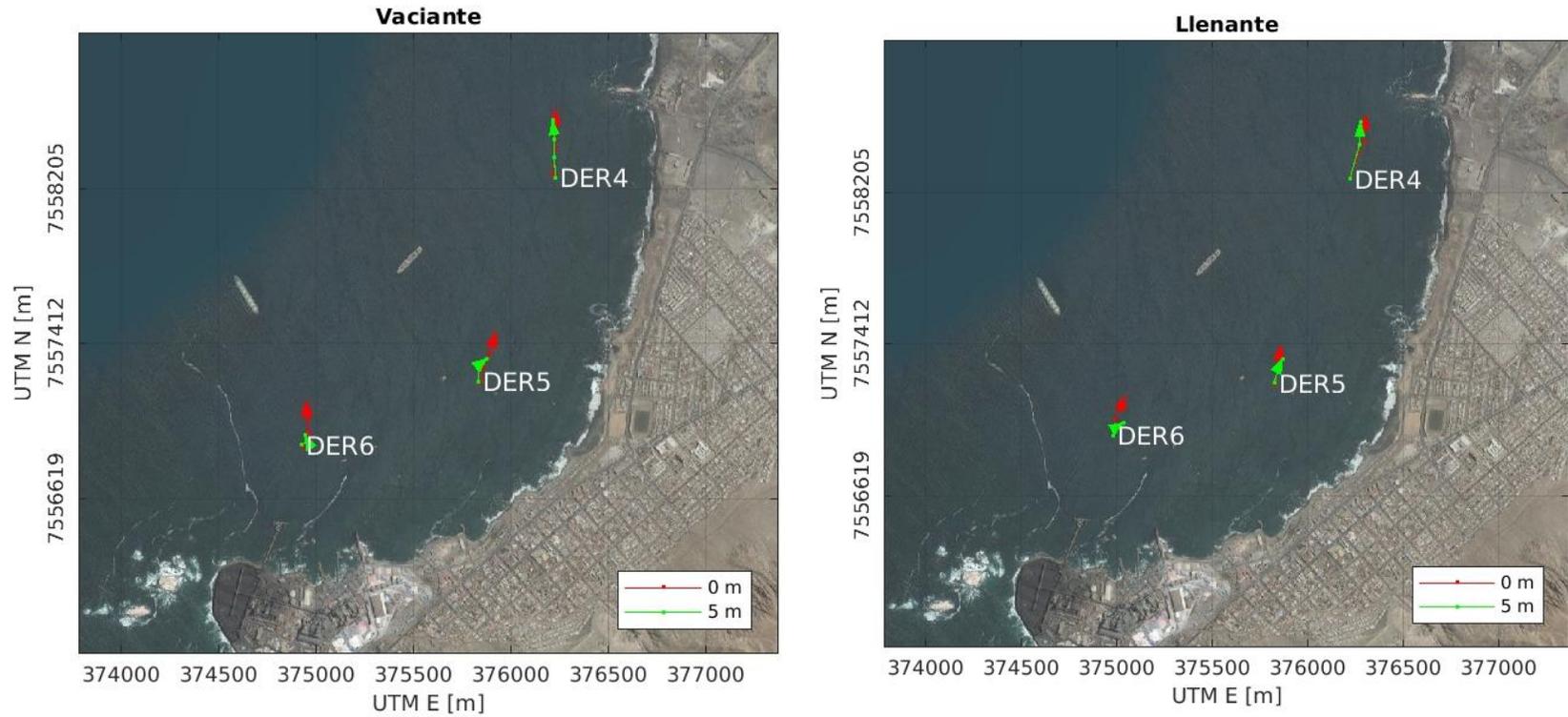


Figura 4.2-49: Trayectoria de derivadores DER4, DER5 y DER6 en cuadratura para fase de vaciante y llenante, campaña de invierno 2018.

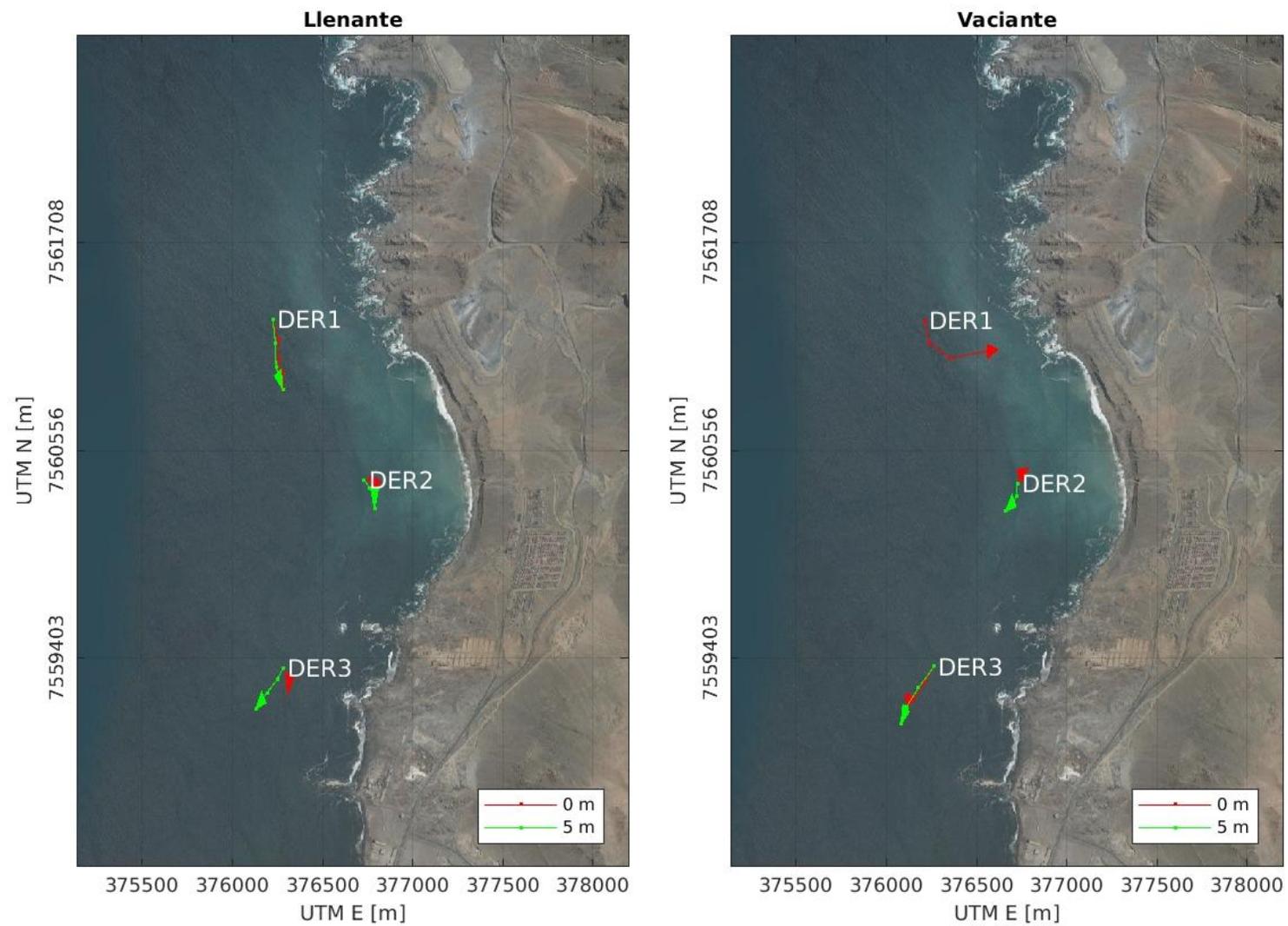


Figura 4.2-50: Trayectoria de derivadores DER1, DER2 y DEER3 en sicigia para fase llenante y vaciante, campaña de invierno 2018.

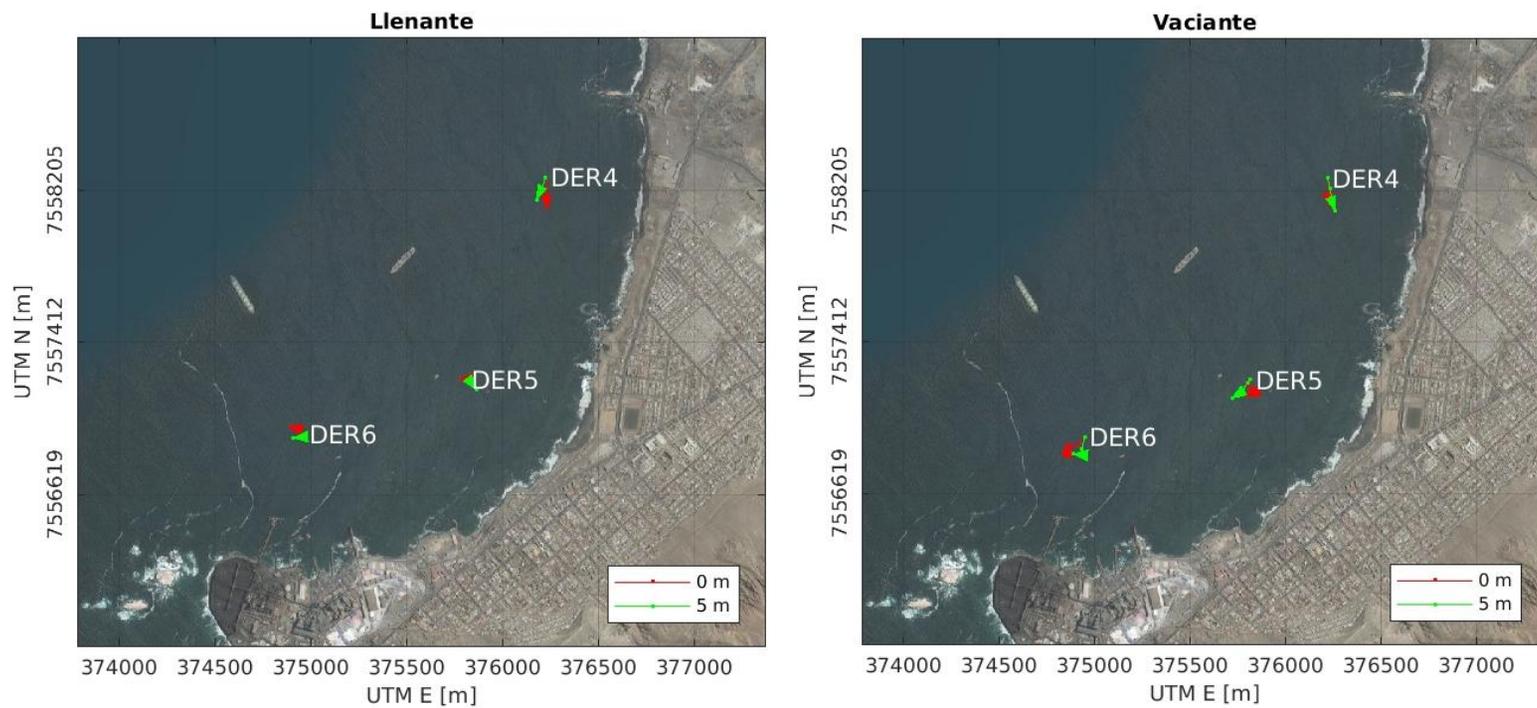


Figura 4.2-51: Trayectoria de derivadores DER4, DER5 y DERR6 en sicigia para fase llenante y vaciante, campaña de invierno 2018.

Tabla 4.2-29: Desplazamientos de los derivadores lanzados en Bahía Algodonales, en campaña de invierno 2018.

PtoDer	UTM E	UTM N	Estrato (m)	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER1	376256.16	7561278.09	0	04-08-2018	14:52:12	Cuadratura	Llenante
DER1	376240.25	7561647.52	0	04-08-2018	15:17:59	Cuadratura	Llenante
DER1	376183.60	7562078.29	0	04-08-2018	15:45:20	Cuadratura	Llenante
DER1	376089.86	7562568.11	0	04-08-2018	16:17:26	Cuadratura	Llenante
DER1	376237.27	7561290.22	0	04-08-2018	13:19:00	Cuadratura	Vaciante
DER1	376319.09	7562346.27	0	04-08-2018	14:25:27	Cuadratura	Vaciante
DER1	376249.48	7561851.73	0	04-08-2018	13:55:58	Cuadratura	Vaciante
DER1	376256.16	7561278.09	5	04-08-2018	14:52:12	Cuadratura	Llenante
DER1	376230.55	7561594.74	5	04-08-2018	15:17:36	Cuadratura	Llenante
DER1	376147.52	7561942.94	5	04-08-2018	15:44:21	Cuadratura	Llenante
DER1	376041.01	7562361.69	5	04-08-2018	16:15:37	Cuadratura	Llenante
DER1	376237.27	7561290.22	5	04-08-2018	13:19:00	Cuadratura	Vaciante
DER1	376211.37	7562196.85	5	04-08-2018	14:23:51	Cuadratura	Vaciante
DER1	376213.56	7561694.13	5	04-08-2018	13:54:28	Cuadratura	Vaciante
DER2	376757.33	7560382.70	0	04-08-2018	14:59:02	Cuadratura	Llenante
DER2	376807.25	7560518.39	0	04-08-2018	15:25:40	Cuadratura	Llenante
DER2	376832.38	7560617.45	0	04-08-2018	15:54:44	Cuadratura	Llenante
DER2	376843.84	7560708.99	0	04-08-2018	16:30:05	Cuadratura	Llenante
DER2	376714.52	7560380.49	0	04-08-2018	13:27:44	Cuadratura	Vaciante
DER2	376884.45	7560965.49	0	04-08-2018	14:34:15	Cuadratura	Vaciante
DER2	376834.04	7560747.44	0	04-08-2018	14:03:34	Cuadratura	Vaciante
DER2	376757.33	7560382.70	5	04-08-2018	14:59:02	Cuadratura	Llenante
DER2	376768.98	7560529.16	5	04-08-2018	15:25:18	Cuadratura	Llenante
DER2	376753.91	7560635.33	5	04-08-2018	15:54:08	Cuadratura	Llenante
DER2	376736.05	7560754.20	5	04-08-2018	16:28:38	Cuadratura	Llenante
DER2	376714.52	7560380.49	5	04-08-2018	13:27:44	Cuadratura	Vaciante
DER2	376842.57	7560924.20	5	04-08-2018	14:35:11	Cuadratura	Vaciante
DER2	376834.76	7560721.31	5	04-08-2018	14:03:53	Cuadratura	Vaciante
DER3	376279.56	7559364.18	0	04-08-2018	15:05:52	Cuadratura	Llenante
DER3	376320.91	7559591.57	0	04-08-2018	15:31:52	Cuadratura	Llenante
DER3	376381.82	7559838.17	0	04-08-2018	16:01:20	Cuadratura	Llenante
DER3	376413.45	7560107.88	0	04-08-2018	16:35:18	Cuadratura	Llenante
DER3	376285.47	7559373.53	0	04-08-2018	13:35:56	Cuadratura	Vaciante
DER3	376400.20	7560020.76	0	04-08-2018	14:42:18	Cuadratura	Vaciante
DER3	376354.17	7559719.60	0	04-08-2018	14:10:57	Cuadratura	Vaciante
DER3	376279.56	7559364.18	5	04-08-2018	15:05:52	Cuadratura	Llenante
DER3	376356.99	7559661.28	5	04-08-2018	15:31:14	Cuadratura	Llenante
DER3	376462.93	7559957.59	5	04-08-2018	16:00:08	Cuadratura	Llenante
DER3	376547.44	7560352.17	5	04-08-2018	16:38:08	Cuadratura	Llenante
DER3	376285.47	7559373.53	5	04-08-2018	13:35:56	Cuadratura	Vaciante
DER3	376510.86	7560174.74	5	04-08-2018	14:40:35	Cuadratura	Vaciante
DER3	376407.73	7559798.18	5	04-08-2018	14:10:07	Cuadratura	Vaciante
DER4	376225.00	7558278.00	0	04-08-2018	13:53:36	Cuadratura	Llenante

PtoDer	UTM E	UTM N	Estrato (m)	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER4	376299.00	7558469.00	0	04-08-2018	14:18:33	Cuadratura	Llenante
DER4	376308.00	7558605.00	0	04-08-2018	14:36:15	Cuadratura	Llenante
DER4	376218.00	7558268.00	0	04-08-2018	14:39:09	Cuadratura	Vacante
DER4	376229.00	7558396.00	0	04-08-2018	15:01:12	Cuadratura	Vacante
DER4	376239.00	7558508.00	0	04-08-2018	15:17:17	Cuadratura	Vacante
DER4	376231.00	7558604.00	0	04-08-2018	15:35:03	Cuadratura	Vacante
DER4	376225.00	7558271.00	5	04-08-2018	13:53:16	Cuadratura	Llenante
DER4	376277.00	7558450.00	5	04-08-2018	14:18:20	Cuadratura	Llenante
DER4	376280.00	7558569.00	5	04-08-2018	14:35:30	Cuadratura	Llenante
DER4	376232.00	7558256.00	5	04-08-2018	14:39:27	Cuadratura	Vacante
DER4	376229.00	7558361.00	5	04-08-2018	15:00:58	Cuadratura	Vacante
DER4	376230.00	7558450.00	5	04-08-2018	15:17:04	Cuadratura	Vacante
DER4	376218.00	7558550.00	5	04-08-2018	15:34:23	Cuadratura	Vacante
DER5	375833.00	7557192.00	0	04-08-2018	14:00:29	Cuadratura	Llenante
DER5	375852.00	7557321.00	0	04-08-2018	14:24:04	Cuadratura	Llenante
DER5	375856.00	7557341.00	0	04-08-2018	14:31:07	Cuadratura	Llenante
DER5	375866.00	7557400.00	0	04-08-2018	14:45:01	Cuadratura	Llenante
DER5	375842.00	7557205.00	0	04-08-2018	14:46:41	Cuadratura	Vacante
DER5	375846.00	7557203.00	0	04-08-2018	14:46:47	Cuadratura	Vacante
DER5	375862.00	7557287.00	0	04-08-2018	15:06:25	Cuadratura	Vacante
DER5	375896.00	7557351.00	0	04-08-2018	15:22:02	Cuadratura	Vacante
DER5	375929.00	7557464.00	0	04-08-2018	15:43:32	Cuadratura	Vacante
DER5	375830.00	7557205.00	5	04-08-2018	13:59:50	Cuadratura	Llenante
DER5	375851.00	7557279.00	5	04-08-2018	14:23:44	Cuadratura	Llenante
DER5	375854.00	7557290.00	5	04-08-2018	14:30:54	Cuadratura	Llenante
DER5	375873.00	7557328.00	5	04-08-2018	14:44:06	Cuadratura	Llenante
DER5	375838.00	7557212.00	5	04-08-2018	14:46:33	Cuadratura	Vacante
DER5	375842.00	7557271.00	5	04-08-2018	15:06:07	Cuadratura	Vacante
DER5	375855.00	7557310.00	5	04-08-2018	15:21:43	Cuadratura	Vacante
DER5	375883.00	7557331.00	5	04-08-2018	15:42:20	Cuadratura	Vacante
DER6	374987.00	7556930.00	0	04-08-2018	14:05:31	Cuadratura	Llenante
DER6	375002.00	7557023.00	0	04-08-2018	14:27:51	Cuadratura	Llenante
DER6	375050.00	7557135.00	0	04-08-2018	14:51:31	Cuadratura	Llenante
DER6	374936.00	7556877.00	0	04-08-2018	14:53:42	Cuadratura	Vacante
DER6	374967.00	7556953.00	0	04-08-2018	15:10:26	Cuadratura	Vacante
DER6	374960.00	7557013.00	0	04-08-2018	15:26:42	Cuadratura	Vacante
DER6	374956.00	7557113.00	0	04-08-2018	15:49:44	Cuadratura	Vacante
DER6	374984.00	7556928.00	5	04-08-2018	14:05:35	Cuadratura	Llenante
DER6	375010.00	7556977.00	5	04-08-2018	14:27:29	Cuadratura	Llenante
DER6	375043.00	7556997.00	5	04-08-2018	14:50:35	Cuadratura	Llenante
DER6	374933.00	7556889.00	5	04-08-2018	14:53:30	Cuadratura	Vacante
DER6	374958.00	7556904.00	5	04-08-2018	15:10:13	Cuadratura	Vacante
DER6	374959.00	7556915.00	5	04-08-2018	15:26:02	Cuadratura	Vacante
DER6	374947.00	7556937.00	5	04-08-2018	15:48:37	Cuadratura	Vacante
DER1	376228.00	7561284.00	0	08-12-2018	10:35:00	Sicigia	Llenante
DER1	376258.00	7561167.00	0	08-12-2018	10:56:00	Sicigia	Llenante
DER1	376258.00	7561060.00	0	08-12-2018	11:21:00	Sicigia	Llenante

PtoDer	UTM E	UTM N	Estrato (m)	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER1	376284.00	7560891.00	0	08-12-2018	11:47:00	Sicigia	Llenante
DER1	376216.00	7561275.00	0	08-12-2018	11:54:00	Sicigia	Vaciante
DER1	376242.00	7561152.00	0	08-12-2018	12:20:00	Sicigia	Vaciante
DER1	376356.00	7561067.00	0	08-12-2018	12:45:00	Sicigia	Vaciante
DER1	376620.00	7561116.00	0	08-12-2018	13:12:00	Sicigia	Vaciante
DER1	376228.00	7561284.00	5	08-12-2018	10:35:00	Sicigia	Llenante
DER1	376243.00	7561147.00	5	08-12-2018	10:58:00	Sicigia	Llenante
DER1	376246.00	7561019.00	5	08-12-2018	11:22:00	Sicigia	Llenante
DER1	376284.00	7560891.00	5	08-12-2018	11:47:00	Sicigia	Llenante
DER2	376735.00	7560390.00	0	08-12-2018	10:29:00	Sicigia	Llenante
DER2	376765.00	7560394.00	0	08-12-2018	10:52:00	Sicigia	Llenante
DER2	376812.00	7560378.00	0	08-12-2018	11:16:00	Sicigia	Llenante
DER2	376829.00	7560380.00	0	08-12-2018	11:42:00	Sicigia	Llenante
DER2	376730.00	7560373.00	0	08-12-2018	11:46:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376749.00	7560391.00	0	08-12-2018	12:15:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376744.00	7560417.00	0	08-12-2018	12:40:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376790.00	7560458.00	0	08-12-2018	13:07:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376735.00	7560390.00	5	08-12-2018	10:29:00	Sicigia	Llenante
DER2	376766.00	7560344.00	5	08-12-2018	10:51:00	Sicigia	Llenante
DER2	376792.00	7560292.00	5	08-12-2018	11:15:00	Sicigia	Llenante
DER2	376792.00	7560230.00	5	08-12-2018	11:42:00	Sicigia	Llenante
DER2	376730.00	7560373.00	5	08-12-2018	11:46:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376725.00	7560302.00	5	08-12-2018	12:14:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376704.00	7560266.00	5	08-12-2018	12:39:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376663.00	7560218.00	5	08-12-2018	13:05:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376286.00	7559348.00	0	08-12-2018	10:24:00	Sicigia	Llenante
DER3	376334.00	7559298.00	0	08-12-2018	10:45:00	Sicigia	Llenante
DER3	376316.00	7559262.00	0	08-12-2018	11:05:00	Sicigia	Llenante
DER3	376311.00	7559203.00	0	08-12-2018	11:30:00	Sicigia	Llenante
DER3	376269.00	7559357.00	0	08-12-2018	11:33:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376210.00	7559260.00	0	08-12-2018	12:06:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376155.00	7559181.00	0	08-12-2018	12:31:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376170.00	7559186.00	0	08-12-2018	12:55:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376286.00	7559348.00	5	08-12-2018	10:24:00	Sicigia	Llenante
DER3	376252.00	7559284.00	5	08-12-2018	10:44:00	Sicigia	Llenante
DER3	376196.00	7559211.00	5	08-12-2018	11:06:00	Sicigia	Llenante
DER3	376133.00	7559121.00	5	08-12-2018	11:32:00	Sicigia	Llenante
DER3	376269.00	7559357.00	5	08-12-2018	11:33:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376181.00	7559237.00	5	08-12-2018	12:08:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376116.00	7559134.00	5	08-12-2018	12:32:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376084.00	7559036.00	5	08-12-2018	12:56:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376230.00	7558269.00	0	08-12-2018	10:31:00	Sicigia	Llenante
DER4	376232.00	7558205.00	0	08-12-2018	10:47:00	Sicigia	Llenante
DER4	376237.00	7558100.00	0	08-12-2018	11:03:00	Sicigia	Llenante
DER4	376226.00	7558264.00	0	08-12-2018	11:28:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376234.00	7558225.00	0	08-12-2018	11:42:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376245.00	7558175.00	0	08-12-2018	11:55:00	Sicigia	Vaciante

PtoDer	UTM E	UTM N	Estrato (m)	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER4	376232.00	7558151.00	0	08-12-2018	12:10:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376239.00	7558116.00	0	08-12-2018	12:29:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376230.00	7558269.00	5	08-12-2018	10:31:00	Sicigia	Llenante
DER4	376211.00	7558213.00	5	08-12-2018	10:47:00	Sicigia	Llenante
DER4	376181.00	7558151.00	5	08-12-2018	11:04:00	Sicigia	Llenante
DER4	376226.00	7558264.00	5	08-12-2018	11:28:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376237.00	7558211.00	5	08-12-2018	11:43:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376247.00	7558161.00	5	08-12-2018	11:55:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376252.00	7558131.00	5	08-12-2018	12:10:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376264.00	7558093.00	5	08-12-2018	12:27:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375820.00	7557213.00	0	08-12-2018	10:24:00	Sicigia	Llenante
DER5	375809.00	7557217.00	0	08-12-2018	10:42:00	Sicigia	Llenante
DER5	375779.00	7557216.00	0	08-12-2018	10:57:00	Sicigia	Llenante
DER5	375822.00	7557211.00	0	08-12-2018	11:21:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375815.00	7557179.00	0	08-12-2018	11:38:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375822.00	7557157.00	0	08-12-2018	11:51:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375833.00	7557136.00	0	08-12-2018	12:05:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375800.00	7557119.00	0	08-12-2018	12:22:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375820.00	7557213.00	5	08-12-2018	10:24:00	Sicigia	Llenante
DER5	375851.00	7557184.00	5	08-12-2018	10:43:00	Sicigia	Llenante
DER5	375867.00	7557163.00	5	08-12-2018	10:58:00	Sicigia	Llenante
DER5	375822.00	7557211.00	5	08-12-2018	11:21:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375805.00	7557192.00	5	08-12-2018	11:39:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375780.00	7557156.00	5	08-12-2018	11:52:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375766.00	7557139.00	5	08-12-2018	12:05:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375725.00	7557113.00	5	08-12-2018	12:20:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374972.00	7556928.00	0	08-12-2018	10:18:00	Sicigia	Llenante
DER6	374924.00	7556961.00	0	08-12-2018	10:37:00	Sicigia	Llenante
DER6	374889.00	7556970.00	0	08-12-2018	10:53:00	Sicigia	Llenante
DER6	374954.00	7556911.00	0	08-12-2018	11:14:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374921.00	7556873.00	0	08-12-2018	11:34:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374897.00	7556858.00	0	08-12-2018	11:48:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374866.00	7556868.00	0	08-12-2018	12:01:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374867.00	7556880.00	0	08-12-2018	12:16:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374972.00	7556928.00	5	08-12-2018	10:18:00	Sicigia	Llenante
DER6	374951.00	7556913.00	5	08-12-2018	10:38:00	Sicigia	Llenante
DER6	374915.00	7556910.00	5	08-12-2018	10:54:00	Sicigia	Llenante
DER6	374954.00	7556911.00	5	08-12-2018	11:14:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374939.00	7556845.00	5	08-12-2018	11:35:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374932.00	7556817.00	5	08-12-2018	11:49:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374916.00	7556819.00	5	08-12-2018	12:01:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374896.00	7556821.00	5	08-12-2018	12:17:00	Sicigia	Vaciante

4.2.2.2 Campaña verano 2019

4.2.2.2.1 Corrientes Eulerianas

En la Figura 4.2-52 se presenta la información registrada por el ADCP, de manera integrada para toda la columna de agua. La Figura presenta los componentes ortogonales (Este y Norte) en profundidad. Se aprecia que las mayores magnitudes de corriente fueron obtenidas en la capa superficial. A diferencia de la campaña de invierno, donde se observó un comportamiento general en el periodo de tiempo de estudio, se destacan eventos de mayor velocidad en la vertical, alcanzado valores similares a los superficiales en las capas media y de fondo.

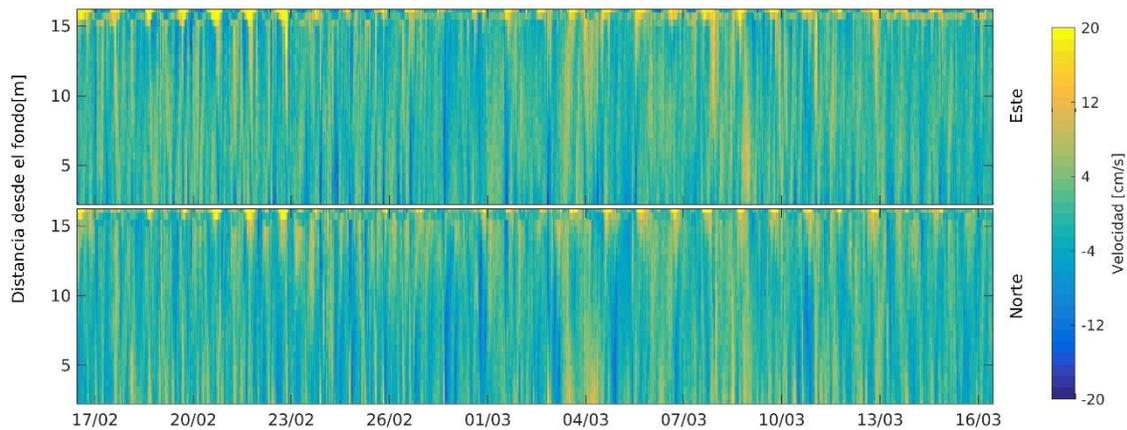


Figura 4.2-52: Registros de velocidades Eulerianas, componentes este y norte, febrero 2019.

A modo de representar el ciclo diario de corrientes y su estructura vertical, se efectuó un promedio diario de todo el perfil de corrientes, en dirección Este y Norte. Este resultado se presenta en la Figura 4.2-53, donde se aprecia una corriente NE entre los 12,5 m y 16,0 m desde el fondo, una corriente SE entre los 5,5 y 12,5 m desde el fondo, y una corriente SW en la capa de fondo. Con respecto a los resultados obtenidos en la campaña de invierno, se observa un cambio significativo en la capa superficial al haber un cambio de sentido en la componente este entre los 12,0 y 14,0 m desde el fondo.

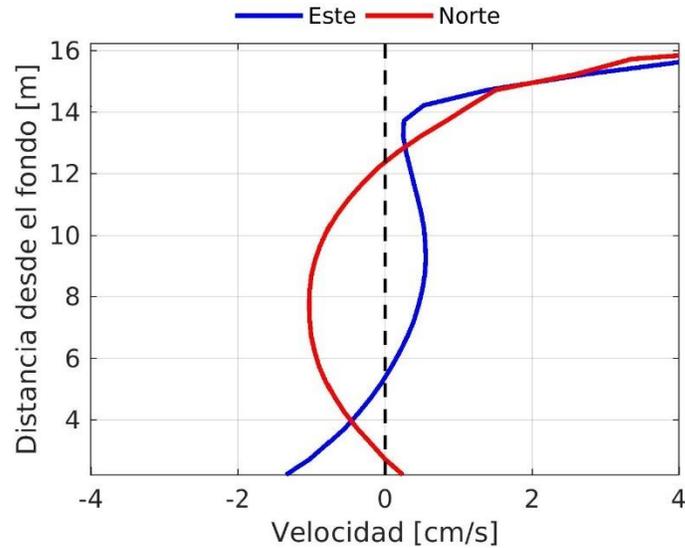


Figura 4.2-53: Estructura vertical de componentes ortogonales, ciclo diario de marea, septiembre 2019.

Adicionalmente, en la Figura 4.2-54 se presentan los registros de velocidad y dirección de corrientes según las 3 capas definidas, representados como “chascones”, donde los resultados fueron suavizados para facilitar su interpretación. Al igual que en la campaña de invierno 2018, para las tres capas en estudio, se observa que se producen cambios en el sentido de la velocidad, pasando desde valores positivos a negativos y viceversa. En el caso de la capa superficial, dentro del mes de medición de las corrientes se mantienen mayormente valores positivos, con tendencia al NE. Para la capa intermedia en cambio, se aprecia mayor preferencia hacia valores negativos S. Finalmente, en la capa de fondo se observa cambios similares a los de la capa intermedia, pero con mayores magnitudes de velocidad en los vectores con dirección N.

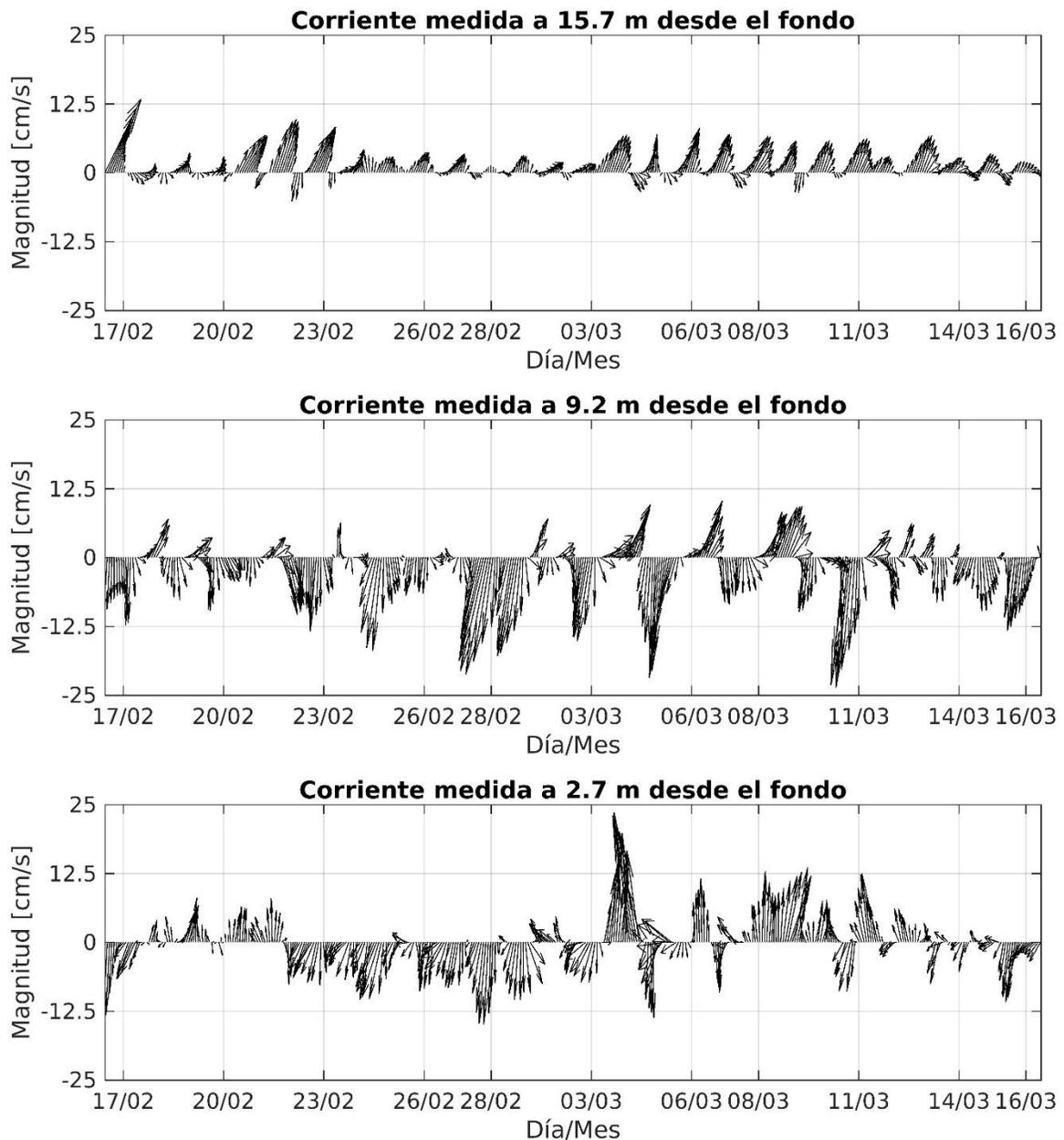


Figura 4.2-54: Registro de velocidad y dirección de corrientes según las capas definidas. Periodo de septiembre de 2019. Nota: las series de tiempo han sido suavizadas para facilitar su visualización.

xi. Capa superficial

A continuación, se presentan los resultados a nivel superficial de la columna de agua. La Tabla 4.2-30 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-31 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-55 se presentan los histogramas de magnitud y dirección. En la Figura 4.2-56 y en la Figura 4.2-57 se adjuntan el diagrama de vector progresivo y la rosa de corrientes, respectivamente.

La capa superficial muestra una predominancia hacia las direcciones E y NE, con un 28,81% y 26,61% de las preferencias, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 6,48 cm/s, con un máximo de 43,10 cm/s, asociado a la dirección NE (Tabla 4.2-30, Figura 4.2-55, Figura 4.2-57). Estas preferencias se aprecian también en el diagrama de vector progresivo (Figura 4.2-56), donde la partícula siguió una trayectoria homogénea con tendencia ENE.

Tabla 4.2-30: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa superficial, campaña de verano 2019.

Frecuencia según dirección y rango de magnitud de corriente (%). Capa superficial.									
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.22	0.45	0.27	0.32	0.27	0.17	0.35	0.22	2.28
]1,4]	2.75	3.60	4.71	4.34	2.23	1.31	1.69	2.33	22.96
]4,7]	3.50	5.16	7.86	5.43	1.41	0.79	2.01	2.58	28.74
]7,10]	2.80	4.46	6.42	2.63	0.45	0.67	0.87	1.17	19.46
]10,13]	0.94	3.22	3.99	1.26	0.05	0.30	0.15	0.27	10.19
]13,20]	0.15	5.46	4.88	0.45	0.02	0.20	0.15	0.10	11.41
]20,30]	0.00	3.05	0.67	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	3.74
]30,50]	0.00	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22
]50, ∞ [	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	10.36	26.61	28.81	14.46	4.44	3.45	5.21	6.67	100.00
Máximo(cm/s)	17.60	43.10	25.80	20.60	13.30	17.60	18.50	16.80	43.10
Promedio(cm/s)	5.95	11.94	8.55	5.72	3.94	5.52	5.03	5.15	6.48

Tabla 4.2-31: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa superficial, campaña de verano 2019.

Frecuencia según dirección y excedencia de corriente (%), capa superficial									
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22
>20	0.00	4.17	0.64	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	4.84
>13	0.15	9.55	5.48	0.42	0.02	0.20	0.12	0.10	16.04
>10	1.07	12.79	9.47	1.69	0.07	0.50	0.30	0.35	26.23
>7	3.79	17.23	15.67	4.22	0.52	1.12	1.14	1.49	45.18
>4	7.12	22.42	23.73	9.52	1.79	1.93	3.10	3.99	73.59
>1	9.97	26.06	28.47	14.01	4.09	3.27	4.84	6.35	97.05

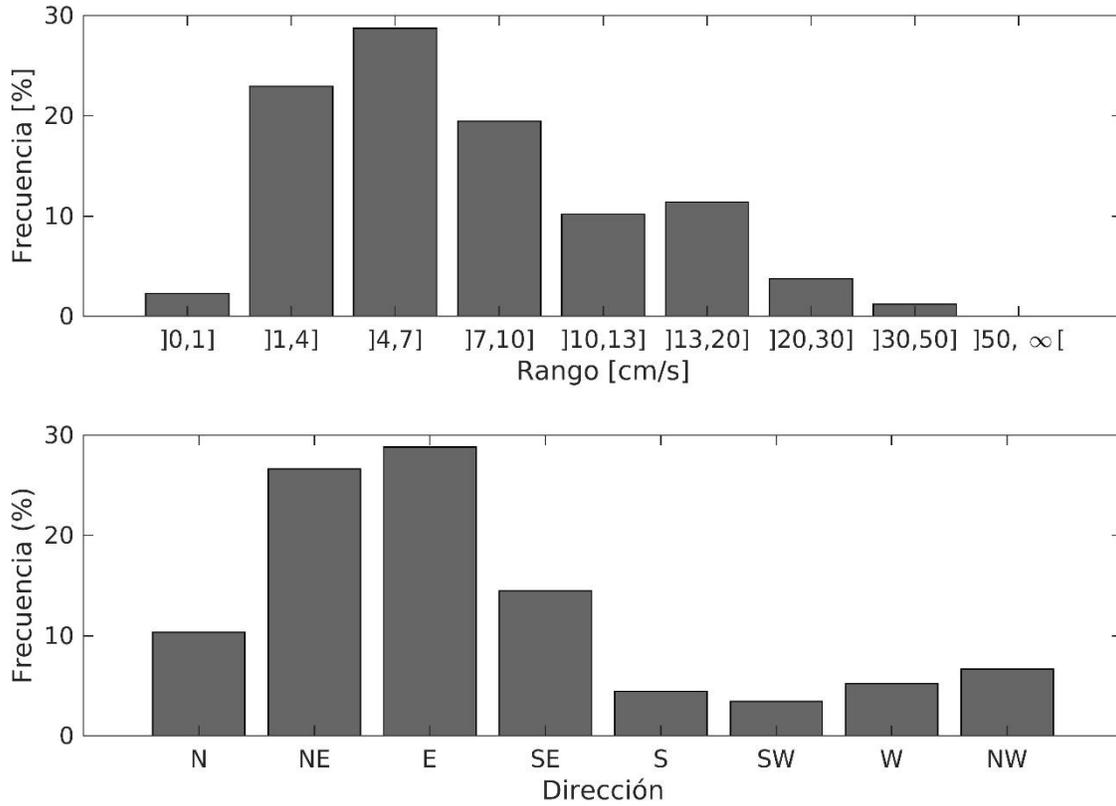


Figura 4.2-55: Histogramas de magnitud y dirección, capa superficial, campaña de verano 2019.

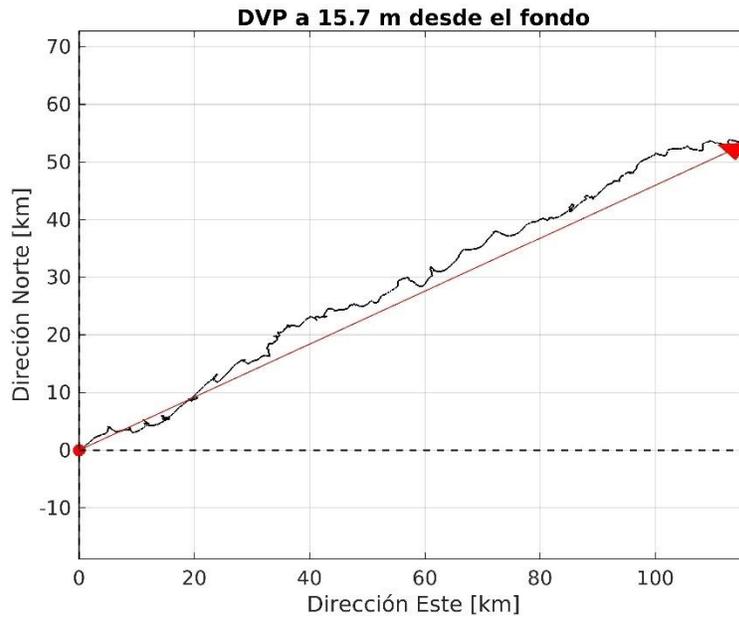


Figura 4.2-56: Diagrama de vector progresivo para capa superficial, campaña de verano 2019.

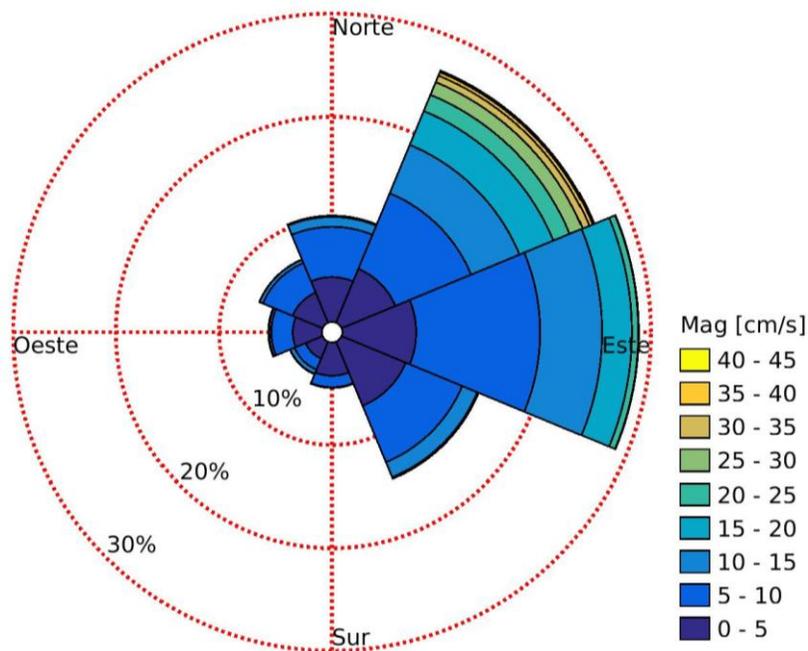


Figura 4.2-57: Rosa de corrientes para las capas superficiales, campaña de verano 2019.

xii. Capa intermedia

La Tabla 4.2-32 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-33 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-58 se presentan los histogramas de magnitud y dirección. En la Figura 4.2-59 y en la Figura 4.2-60 se adjuntan el diagrama de vector progresivo y la rosa de corrientes, respectivamente.

Tabla 4.2-32: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña de verano 2019

Frecuencia según dirección y rango de magnitud de corriente (%), capa intermedia									
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.62	0.74	0.87	0.74	0.62	0.55	0.89	0.55	5.58
]1,4]	3.84	7.27	7.86	7.36	9.55	7.17	3.69	3.37	50.11
]4,7]	2.38	5.55	5.13	3.35	7.54	5.80	1.88	0.74	32.38
]7,10]	0.25	1.71	1.61	0.47	2.08	1.93	0.30	0.02	8.38
]10,13]	0.05	0.57	0.30	0.12	0.69	0.92	0.25	0.00	2.90
]13,20]	0.02	0.07	0.07	0.00	0.15	0.27	0.05	0.00	0.64
]20,30]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]30,50]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]50, ∞ [	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	7.17	15.92	15.84	12.05	20.63	16.64	7.07	4.69	100.00
Máximo(cm/s)	16.40	15.90	14.80	12.60	18.00	16.70	15.90	7.10	18.00
Promedio(cm/s)	3.53	4.30	4.05	3.42	4.42	4.75	3.49	2.61	3.82

Tabla 4.2-33: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña de verano 2019

Magnitud(cm/s)	Frecuencia según dirección y excedencia de corriente (%), capa intermedia								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>13	0.02	0.07	0.07	0.00	0.12	0.27	0.02	0.00	0.60
>10	0.07	0.60	0.35	0.12	0.79	1.09	0.25	0.00	3.27
>7	0.30	2.23	1.88	0.57	2.85	3.03	0.60	0.02	11.48
>4	2.53	7.61	6.94	3.55	10.09	8.78	2.43	0.62	42.55
>1	6.42	15.08	14.83	11.31	19.86	15.94	6.12	4.04	93.60

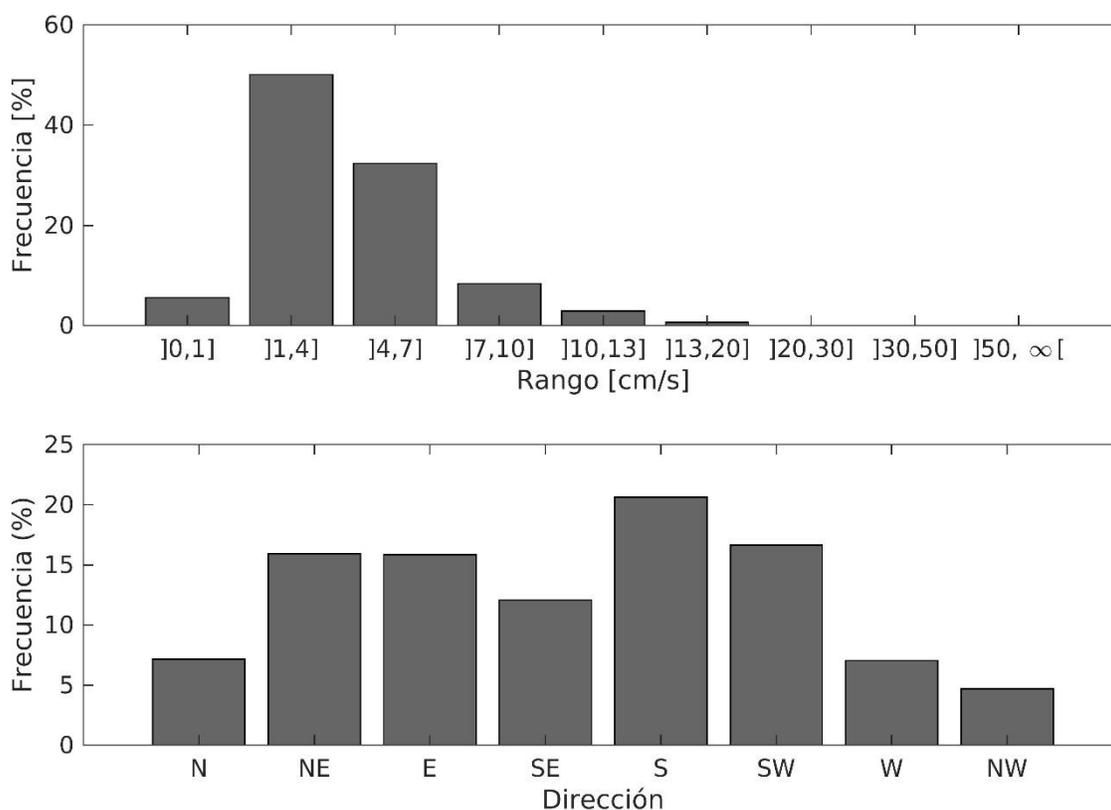


Figura 4.2-58: Histogramas de magnitud y dirección, capa intermedia, campaña de verano 2019.

La capa intermedia muestra una predominancia hacia las direcciones S y SW, con un 20,63% y 16,64% de las preferencias, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 3,82 cm/s, con un máximo de 18,00 cm/s, asociado a la dirección S (Tabla 4.2-32, Figura 4.2-58, Figura 4.2-60). Estas preferencias se aprecian también en el diagrama de vector progresivo (Figura 4.2-59), donde la partícula siguió una trayectoria S sostenida con oscilaciones E-W.

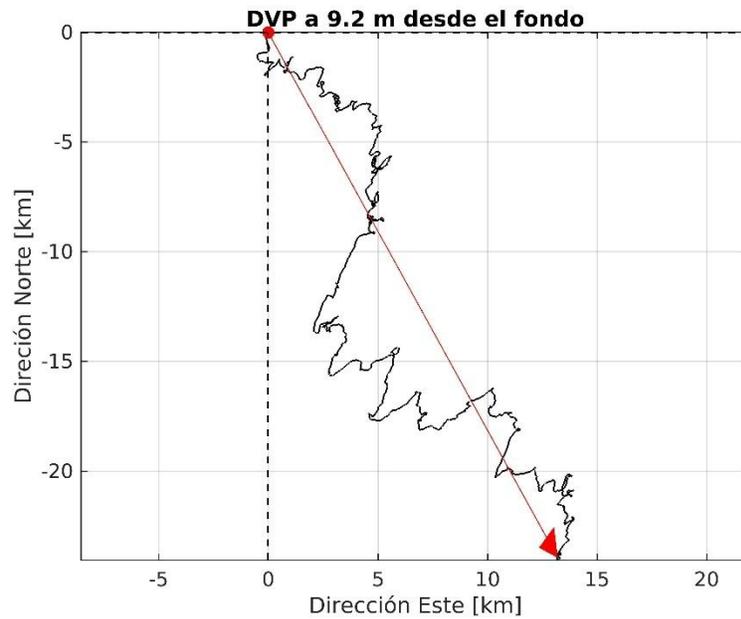


Figura 4.2-59: Diagrama de vector progresivo para capa intermedia, campaña de verano 2019

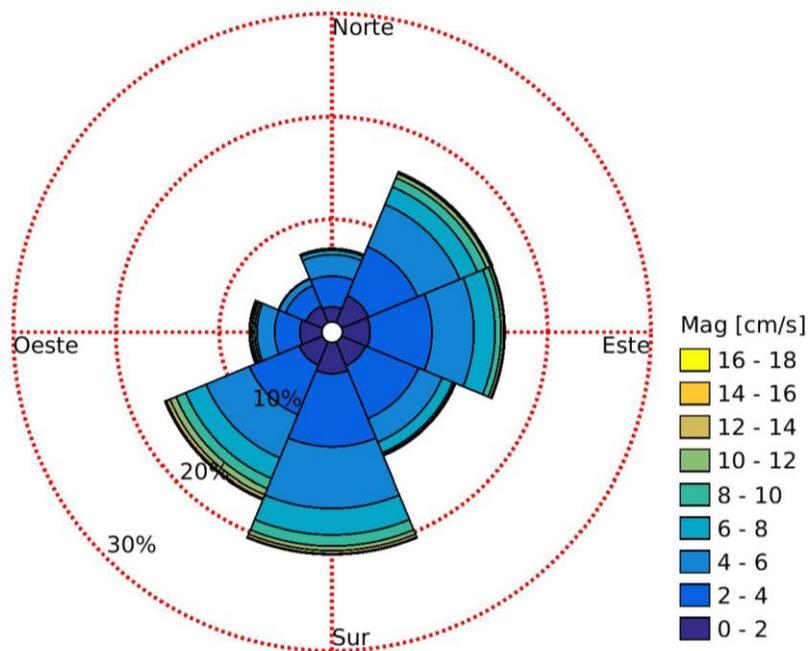


Figura 4.2-60: Diagrama de vector progresivo para capa intermedia, campaña de verano 2019

xiii. Capa de fondo

La Tabla 4.2-34 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-35 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-61 se presentan los histogramas de magnitud y dirección. En la Figura 4.2-62 y

en la Figura 4.2-63 se adjuntan el diagrama de vector progresivo y la rosa de corrientes, respectivamente.

Tabla 4.2-34: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña de verano 2019

Frecuencia según dirección y rango de magnitud de corriente (%), capa de fondo									
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.32	0.27	0.30	0.22	0.45	0.37	0.32	0.22	2.48
]1,4]	2.93	3.03	3.97	4.66	5.36	3.47	3.92	4.88	32.21
]4,7]	3.55	2.50	3.30	6.94	7.93	3.30	4.12	5.58	37.22
]7,10]	2.36	0.64	0.77	2.85	3.27	1.34	2.43	5.26	18.92
]10,13]	0.69	0.20	0.15	0.32	0.94	0.45	1.29	2.06	6.10
]13,20]	0.25	0.02	0.00	0.00	0.07	0.30	0.40	1.71	2.75
]20,30]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.32
]30,50]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]50, ∞ [	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	10.09	6.67	8.48	15.00	18.03	9.22	12.47	20.03	100.00
Máximo(cm/s)	16.90	14.20	11.40	12.20	14.10	16.70	15.70	24.90	24.90
Promedio(cm/s)	5.70	4.35	4.21	5.10	5.35	5.15	5.83	7.16	5.36

Tabla 4.2-35: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña de verano 2019

Frecuencia según dirección y excedencia de corriente (%), capa de fondo									
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.32
>13	0.25	0.02	0.00	0.00	0.05	0.30	0.40	1.96	2.98
>10	0.89	0.20	0.15	0.32	0.99	0.72	1.66	3.99	8.93
>7	3.22	0.84	0.87	3.10	4.19	1.98	3.99	9.25	27.45
>4	6.77	3.20	3.99	9.89	11.93	5.26	8.11	14.73	63.87
>1	9.72	6.40	8.13	14.75	17.58	8.83	11.98	19.76	97.15

La capa de fondo muestra una predominancia hacia las direcciones NW y S, con un 20,03% y 18,03% de las preferencias, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 5,36 cm/s, con un máximo de 24,90 cm/s, asociado a la dirección NW (Tabla 4.2-34, Figura 4.2-61, Figura 4.2-63). Estas preferencias se aprecian también en el diagrama de vector progresivo (Figura 4.2-62), donde la partícula siguió una clara trayectoria SW por 11 km en el eje horizontal, para dar luego a una trayectoria N con oscilaciones E-W. Finalmente el desplazamiento neto en el periodo de estudio resultó en 25 km en la horizontal y -1,7 km en la vertical.

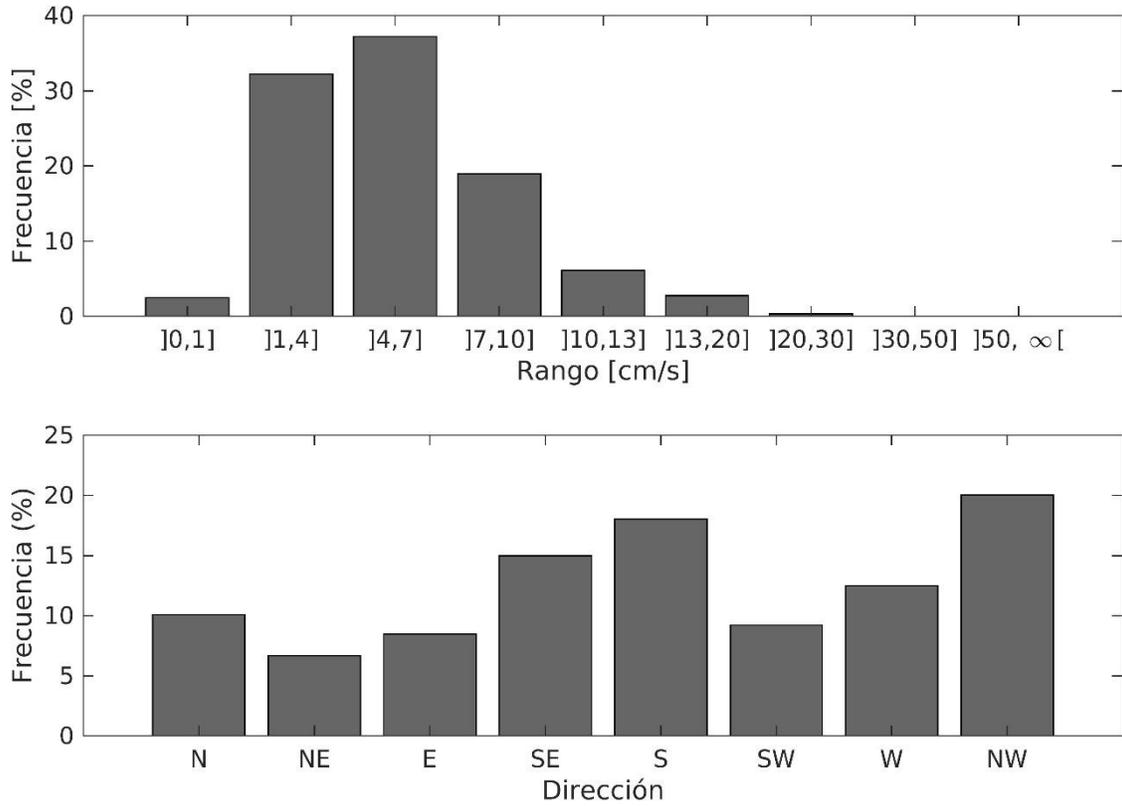


Figura 4.2-61: Histogramas de magnitud y dirección, capa de fondo, campaña de verano 2019.

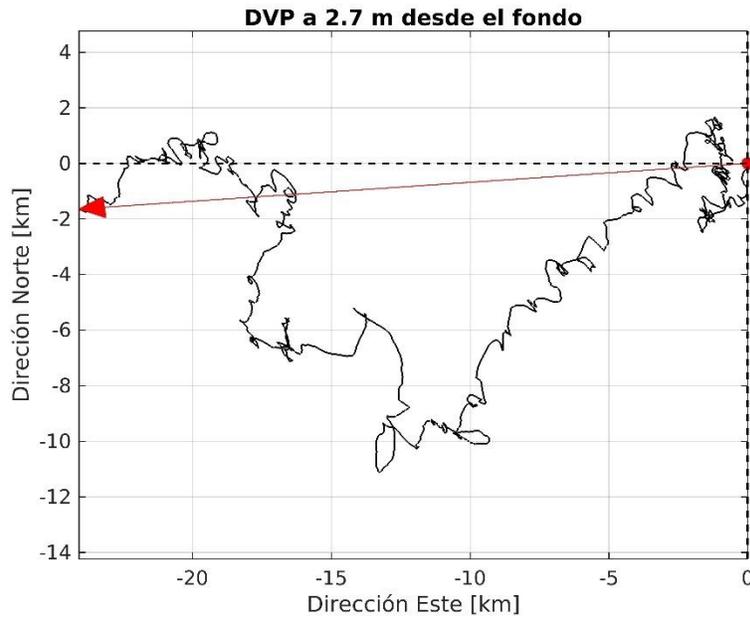


Figura 4.2-62: Diagrama de vector progresivo para capa de fondo, campaña de verano 2019

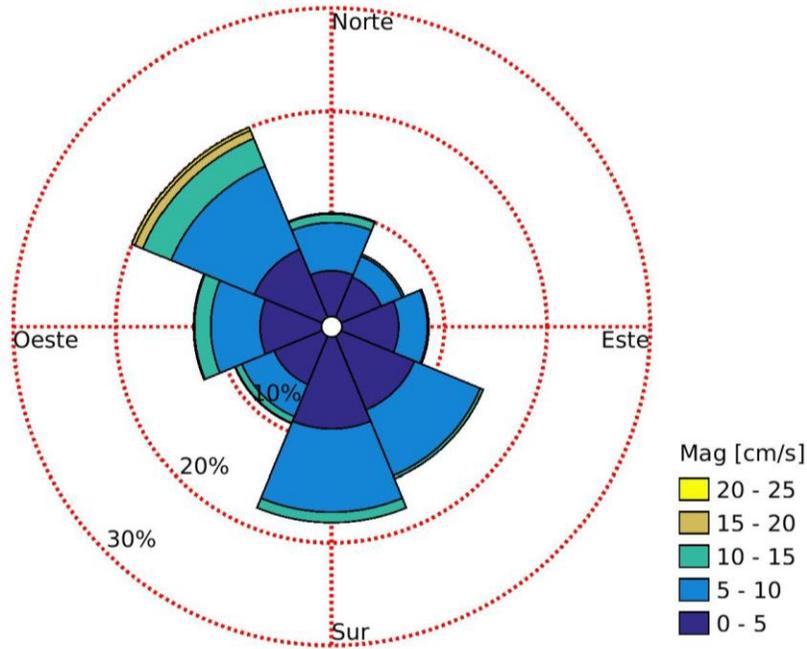


Figura 4.2-63: Diagrama de vector progresivo para capa de fondo, campaña de verano 2019

xiv. Armónicos de corrientes

Para los armónicos de corrientes, se identificaron los armónicos principales a partir de las amplitudes identificadas en la marea. De la Figura 4.2-64, se puede apreciar que los armónicos principales corresponden a 5 (M2, S2, K1, N2 y O1).

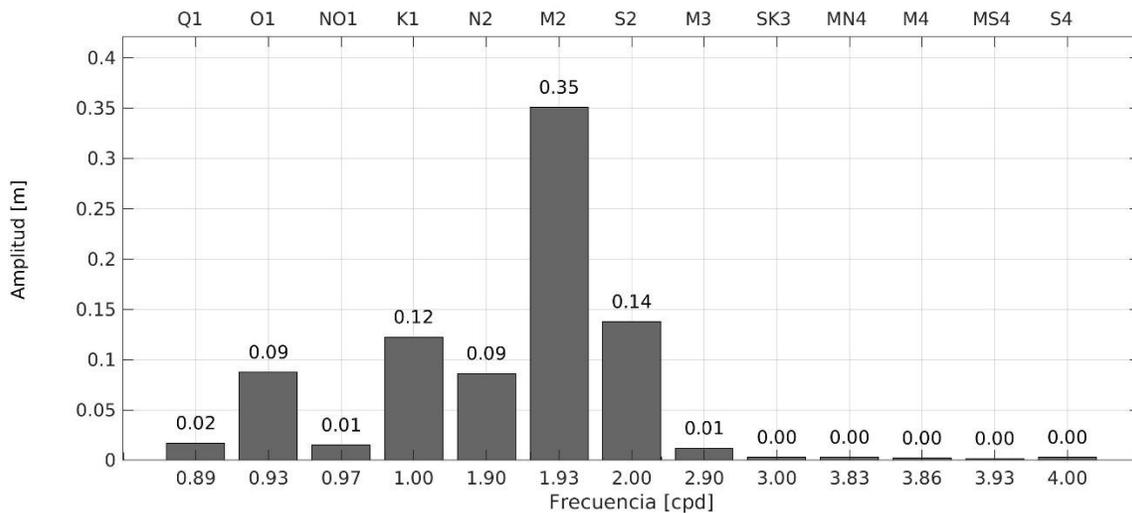


Figura 4.2-64: Frecuencia de armónicos, campaña de verano 2019.

En la Figura 4.2-65 se presentan las elipses de los componentes principales (armónicos) en distintas profundidades de la columna de agua. Dichos componentes indican el comportamiento de las corrientes. Los componentes más relevantes corresponden a M2 (semidiurno) y K1 (diurno). En la componente M2 se observa una mayor amplitud de la

elipse en la capa superficial en relación con las más profundas, mientras que en la componente K1 se observa una gran amplitud en la capa superficial que dista del comportamiento del resto de la columna de agua, donde se ve un aumento de la amplitud en función de la profundidad.

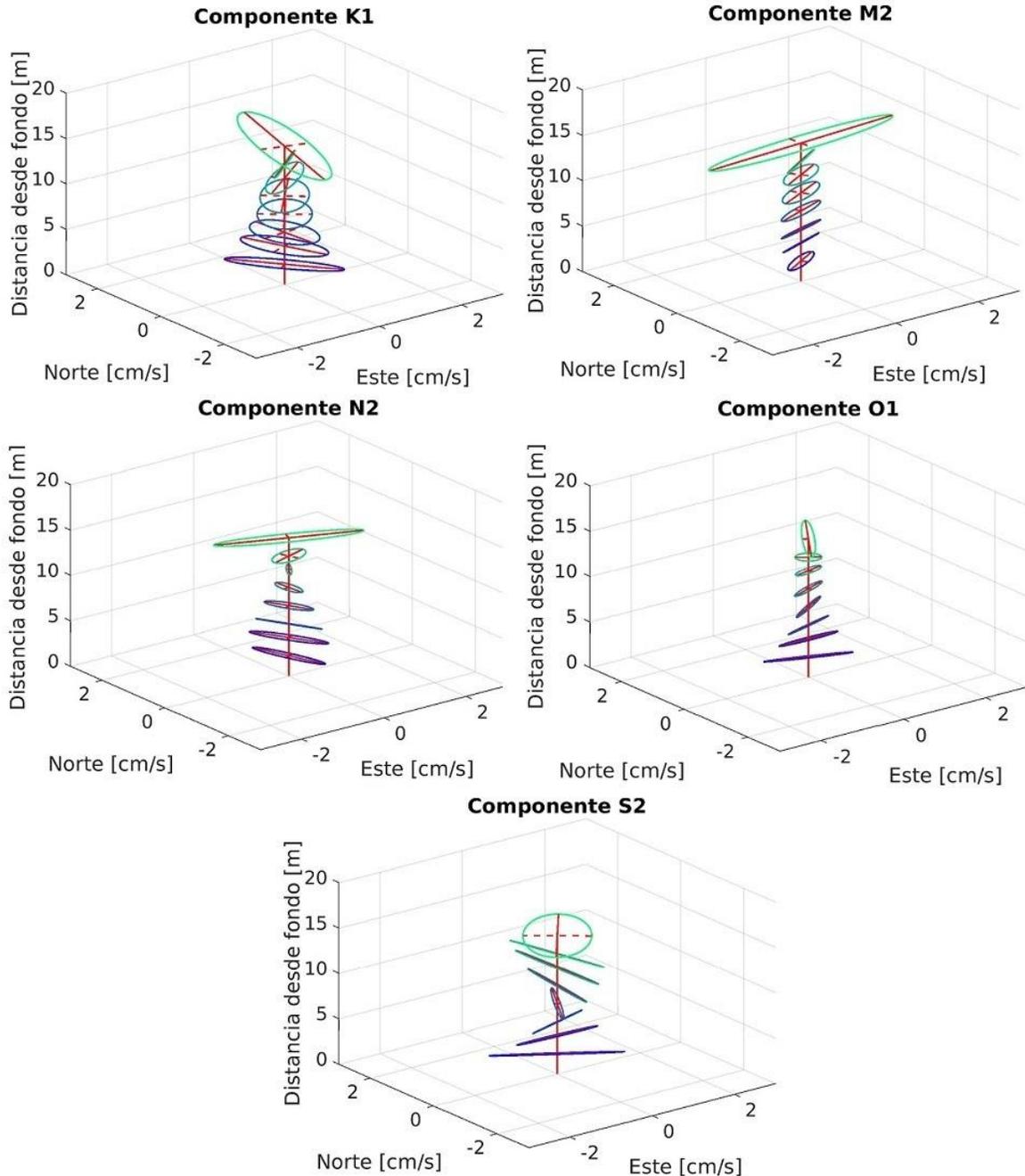


Figura 4.2-65: Elipses de corrientes de los componentes principales de marea en la columna de agua, campaña de verano 2019.

4.2.2.2.2 Corrientes Lagrangianas

La dinámica del campo de velocidades se evaluó a partir de los derivadores utilizados en terreno. Las Figura 4.2-66 y Figura 4.2-67, dan cuenta de la trayectoria de los derivadores utilizados, a niveles de 0 m y 5 m de profundidad, para las condiciones de cuadratura y sicigia llenante y vaciante para los derivadores DER1, DER2 y DER3. Del mismo modo, las Figura 4.2-68 y Figura 4.2-69 dan cuenta de la trayectoria de los derivadores a niveles 0 y 5 m de profundidad, para las mismas condiciones en los derivadores DER4, DER5 y DER6. Las Figuras son respaldadas con la Tabla 4.2-36, donde se presentan las distintas posiciones de los derivadores para distintos instantes de tiempo, y condiciones de mar.

De las trayectorias obtenidas, se observa que, para los derivadores DER1, DER2 y DER3, se tiene una corriente predominante norte, tanto en la condición de llenante como de vaciante. Del mismo modo, en la condición de vaciante se observa una componente W marcada que tiende a alejar las masas de agua de la costa. En cuanto a los resultados obtenidos por profundidad, se destaca un comportamiento similar entre ambos estratos estudiados. Referente a los resultados entre derivadores, para el mismo lapso de estudio, se observa que el movimiento de DER2 es inferior al presentado por DER1 y DER3, por lo que las corrientes en ese sector son de menor intensidad. Por otro lado, de la Figura 4.2-68 se destaca una corriente E en DER5, una corriente W-SW en DER6 y una corriente N en DER4 para la fase de cuadratura llenante. Para la fase de cuadratura vaciante se observa un comportamiento similar entre derivadores, con una corriente con una fuerte componente W. En la fase de sicigia (Figura 4.2-69), se destaca una corriente E-NE en DER4, una corriente S en DER5 y una corriente E-NE en DER6 para la fase de llenante, mientras que para la fase de vaciante nuevamente aparece una corriente con una fuerte componente E, a excepción del derivador DER4, donde se tiene una corriente N. En cuanto al comportamiento por estrato (0 y 5 m), nuevamente se tiene un comportamiento similar entre ambos.

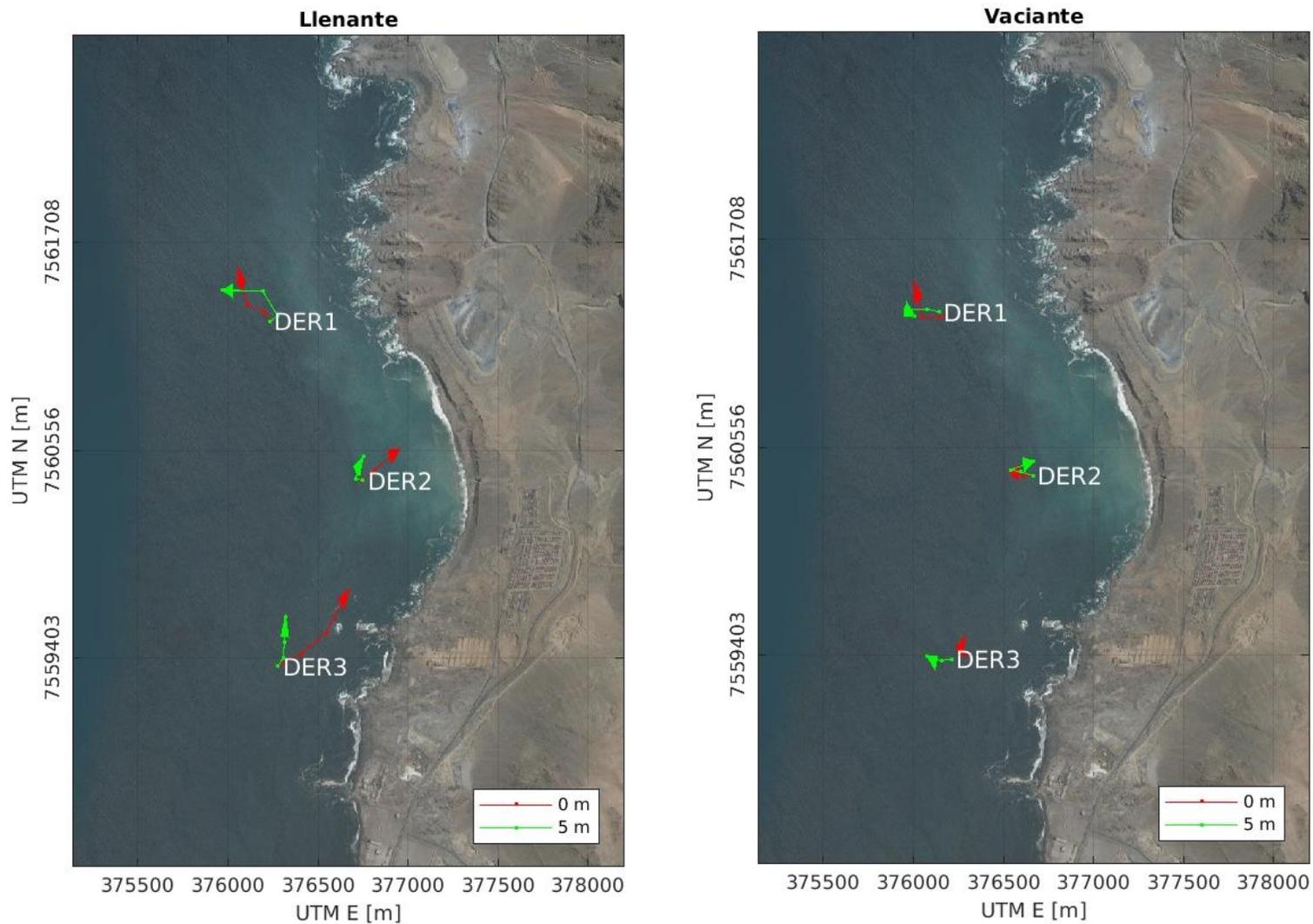


Figura 4.2-66: Trayectorias de derivadores DER1, DER2, y DER3 en cuadratura para fases de llenante y vaciante, campaña de verano 2019.

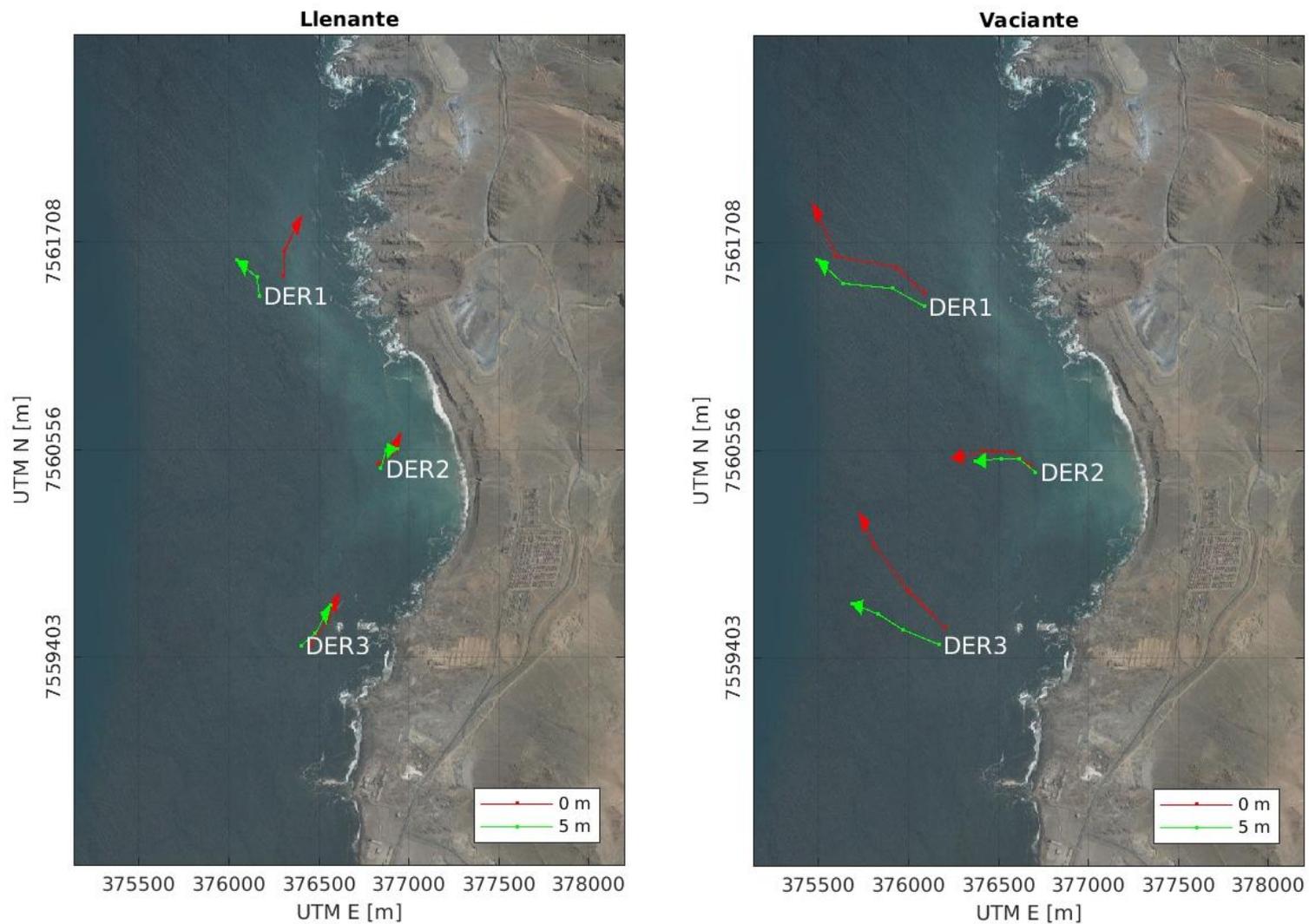


Figura 4.2-67: Trayectorias de derivadores DER1, DER2, y DER3 en sicigia para fases de llenante y vaciante, campaña de verano 2019.

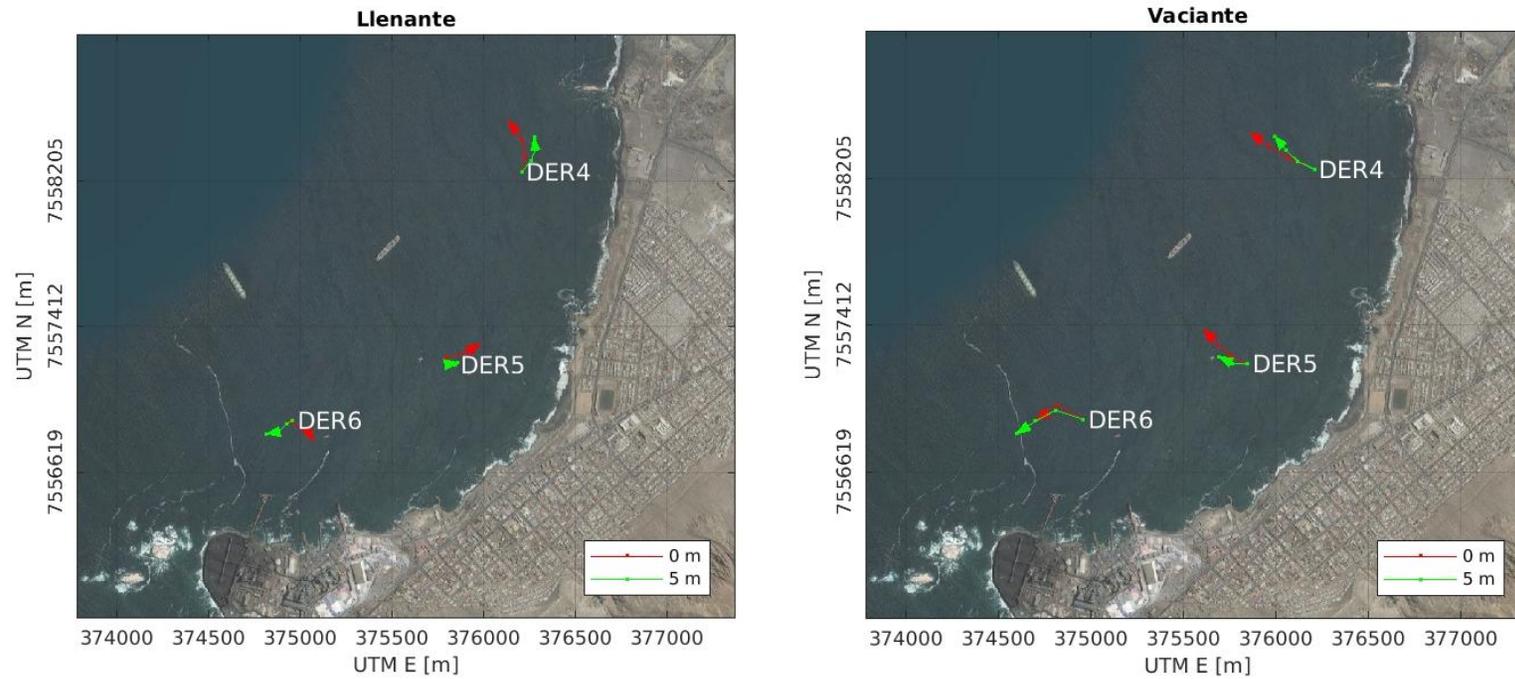


Figura 4.2-68: Trayectorias de derivadores DER4, DER5, y DER6 en cuadratura para fases de llenante y vaciante, campaña de verano 2019.

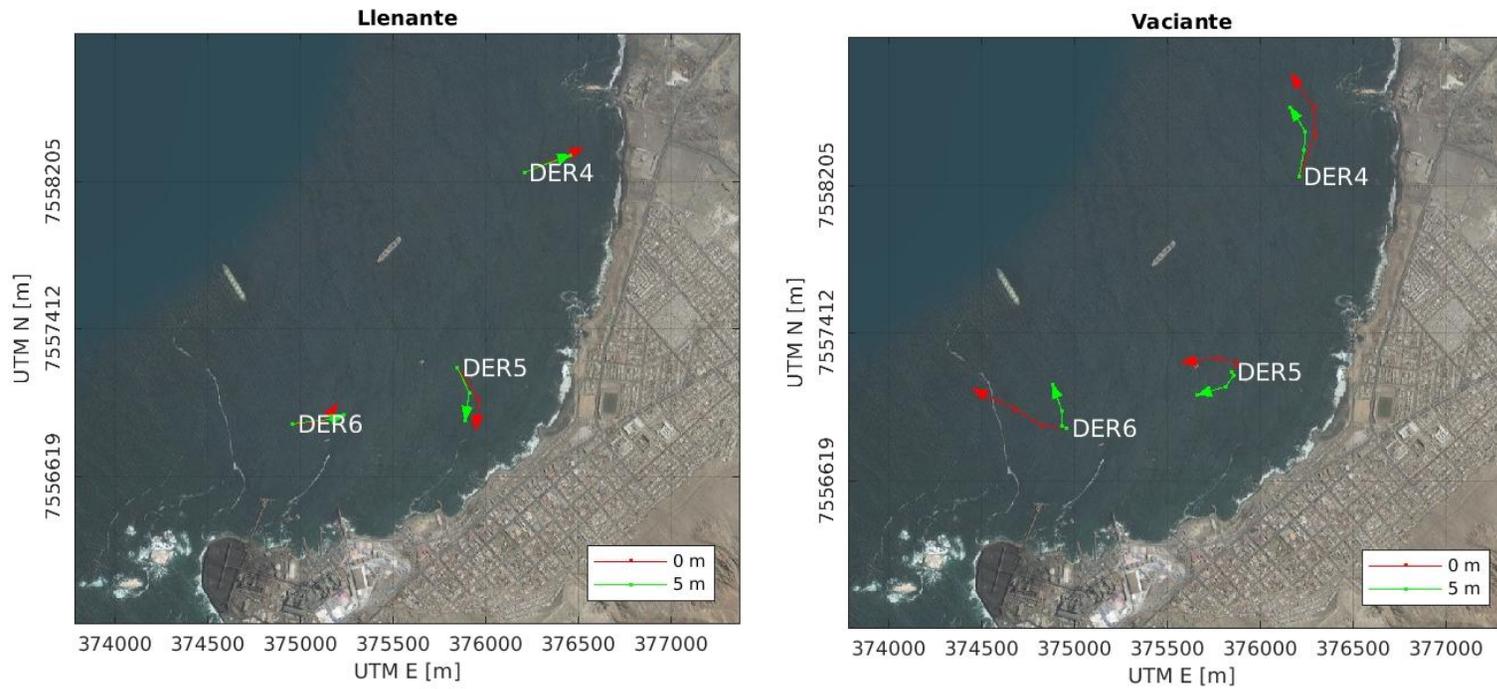


Figura 4.2-69: Trayectorias de derivadores DER4, DER5, y DER6 en sicigia para fases de llenante y vaciante, campaña de verano 2019.

Tabla 4.2-36: Desplazamientos de los derivadores lanzados en Bahía Algodonales, en campaña de verano 2019.

PtoDer	Estrato(m)	UTME	UTMN	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER1	0	376238	7561270	15-02-2019	11:46	Cuadratura	Llenante
DER1	0	376204	7561323	15-02-2019	12:09	Cuadratura	Llenante
DER1	0	376110	7561361	15-02-2019	12:34	Cuadratura	Llenante
DER1	0	376059	7561566	15-02-2019	13:09	Cuadratura	Llenante
DER1	0	376186	7561286	15-02-2019	10:22	Cuadratura	Vaciante
DER1	0	376147	7561273	15-02-2019	10:47	Cuadratura	Vaciante
DER1	0	376054	7561273	15-02-2019	11:10	Cuadratura	Vaciante
DER1	0	376010	7561471	15-02-2019	11:40	Cuadratura	Vaciante
DER1	0	376308	7561518	19-02-2019	9:40	Sicigia	Llenante
DER1	0	376312	7561659	19-02-2019	10:00	Sicigia	Llenante
DER1	0	376408	7561855	19-02-2019	10:29	Sicigia	Llenante
DER1	0	376089	7561430	19-02-2019	11:03	Sicigia	Vaciante
DER1	0	375932	7561573	19-02-2019	11:29	Sicigia	Vaciante
DER1	0	375602	7561634	19-02-2019	12:00	Sicigia	Vaciante
DER1	0	375471	7561929	19-02-2019	12:38	Sicigia	Vaciante
DER1	5	376238	7561270	15-02-2019	11:46	Cuadratura	Llenante
DER1	5	376279	7561301	15-02-2019	12:09	Cuadratura	Llenante
DER1	5	376196	7561440	15-02-2019	12:34	Cuadratura	Llenante
DER1	5	375975	7561442	15-02-2019	13:09	Cuadratura	Llenante
DER1	5	376147	7561304	15-02-2019	10:22	Cuadratura	Vaciante
DER1	5	376082	7561321	15-02-2019	10:47	Cuadratura	Vaciante
DER1	5	375960	7561320	15-02-2019	11:10	Cuadratura	Vaciante
DER1	5	376012	7561284	15-02-2019	11:40	Cuadratura	Vaciante
DER1	5	376173	7561409	19-02-2019	9:40	Sicigia	Llenante
DER1	5	376158	7561511	19-02-2019	10:00	Sicigia	Llenante
DER1	5	376048	7561607	19-02-2019	10:29	Sicigia	Llenante
DER1	5	376091	7561356	19-02-2019	11:03	Sicigia	Vaciante
DER1	5	375913	7561455	19-02-2019	11:29	Sicigia	Vaciante
DER1	5	375640	7561483	19-02-2019	12:00	Sicigia	Vaciante
DER1	5	375497	7561615	19-02-2019	12:38	Sicigia	Vaciante
DER2	0	376754	7560389	15-02-2019	11:52	Cuadratura	Llenante
DER2	0	376747	7560381	15-02-2019	12:15	Cuadratura	Llenante
DER2	0	376821	7560449	15-02-2019	12:41	Cuadratura	Llenante
DER2	0	376955	7560563	15-02-2019	13:19	Cuadratura	Llenante
DER2	0	376670	7560397	15-02-2019	10:13	Cuadratura	Vaciante
DER2	0	376620	7560393	15-02-2019	10:40	Cuadratura	Vaciante
DER2	0	376567	7560414	15-02-2019	11:05	Cuadratura	Vaciante
DER2	0	376529	7560422	15-02-2019	11:30	Cuadratura	Vaciante
DER2	0	376830	7560478	19-02-2019	9:33	Sicigia	Llenante
DER2	0	376910	7560529	19-02-2019	9:55	Sicigia	Llenante
DER2	0	376959	7560647	19-02-2019	10:19	Sicigia	Llenante
DER2	0	376683	7560474	19-02-2019	11:10	Sicigia	Vaciante
DER2	0	376575	7560548	19-02-2019	11:41	Sicigia	Vaciante
DER2	0	376422	7560551	19-02-2019	12:11	Sicigia	Vaciante
DER2	0	376247	7560510	19-02-2019	12:44	Sicigia	Vaciante

PtoDer	Estrato(m)	UTME	UTMN	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER2	5	376754	7560389	15-02-2019	11:52	Cuadratura	Llenante
DER2	5	376715	7560398	15-02-2019	12:15	Cuadratura	Llenante
DER2	5	376719	7560441	15-02-2019	12:41	Cuadratura	Llenante
DER2	5	376755	7560521	15-02-2019	13:19	Cuadratura	Llenante
DER2	5	376670	7560397	15-02-2019	10:13	Cuadratura	Vaciante
DER2	5	376599	7560418	15-02-2019	10:40	Cuadratura	Vaciante
DER2	5	376545	7560430	15-02-2019	11:05	Cuadratura	Vaciante
DER2	5	376671	7560478	15-02-2019	11:30	Cuadratura	Vaciante
DER2	5	376848	7560450	19-02-2019	9:33	Sicigia	Llenante
DER2	5	376875	7560551	19-02-2019	9:55	Sicigia	Llenante
DER2	5	376938	7560560	19-02-2019	10:19	Sicigia	Llenante
DER2	5	376710	7560435	19-02-2019	11:10	Sicigia	Vaciante
DER2	5	376619	7560507	19-02-2019	11:41	Sicigia	Vaciante
DER2	5	376521	7560511	19-02-2019	12:11	Sicigia	Vaciante
DER2	5	376374	7560494	19-02-2019	12:44	Sicigia	Vaciante
DER3	0	376283	7559357	15-02-2019	11:58	Cuadratura	Llenante
DER3	0	376412	7559425	15-02-2019	12:21	Cuadratura	Llenante
DER3	0	376548	7559542	15-02-2019	12:48	Cuadratura	Llenante
DER3	0	376675	7559782	15-02-2019	13:26	Cuadratura	Llenante
DER3	0	376290	7559405	15-02-2019	10:08	Cuadratura	Vaciante
DER3	0	376267	7559425	15-02-2019	10:32	Cuadratura	Vaciante
DER3	0	376277	7559470	15-02-2019	10:57	Cuadratura	Vaciante
DER3	0	376290	7559507	15-02-2019	11:22	Cuadratura	Vaciante
DER3	0	376456	7559469	19-02-2019	9:26	Sicigia	Llenante
DER3	0	376550	7559605	19-02-2019	9:50	Sicigia	Llenante
DER3	0	376615	7559758	19-02-2019	10:12	Sicigia	Llenante
DER3	0	376205	7559574	19-02-2019	11:16	Sicigia	Vaciante
DER3	0	376000	7559781	19-02-2019	11:48	Sicigia	Vaciante
DER3	0	375816	7560027	19-02-2019	12:18	Sicigia	Vaciante
DER3	0	375731	7560211	19-02-2019	12:50	Sicigia	Vaciante
DER3	5	376283	7559357	15-02-2019	11:58	Cuadratura	Llenante
DER3	5	376309	7559404	15-02-2019	12:21	Cuadratura	Llenante
DER3	5	376318	7559492	15-02-2019	12:48	Cuadratura	Llenante
DER3	5	376323	7559630	15-02-2019	13:26	Cuadratura	Llenante
DER3	5	376219	7559381	15-02-2019	10:08	Cuadratura	Vaciante
DER3	5	376159	7559373	15-02-2019	10:32	Cuadratura	Vaciante
DER3	5	376103	7559382	15-02-2019	10:57	Cuadratura	Vaciante
DER3	5	376078	7559400	15-02-2019	11:22	Cuadratura	Vaciante
DER3	5	376403	7559467	19-02-2019	9:26	Sicigia	Llenante
DER3	5	376483	7559534	19-02-2019	9:50	Sicigia	Llenante
DER3	5	376569	7559695	19-02-2019	10:12	Sicigia	Llenante
DER3	5	376172	7559478	19-02-2019	11:16	Sicigia	Vaciante
DER3	5	375971	7559561	19-02-2019	11:48	Sicigia	Vaciante
DER3	5	375837	7559646	19-02-2019	12:18	Sicigia	Vaciante
DER3	5	375690	7559707	19-02-2019	12:50	Sicigia	Vaciante
DER4	0	376214	7558249	15-02-2019	11:54	Cuadratura	Llenante
DER4	0	376231	7558334	15-02-2019	12:15	Cuadratura	Llenante

PtoDer	Estrato(m)	UTME	UTMN	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER4	0	376213	7558422	15-02-2019	12:40	Cuadratura	Llenante
DER4	0	376142	7558527	15-02-2019	13:08	Cuadratura	Llenante
DER4	0	376214	7558249	15-02-2019	9:40	Cuadratura	Vaciante
DER4	0	376070	7558311	15-02-2019	10:15	Cuadratura	Vaciante
DER4	0	375970	7558371	15-02-2019	10:37	Cuadratura	Vaciante
DER4	0	375868	7558444	15-02-2019	11:10	Cuadratura	Vaciante
DER4	0	376214	7558249	19-02-2019	9:10	Sicigia	Llenante
DER4	0	376528	7558379	19-02-2019	9:45	Sicigia	Llenante
DER4	0	376214	7558249	19-02-2019	10:17	Sicigia	Vaciante
DER4	0	376301	7558467	19-02-2019	10:38	Sicigia	Vaciante
DER4	0	376292	7558620	19-02-2019	11:06	Sicigia	Vaciante
DER4	0	376171	7558799	19-02-2019	11:44	Sicigia	Vaciante
DER4	5	376214	7558249	15-02-2019	11:54	Cuadratura	Llenante
DER4	5	376262	7558308	15-02-2019	12:16	Cuadratura	Llenante
DER4	5	376287	7558370	15-02-2019	12:39	Cuadratura	Llenante
DER4	5	376280	7558440	15-02-2019	13:11	Cuadratura	Llenante
DER4	5	376214	7558249	15-02-2019	9:40	Cuadratura	Vaciante
DER4	5	376125	7558291	15-02-2019	10:13	Cuadratura	Vaciante
DER4	5	376060	7558353	15-02-2019	10:39	Cuadratura	Vaciante
DER4	5	375999	7558427	15-02-2019	11:13	Cuadratura	Vaciante
DER4	5	376214	7558249	19-02-2019	9:10	Sicigia	Llenante
DER4	5	376461	7558343	19-02-2019	9:46	Sicigia	Llenante
DER4	5	376214	7558249	19-02-2019	10:17	Sicigia	Vaciante
DER4	5	376241	7558391	19-02-2019	10:36	Sicigia	Vaciante
DER4	5	376247	7558490	19-02-2019	11:04	Sicigia	Vaciante
DER4	5	376166	7558620	19-02-2019	11:40	Sicigia	Vaciante
DER5	0	375853	7557201	15-02-2019	12:00	Cuadratura	Llenante
DER5	0	375799	7557241	15-02-2019	12:23	Cuadratura	Llenante
DER5	0	375908	7557266	15-02-2019	12:48	Cuadratura	Llenante
DER5	0	375985	7557315	15-02-2019	13:17	Cuadratura	Llenante
DER5	0	375853	7557201	15-02-2019	9:52	Cuadratura	Vaciante
DER5	0	375761	7557245	15-02-2019	10:21	Cuadratura	Vaciante
DER5	0	375690	7557301	15-02-2019	10:47	Cuadratura	Vaciante
DER5	0	375616	7557386	15-02-2019	11:20	Cuadratura	Vaciante
DER5	0	375853	7557201	19-02-2019	9:00	Sicigia	Llenante
DER5	0	375965	7557030	19-02-2019	9:36	Sicigia	Llenante
DER5	0	375952	7556866	19-02-2019	10:06	Sicigia	Llenante
DER5	0	375853	7557201	19-02-2019	10:32	Sicigia	Vaciante
DER5	0	375882	7557251	19-02-2019	11:00	Sicigia	Vaciante
DER5	0	375778	7557274	19-02-2019	11:30	Sicigia	Vaciante
DER5	0	375584	7557251	19-02-2019	12:16	Sicigia	Vaciante
DER5	5	375853	7557201	15-02-2019	12:00	Cuadratura	Llenante
DER5	5	375802	7557201	15-02-2019	12:22	Cuadratura	Llenante
DER5	5	375823	7557205	15-02-2019	12:49	Cuadratura	Llenante
DER5	5	375866	7557210	15-02-2019	13:20	Cuadratura	Llenante
DER5	5	375853	7557201	15-02-2019	9:52	Cuadratura	Vaciante
DER5	5	375771	7557201	15-02-2019	10:20	Cuadratura	Vaciante

PtoDer	Estrato(m)	UTME	UTMN	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER5	5	375729	7557222	15-02-2019	10:45	Cuadratura	Vaciante
DER5	5	375697	7557238	15-02-2019	11:19	Cuadratura	Vaciante
DER5	5	375853	7557201	19-02-2019	9:00	Sicigia	Llenante
DER5	5	375916	7557065	19-02-2019	9:36	Sicigia	Llenante
DER5	5	375894	7556916	19-02-2019	10:04	Sicigia	Llenante
DER5	5	375853	7557201	19-02-2019	10:32	Sicigia	Vaciante
DER5	5	375863	7557181	19-02-2019	10:58	Sicigia	Vaciante
DER5	5	375817	7557120	19-02-2019	11:28	Sicigia	Vaciante
DER5	5	375667	7557075	19-02-2019	12:20	Sicigia	Vaciante
DER6	0	374965	7556898	15-02-2019	12:06	Cuadratura	Llenante
DER6	0	374952	7556892	15-02-2019	12:30	Cuadratura	Llenante
DER6	0	375058	7556822	15-02-2019	12:55	Cuadratura	Llenante
DER6	0	375077	7556787	15-02-2019	13:55	Cuadratura	Llenante
DER6	0	374965	7556898	15-02-2019	10:00	Cuadratura	Vaciante
DER6	0	374823	7556975	15-02-2019	10:27	Cuadratura	Vaciante
DER6	0	374752	7556924	15-02-2019	11:03	Cuadratura	Vaciante
DER6	0	374708	7556900	15-02-2019	11:36	Cuadratura	Vaciante
DER6	0	374965	7556898	19-02-2019	8:45	Sicigia	Llenante
DER6	0	375130	7556903	19-02-2019	9:28	Sicigia	Llenante
DER6	0	375205	7557003	19-02-2019	10:00	Sicigia	Llenante
DER6	0	374965	7556898	19-02-2019	10:25	Sicigia	Vaciante
DER6	0	374832	7556911	19-02-2019	10:50	Sicigia	Vaciante
DER6	0	374693	7556998	19-02-2019	11:20	Sicigia	Vaciante
DER6	0	374461	7557106	19-02-2019	12:04	Sicigia	Vaciante
DER6	5	374965	7556898	15-02-2019	12:06	Cuadratura	Llenante
DER6	5	374931	7556878	15-02-2019	12:30	Cuadratura	Llenante
DER6	5	374890	7556836	15-02-2019	12:57	Cuadratura	Llenante
DER6	5	374822	7556824	15-02-2019	13:42	Cuadratura	Llenante
DER6	5	374965	7556898	15-02-2019	10:00	Cuadratura	Vaciante
DER6	5	374814	7556948	15-02-2019	10:27	Cuadratura	Vaciante
DER6	5	374706	7556888	15-02-2019	11:00	Cuadratura	Vaciante
DER6	5	374605	7556822	15-02-2019	11:34	Cuadratura	Vaciante
DER6	5	374965	7556898	19-02-2019	8:45	Sicigia	Llenante
DER6	5	375169	7556922	19-02-2019	9:28	Sicigia	Llenante
DER6	5	375242	7556945	19-02-2019	9:58	Sicigia	Llenante
DER6	5	374965	7556898	19-02-2019	10:25	Sicigia	Vaciante
DER6	5	374937	7556910	19-02-2019	10:48	Sicigia	Vaciante
DER6	5	374938	7556989	19-02-2019	11:19	Sicigia	Vaciante
DER6	5	374887	7557133	19-02-2019	12:06	Sicigia	Vaciante

4.2.3 Batimetría

Una de las condiciones relevantes en el funcionamiento de la bahía, corresponde a la batimetría del sistema, por lo cual se realiza una recopilación y generación de información específica para la batimetría del sector.

Así, la zona de bahía Algodonales cuenta con información de alto detalle, correspondiente a la base batimétrica desarrollada por el Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile (SHOA) en sus cartas náuticas. En particular, las Cartas SHOA 1311 y 2000 abarcan el área en estudio. Estas cartas se encuentran en el sistema de referencia WGS84 y cuentan con una resolución según la escala especificada en la Tabla 4.2-37.

Tabla 4.2-37 Cartas SHOA que abarcan el área de estudio

Nombre	Carta	Celda	Escala
Puerto Tocopilla	1311	CL5AN005	1:10.000
Bahía Mejillones del Sur a Puerto Caldera	2000	CL2AN020	1:500.000

La ubicación de estas cartas, según el “Catálogo de cartas y publicaciones náuticas” del SHOA, es mostrada en las Figura 4.2-70 y Figura 4.2-71 a continuación.

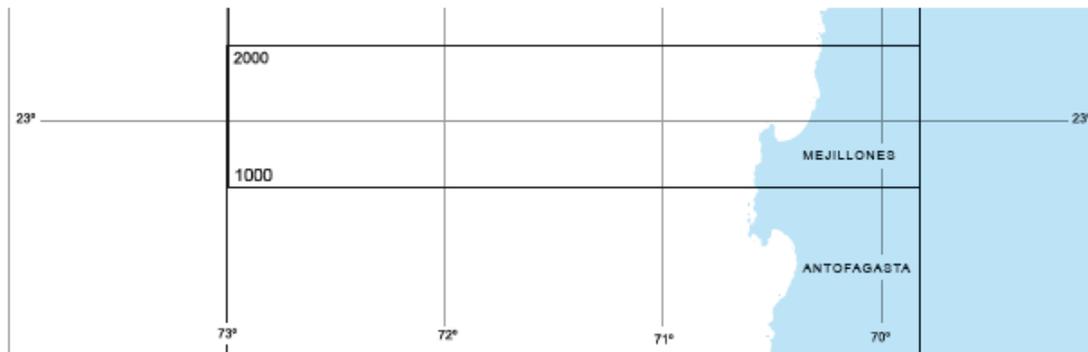


Figura 4.2-70 Ubicación carta SHOA N°2000. (Fuente: Catálogo de cartas y publicaciones náuticas, SHOA).

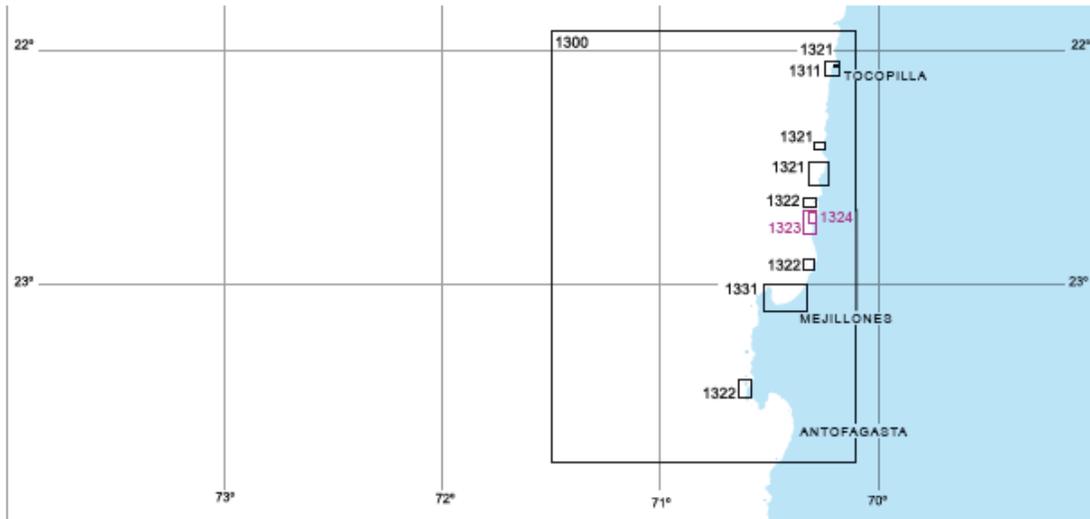


Figura 4.2-71 Ubicación cartas SHOA N°1311. (Fuente: Catálogo de cartas y publicaciones náuticas, SHOA).

En la Figura 4.2-72 se muestra la carta N°1331, que corresponde a la de escala más fina, en donde se puede observar el alto detalle que posee, con resolución (distanciamiento entre los puntos) de medición que oscila entre los 50 y los 800 metros aproximadamente. La zona más somera cuenta con la mejor resolución (puntos más cercanos).

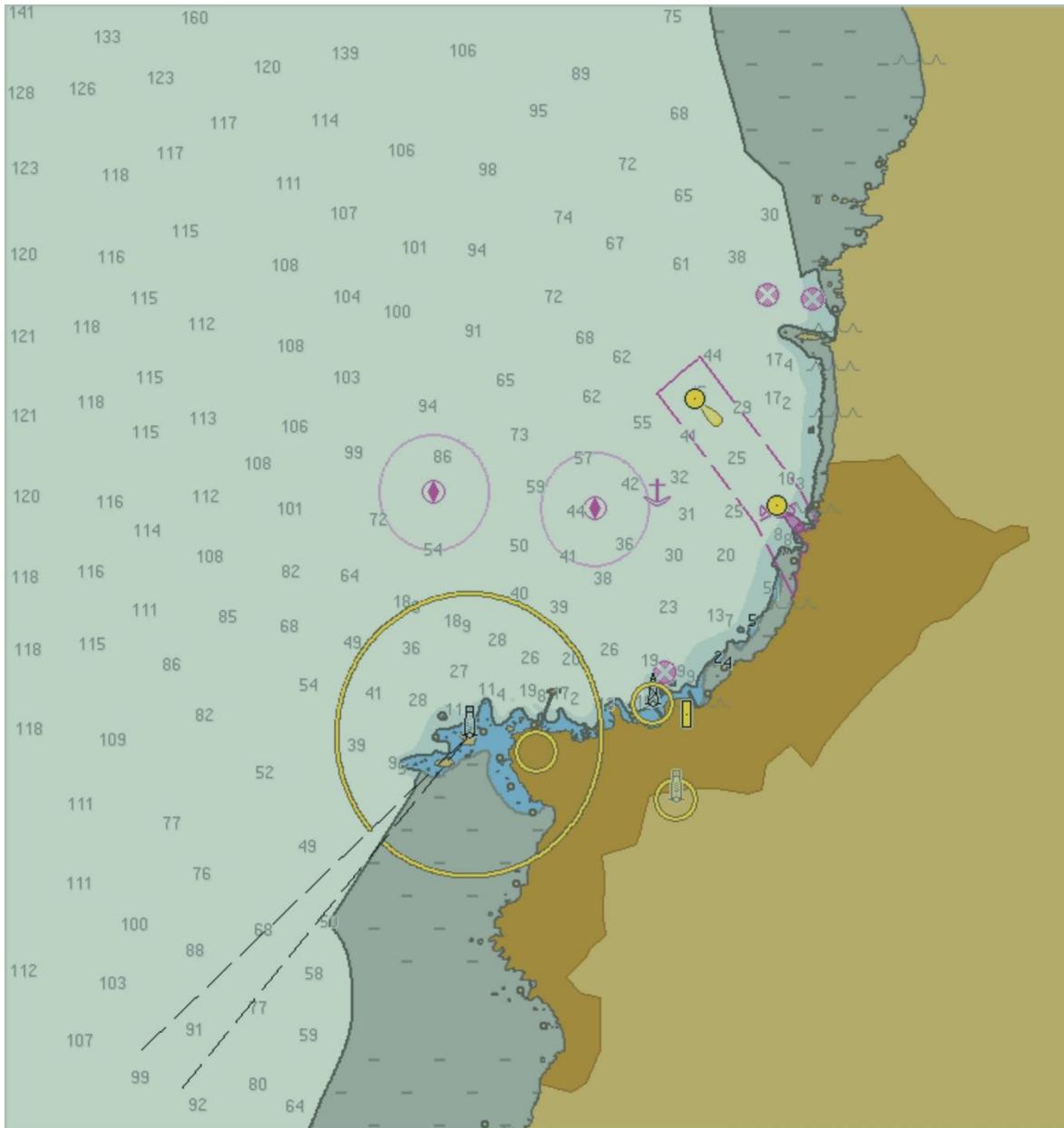


Figura 4.2-72 Carta SHOA N°1311. (Fuente: SHOA).

A continuación, considerando la información recopilada de las cartas SHOAS mencionadas anteriormente, se observó la ausencia de información en las cercanías de la costa en la zona norte y sur del área de estudio, es decir, entre Caleta Duendes y los Cenizales en el norte, y entre LIPESED y Punta Algodonales por el sur. Así, el día 12-04-2019 se llevó a cabo una medición de batimetría mediante la utilización de un dispositivo Garmin 420S (Figura 4.2-73), con una frecuencia de muestreo de 0,2 Hz, en las áreas mencionadas.



Figura 4.2-73: Dispositivo Garmin 420s utilizado para la adquisición de datos batimétricos.

Posteriormente, con la información de cartas SHOA y la batimetría realizada, se realizó la construcción de un modelo digital de elevación (DEM) de la bahía. El DEM es obtenido mediante la interpolación de la información equiespaciada con el método de vecino natural, de la carta SHOA sobre una malla, la cual cuenta con un tamaño de celda de 10 m x 10 m. El modelo de elevación conseguido se muestra en la Figura 4.2-74, además de la representación de la información SHOA (puntos rojos) y los puntos batimétricos medidos (puntos cyan), y es entregado en formato digital en anexos digitales (“ANEXOS_DIGITALES/03_OE2/02_Batimetria”).

A partir del modelo digital de elevación, se generaron curvas de nivel cada 5 metros, obteniendo así un archivo shape. Este archivo se adjunta en formato digital en anexos digitales en la ruta “ANEXOS_DIGITALES/03_OE2/02_Batimetria/Isobatas_5m.shp”, además de una figura en formato A0.

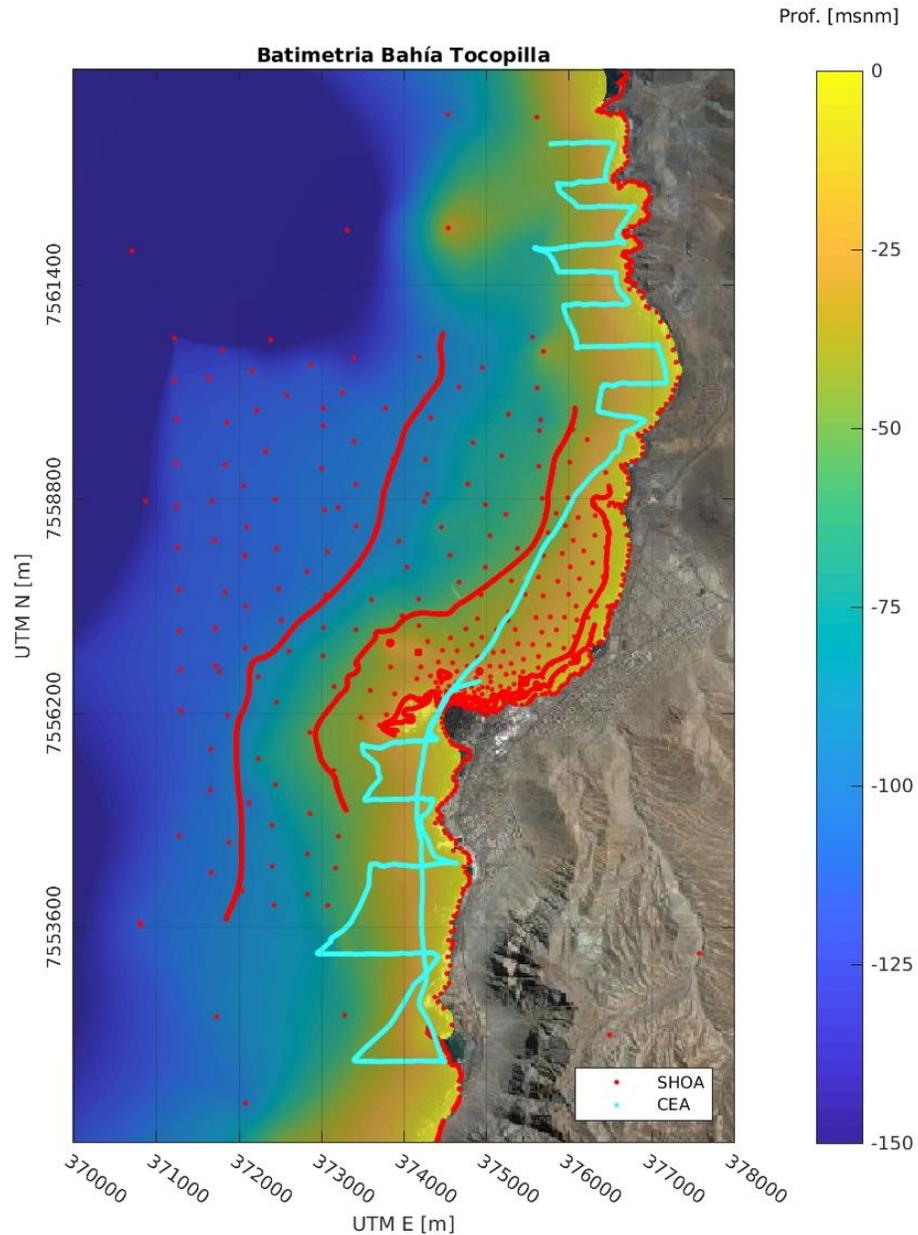


Figura 4.2-74 Modelo de elevación de bahía Mejillones (vista 2D). El modelo digital de elevación (DEM) es obtenido mediante interpolación de la información de las cartas SHOA y mediciones de batimetría CEA sobre una malla con un tamaño de celda de 10 m x 10 m. Fuente: Elaboración propia, CEA 2019.

4.2.4 Discusión y conclusión

En cuanto a los resultados de calidad química en las matrices de agua y sedimentos, en las campañas de invierno 2018 y verano 2019, las aguas de la bahía Algodonales presentaron un pH moderadamente alcalino (Hounslow, 1995) en todos los sectores y estratos. Los niveles de oxígeno disuelto fueron mayores en la superficie y disminuyeron proporcional a la profundidad. Los valores de potencial redox indican procesos que favorecen las reacciones de oxidación y las temperaturas variaron de acuerdo a la estacionalidad climática. Respecto a los metales, las mayores concentraciones correspondieron al vanadio y molibdeno, durante invierno 2018, y de arsénico, zinc, hierro y molibdeno para verano 2019.

El vanadio es un metal ampliamente distribuido tanto en la naturaleza como en los sistemas biológicos y es uno de los elementos traza presente en los combustibles de tipo fósil. Por esta razón, la combustión de estos materiales es la fuente más importante de vanadio en el ambiente (Rodríguez et.al, 2006). Los niveles en el ambiente dependen de las condiciones climáticas, la posición geográfica y las condiciones de urbanización, entre otros factores. Las concentraciones en agua de mar están en un rango de 1 a 3 $\mu\text{g/L}$, con valores máximos de 7 $\mu\text{g/L}$ (Miramand y Fowler 1998 en Rodríguez *et.al*, 2006), si comparamos estos valores con lo observado en bahía Algodonales, en la campaña de invierno de 2018 se obtuvieron concentraciones entre $<8 \mu\text{g/L}$ y 436,3 $\mu\text{g/L}$ y en verano entre $<8 \mu\text{g/L}$ y 230 $\mu\text{g/L}$, valores que fueron mayores a los citados. Esta situación podría generar algún grado de impacto, sin embargo, la toxicidad del vanadio, al igual que la de otros metales, depende de la estructura química del compuesto, de la solubilidad, del estado de oxidación y de la biotransformación que ocurra por el metabolismo (Rodríguez et.al, 2006). Por otra parte, la normativa aplicada no establece criterio para exposición crónica ni aguda (EPA,2009) para la biota acuática.

De los resultados del análisis químico de sedimentos en Bahía Algodonales se observaron altas concentraciones de hierro, cobre, molibdeno, arsénico y vanadio, principalmente en los puntos de muestreo cercanos a caleta duendes, playa camping y norgener. La granulometría en estos sectores fue arena fina a muy fina, indicando un menor flujo de energía en comparación al resto de los puntos de monitoreo y que implica condiciones que favorecen la depositación y acumulación de partículas de menor tamaño. Por otro lado, los procesos por los cuales se fijan estos elementos al sedimento pueden ser variados, tales como adsorción y coprecipitación por hidróxidos y óxidos de hierro y manganeso, adsorción en arcillas minerales, precipitación con materia orgánica, reacciones hidrolíticas tanto de iones como de complejos disueltos y por otros mecanismos naturales relacionados con las características fisicoquímicas de los sedimentos (BruderHubscher et al. 2002, Sutherland y Tack 2002 en García *et.al*, 2004). Lo importante es considerar que, una vez fijados en el sedimento, estos elementos pueden ser potencialmente tóxicos y dependiendo de la forma química y física de los metales, estos pueden mobilizarse y ser transportados a través de las membranas biológicas de las diferentes especies marinas (De Gregori et al. 1996, Kong et al. 1998 en García *et.al*, 2004). Además, ya sean biológicamente esenciales o no, son potencialmente tóxicos para los organismos a un umbral de concentración determinado.

El contenido de metales pesados en los sedimentos no siempre refleja la cantidad disponible en la biota (biodisponibilidad), debido a que el potencial impacto no puede ser evaluado sólo a partir de su contenido total, pues las diferentes fases del sedimento son las que condicionan la mayor o menor movilidad de estos. La fracción residual del sedimento contiene los metales litogénicos que son inertes y se encuentran dentro de la red cristalina de silicatos, por lo que las condiciones ambientales no afectan sus enlaces químicos (Tessier et al. 1979, Giordano et al. 1992 en García *et.al*, 2004) siendo estables y de poca movilidad. Al contrario, la fracción no litogénica resulta potencialmente biodisponible (Mat et al. 1994, González et al. 1998 en García *et.al*, 2004). La movilidad y el enriquecimiento de los metales en esta fracción es favorecida por ligeros cambios fisicoquímicos en el ambiente (De Gregori et al. 1996 García *et.al*, 2004) representando un riesgo potencial para los organismos marinos, especialmente en la etapa larvaria. Debido a lo anterior, es importante conocer en qué fase se encuentra el metal y los procesos que condicionan un mayor riesgo de exposición para la biota y salud humana debido al incremento de su biodisponibilidad en el medio, modulada entre otros por el pH y el potencial redox.

De los resultados de Corrientes Eulerianas se desprende la presencia de una corriente predominante NE en la capa superficial de agua (primeros 2 m), que toma una dirección predominante S en las capas medias y de fondo de la columna de agua. La componente E tiene variaciones W-E desde los 2 m desde la capa superficial hacia el fondo marino. Así, se destaca un flujo S en dirección hacia las descargas de las Centrales Nueva Tocopilla y Tocopilla. Del mismo modo, tanto en la capa media como de fondo, no se ve un cambio de corrientes significativo entre las fases de cuadratura y sicigia, viéndose el comportamiento descrito anteriormente. En cuanto a la capa superficial, se observa un cambio de dirección con periodos de aproximadamente 7 días, que tienen una duración entre 1 y 2 días, por lo que la mayoría del tiempo se tiene una corriente en dirección norte.

Los resultados del análisis realizado de corrientes lagrangianas en cuadratura concuerdan con lo descrito anteriormente, mostrando que los derivadores a 0 m y 5 m de profundidad (capa superficial) toman una trayectoria Sur-Norte tanto en vaciante como llenante. Para la componente de sicigia se tiene un comportamiento distinto al presentar una corriente superficial S-W que sigue la forma de la bahía Algodonales.

En cuanto a los diagramas de vector progresivo, en la capa superficial se ve que una partícula tendría una trayectoria tal que tocaría tierra al seguir la trayectoria trazada por las magnitudes de velocidad registradas por el ADCP. En la capa media se tiene una trayectoria con una magnitud mayor Sur, por lo que una partícula a los 9,2 m desde el fondo debiese tender hacia la línea de costa, al igual que para el caso de la capa superficial. La capa de fondo presentó un comportamiento con una componente W más fuerte que la S, sin embargo, dada la geomorfología de la bahía Algodonales, una partícula que está a 2,7 m desde el fondo debiese tocar tierra en el sector de punta Algodonales.

En el análisis cualitativo de fitoplancton se registró la presencia de un total de 59 taxa en la campaña de invierno 2018 y de 33 taxa en la campaña de verano 2019. En invierno las

mayores abundancias correspondieron a diatomeas (e.g *Chaetoceros* spp.), mientras que en verano dominaron los dinoflagelados (e.g *Tripod fusus*).

La caracterización del ensamble de zooplancton se realizó en función de las características del ciclo de vida de los taxa identificados; i) Meroplancton, compuesto por organismos que desarrollan sólo una parte su ciclo de vida en el plancton y ii) Holoplancton, compuesto por organismos que desarrollan su ciclo de vida completo en el plancton. El Meroplancton en invierno registró 15 taxa, la composición de taxa indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios y poliquetos en el área de estudio. El Meroplancton en verano registró 22 taxa compuesto principalmente por estados ontogénicos tempranos de cirripedios. La composición de taxa en el meroplancton, indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios en el extremo sur (TOC-7 y TOC-6) del área de estudio. En el extremo norte se caracteriza por presentar mayores proporciones de larvas de bivalvos y poliquetos (TOC-1 a TOC-4). El Holoplancton registró 16 taxa en invierno 2018 y 15 taxa en verano 2019, en ambas campañas estuvo compuesto principalmente por Copépodos. Las mayores riquezas se registraron en el sector norte del área de estudio en ambas campañas de muestreo, mientras que las mayores magnitudes de abundancia se registraron en el sector sur del área de estudio.

El ictioplancton registró una riqueza total de 8 taxa en invierno 2018 y de 2 taxa en verano 2019. En ambas campañas se registraron mayoritariamente huevos y las mayores abundancias se asocian al punto de muestreo TOC-5. La Anchoqueta, el Baúnco y el Mote, en general, dominaron en ambas campañas

Los ensambles de macroinfauna submareal prospectados estuvieron constituidos en total por 19 grupos taxonómicos en invierno 2018 y de 28 grupos taxonómicos en verano 2019. Con relación a las abundancias relativas estimadas en los ensambles prospectados, en ambas campañas dominaron los poliquetos de la familia Hesionidae y del género *Nephtys* sp.

Los ensambles de macroinfauna intermareal estuvieron constituidos en total por 8 grupos taxonómicos en invierno 2018 y 6 grupos taxonómicos en verano 2019, donde los gusanos poliquetos presentaron la mayor distribución y abundancia en el área de estudio.

4.3 Objetivo Específico 3 (OE-3)

OE-3: Realizar una evaluación de riesgo para la salud de las personas,

El puerto de Tocopilla, al igual que el de Mejillones, ha presentado un sostenido crecimiento industrial en la última década con la instalación de un nutrido parque industrial, lo que ha provocado un impacto sobre el entorno, que requiere atención por parte de las autoridades ambientales. Por lo mismo, el Gobierno Regional de Antofagasta y la Seremi de Medio Ambiente de la Región de Antofagasta, han solicitado un estudio de “Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía de Algodonales Tocopilla”, código BIP 30130937-0, que comprende una evaluación de riesgo para la salud de la población. Para tal efecto se ha propuesto llevar a cabo un diagnóstico de situación de salud y una evaluación de riesgo de la exposición constatada en los habitantes de la comuna, respecto de la Bahía de Algodonales Tocopilla.

Un diagnóstico de Situación de Salud de una comuna permite conocer el nivel de salud de sus habitantes, compararlo con otras localidades y/o el promedio del país, de modo de identificar los problemas prevenibles prioritarios que la aquejan. Bajo esta premisa, tienen mucha utilidad para la planificación de intervenciones en Salud Pública. En esta oportunidad, se establecerá para obtener los datos de contexto requeridos para poder interpretar los resultados de la evaluación de la exposición y del riesgo que se realizará en el marco del estudio de Evaluación de Riesgo Ecológico de la Bahía de Algodonales de Tocopilla.

La búsqueda sistemática de información científica sobre los efectos de los contaminantes encontrados en la Bahía de Algodonales de Tocopilla permite establecer la evaluación del Peligro (primera etapa de la evaluación de riesgo) e identificar información para determinar las relaciones de dosis-exposición (segunda etapa de la evaluación de riesgo).

En este acápite se entregan los primeros resultados de la evaluación realizada a la salud de la población de la comuna de Tocopilla. En él, se resumen los resultados del diagnóstico de situación de salud de la población y una búsqueda sistemática de información en revistas científicas con comité editorial, respecto de los efectos de la exposición a los principales contaminantes identificados en la Bahía de Algodonales Tocopilla. Posteriormente y sobre la base de los datos actuales de exposición, se realizará una evaluación del riesgo propiamente tal.

4.3.1 Metodología

Se realizó una evaluación de la situación de salud de Tocopilla, por medio del análisis estadístico de información pública proveniente del Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud.

Se revisaron las siguientes bases de datos del sitio público www.deis.cl, pertenecientes al Ministerio de Salud:

- I. **Base de datos de Población para los años 1999-2012:** esta base de datos contiene información compartida con el Instituto Nacional de Estadística sobre distribución y tamaño poblacional. Se revisó la base de datos Actualización Población INE 2002-2012 y proyección 2013-2020, y base actualizada CENSO 2017.
- II. **Base de datos de Mortalidad 2000-2016:** esta base contiene información sobre defunciones. Se analizó la base Defunciones y mortalidad general y por grupos de edad para los años más recientes que son 2014 a 2016.
- III. **Base de datos de Egresos Hospitalarios 2013-2017:** la base de datos reporta las causas de hospitalizaciones por día.
- IV. **Base de datos de Atenciones de Urgencia:** Reporte de Atenciones de urgencia por día, se revisaron los datos de los años 2014-2018.
- V. **Base de datos de Enfermedades de Notificación Obligatoria del 2010 al 2014** (última fecha publicada).

Con esta información se construyeron indicadores de morbilidad (atenciones de urgencia y hospitalizaciones) y mortalidad por principales causas, incluyendo enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cánceres.

Además, se analizaron resultados de la Encuesta CASEN 2015, atinentes a la comuna de Tocopilla.

Con toda esta información se elaboró una “radiografía actual” de la situación de salud de la Comuna.

La revisión sistemática de la información científica recientemente publicada se enfocó en dos aspectos:

- a) Levantamiento de valores de referencia para la evaluación del riesgo (funciones de dosis-exposición) en literatura gris de EPA/ATSDR y países señalados por el DS N°40/2012 que establece el Reglamento del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental.
- b) Búsqueda sistemática en PubMed de los últimos tres años.

Los contaminantes revisados, son los señalados por el estudio ecológico:

- Análisis de metales y PAH en tejido animal
- Parámetros de la columna de agua (Tabla 4.3-1)

Tabla 4.3-1: Parámetros evaluados en columna agua de mar, Bahía Algodonales, Tocopilla.

Oxígeno disuelto	Arsénico total	Plomo disuelto
pH	Cadmio disuelto	Plomo total
Temperatura	Cadmio total	Selenio total
DBO5	Cobre disuelto	Vanadio disuelto
Sólidos Suspendidos	Cobre total	Vanadio total
Sólidos Disueltos	Cromo disuelto	Zinc disuelto
Turbidez	Cromo total	Zinc total
Aceites y Grasas	Hierro disuelto	Nitratos
Cloruro Libre	Hierro total	Fósforo total
NH3	Mercurio disuelto	Coliformes totales
Hidrocarburos totales	Mercurio total	Coliformes fecales
HAT	Níquel disuelto	
Arsénico disuelto	Níquel total	

Fuente: elaboración propia a partir información CEA

Con la información levantada de la revisión de la literatura gris y la sistemática de publicaciones científicas, se elaboraron tablas que describen el peligro (efecto de los contaminantes), diferenciándolos en efectos sistémicos cancerígenos, y la descripción de las dosis de referencia encontradas.

4.3.2 Resultados de la búsqueda sistemática de información

La presencia de contaminantes en el agua de mar de la Bahía Algodonales de Tocopilla tiene importancia para la salud pública, pues la población puede verse expuesta a ellos en distintos escenarios de exposición.

Dependiendo de la frecuencia y duración de algunas actividades el contacto del agua de mar puede ocurrir por conductas tales como:

- Recreacional, al bañarse en las aguas
- Recreacional al exponerse a los aerosoles marinos al caminar por la playa y el borde marino
- Alimentarse con productos de mar (peces y algas)

Las vías de exposición teóricas por lo tanto son las siguientes:

- Dérmica
- Ingestión de agua
- Ingestión de alimentos directos, o contaminación cruzada (por ejemplo, consumir una fruta que se ha expuesto a los aerosoles marinos y estos tengan presencia de coliformes fecales y/o virus).

El peligro de este tipo de exposición dependerá del tipo de contaminante presente en el agua de mar, en las algas comestibles y en los peces y moluscos comestibles.

En el estudio se están evaluando el siguiente grupo de contaminantes, que tienen efectos distintos:

- Efectos de la exposición a metales e
- Hidrocarburos

Respecto de la presencia de contaminantes biológicos, como son los coliformes fecales, la información es amplia y conocida. Se presenta un resumen proveniente de la última revisión de la guía de calidad del agua de la Organización Mundial de la Salud¹.

4.3.2.1 Peligro asociado a contaminantes estudiados

La Tabla 4.3-2 resume información general sobre los efectos establecidos por la Organización Mundial de la Salud, organismo que en forma rutinaria evalúa los efectos de los contaminantes en el agua y publica estándares y guías de seguridad. La información entregada corresponde a lo establecido por la última versión disponible².

¹ WHO http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chapters/en/

² Organización Mundial de la Salud http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chap12.pdf?ua=1

Tabla 4.3-2: Compuestos estudiados en Bahía Algodonales, Tocopilla, y su potencial peligro para la salud pública.

Compuestos y parámetro (*)	Medio	Tipo de efecto	Peligro
pH(*)	Agua	Sin efecto	Es un indicador del potencial de hidrógeno de una solución. Es una medida de la acidez u alcalinidad del agua. El ser humano puede consumir líquidos ácidos (jugo de limón tiene pH=2,5) a alcalinos (saliva tiene pH=7,4). Es un indicador importante para la salud de los ecosistemas acuáticos, pero no tiene significado directo para la salud pública. Indirectamente puede causar migración de contaminantes desde una matriz sólida al agua.
Temperatura (*)	Agua	Sin efecto	Es un indicador del calor de la solución. Tiene importancia ecosistémica y de seguridad (peligro de quemaduras).
Turbidez	Agua	Efecto estético	No se definen niveles de seguridad.
Conductividad (*)	Agua	Sin efecto	Es un indicador de la “capacidad de conducir o transmitir, calor, electricidad o sonido”. La conductividad eléctrica aumenta cuando aumenta la concentración de iones en el agua y correlaciona con la cantidad de sólidos disueltos en el agua. Tiene por finalidad una evaluación rápida del agua. No tiene significación biológica.
Sólidos en suspensión	Agua	Efecto organoléptico	No se definen niveles de seguridad. En exceso de sólidos en suspensión altera el sabor del agua, haciéndola desagradable para el consumo.
Aceites y grasas	Agua	Efecto organoléptico	No se definen niveles de seguridad para este parámetro, pues para proteger la salud de las personas se regulan por separado sus constituyentes: hidrocarburos-Benceno-tolueno- etc.
Amonio	Agua	Sin efecto	La OMS no establece nivel guía. Compuesto produce alteración organoléptica del agua. Es un posible indicador de contaminación por aguas servidas.
Arsénico	Agua	Cancerígeno Sistémico	Produce intoxicación aguda y crónica (hidro-arsenicismo) con daño en la piel, vasculopatía periférica, cáncer respiratorio, renal y de vejiga urinaria.
Cadmio	Agua	Sistémico Cancerígeno	Daño renal y respiratorio. Solamente los polvos de cadmio vía respiratoria pueden producir cáncer de pulmón y de próstata.

Compuestos y parámetro (*)	Medio	Tipo de efecto	Peligro
Cloro libre residual	Agua	Sistémico	IARC lo tiene clasificado en grupo 3. Irritación dérmica y de mucosas.
Clorofila a	Agua	Sin efecto	Es un indicador de nivel de eutrofia del cuerpo de agua.
Cobre	Agua	Sin efecto	No representa un problema para la salud de la población. Puede alterar el sabor del agua.
Coliformes fecales	Agua	Sistémico	Puede provocar enfermedades intestinales, puede asociarse a la presencia de virus, por lo tanto, a hepatitis.
Cianuros	Agua	Sistémico	Induce en altas concentraciones hipoxia celular y alteraciones cardiovasculares.
Cromo total y hexavalente (Cr(VI))	Agua	Cancerígeno	La exposición vía respiratoria de Cr (VI) induce cáncer nasal en mineros expuestos al metal. Vía digestiva se metaboliza rápidamente a Cromo III, que es un micronutriente que el cuerpo requiere consumir. Por lo que la vía digestiva no constituye un peligro.
DBO5	Agua	Sin efecto	Es un indicador de nivel de eutrofia del cuerpo de agua.
Fósforo Total	Agua	Sin efecto	Es un indicador de nivel de eutrofia del cuerpo de agua.
Hidrocarburos	Agua	Sistémico Cancerígeno	Pueden producir alteraciones del Sistema Nervioso Central, y del Sistema Nervioso Periférico. Daños de dérmicos, en la sangre y en el sistema inmunológico. Compuestos de esta familia (benceno principalmente) puede producir cáncer.
Hierro	Agua	Sistémico	Es un elemento esencial para el ser humano, es decir debe ingerir de 10 a 50 mg/día de elemento dependiendo del estado fisiológico para evitar la anemia. En altas cantidades en el agua altera su sabor. La OMS no establece valor guía para este elemento.
Manganeso	Agua	Sistémico	Es un elemento esencial para el ser humano, es decir debe ingerir de 11 mg/día para un individuo de 60 Kg. La OMS no establece valor guía para este elemento.

Compuestos y parámetro (*)	Medio	Tipo de efecto	Peligro
Mercurio	Agua	Sistémico	Produce daño renal y alteración en el sistema inmune.
Molibdeno	Agua	Sistémico	Es un elemento esencial para el ser humano, es decir debe ingerir de 0,1-0,3 mg/día. La OMS no establece valor guía para este elemento.
Níquel	Agua	Sistémico	Los compuestos de níquel inhalados vía respiratoria son cancerígenos en los mineros que lo extraen. La ingesta vía oral solo produce hipersensibilidad y alergias.
Oxígeno Disuelto	Agua	Sin efecto	Es un indicador de nivel de salud del ecosistema hídrico.
Plomo	Agua	Sistémico	Amplia variedad de efectos desde daños al sistema nervioso central, a la sangre, daño renal e hipertensión. Causa la muerte en altas dosis por intoxicación: saturnismo.
Salinidad	Agua	Sin efecto	Es un indicador general.
Vanadio	Agua	Sin efecto	No representa un problema para la salud de la población. Puede alterar el sabor del agua.
Zinc	Agua	Sistémico	Es un elemento traza esencial. La OMS no establece valor guía para este elemento.

4.3.2.2 *Revisión Sistemática de la Literatura científica*

4.3.2.2.1 Efectos de contaminantes en agua de mar y peces

La revisión sistemática llevada a cabo en PubMed dio como resultado 14 publicaciones sobre los efectos en la salud humana de la presencia de metales y/o hidrocarburos en el agua de mar. La Tabla 4.3-3 resume los hallazgos.

En general se estudió la presencia de metales y se estimó el riesgo para la población.

Tabla 4.3-3: Publicaciones científicas sobre los efectos de metales e hidrocarburos.

Autor	Efecto estudiado	Resultados
Yang-Guang Gu ³	Riesgo	Se midieron las concentraciones de metales pesados en 29 especies de peces marinos silvestres del Mar del Sur de China. Las concentraciones (peso húmedo) fueron 0.51-115.81 ng / g (Cd), 0.54-27.31 ng / g (Pb), 0.02-1.26 lg / g (Cr), 8.32-57.48 ng / g (Ni), 0.12-1.13 lg / g (Cu), 2.34-6.88 lg / g (Zn), 2.51-22.99 lg / g (Fe), y 0.04-0.81 lg / g (Mn), respectivamente. Las concentraciones de hierro en todos y Mn en algunas especies de peces fueron más altas que las aceptables. La evaluación del riesgo para la salud humana, sin embargo, no indicó efectos adversos significativos para la salud del consumo.
Yang-Guang Gu ⁴	Riesgo	Se determinaron concentraciones de metales pesados (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu y Zn) en cuatro especies comerciales de peces), recolectados en la plataforma continental occidental del Mar del Sur de China. Las concentraciones de Cd, Pb, Cr, Ni, Cu y Zn en los músculos de los peces fueron 0.006-0.050, 0.13-0.68, 0.18-0.85, 0.11-0.25, 0.12-0.77 y 2.41-4.73 µg / g, peso húmedo, respectivamente. Concentraciones por debajo de su límite máximo diario aceptable, lo que sugiere que el consumo humano de estas especies de peces silvestres puede ser seguro, con una evaluación de riesgos para la salud basada en los cocientes de peligro objetivo (THQ) y THQ total, lo que indica que no hay efectos adversos significativos para la salud con el consumo. Las concentraciones promedio de Zn eran más altas en las agallas que en el contenido del estómago, columna vertebral o el músculo, mientras que a la inversa, el otro pesado los metales tienen concentraciones más altas en el contenido estomacal que en otros tejidos.

³ Yang-Guang Gu, Heavy metal concentrations in wild fishes captured from the South China Sea and associated health risks Marine Pollution Bulletin 96 (2015) 508–512

⁴ Yang-Guang Gu, Heavy metals in fish tissues/stomach contents in four marine wild commercially valuable fish species from the western continental shelf of South China Sea Marine Pollution Bulletin 114 (2017) 1125–1129

Autor	Efecto estudiado	Resultados
Salgueiro-González ⁵	Disrupción endocrina	Se midió la distribución espacial de alquilfenoles y bisfenol A en cinco estuarios a lo largo de la zona costera del noroeste de España. Hasta donde sabemos, no hay trabajos previos sobre este tema en la literatura. Se tomaron 98 muestras de agua de mar durante el período de mayo de 2011 a julio de 2012 y se analizaron por medio de Metodología DLLME-LC-MS / MS desarrollada recientemente. Los resultados indicaron que el nonilfenol fue el compuesto más ubicuo con una concentración máxima de 0,337 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Ría de Vigo). Los estándares de calidad (EQS) establecidos en la Directiva 2013/39 / UE para el 4-tert-octilfenol fueron ligeramente excedido en algunos puntos de muestreo. Las principales fuentes de contaminación fueron los puertos pesqueros, planta de tratamiento de agua y las descargas industriales. Se determinó un riesgo ecológico bajo y medio en todos los estuarios. Se estimaron los posibles efectos endocrinos sobre la biota y la población en términos de efectos estrogénicos.
Helena A.Kehrig ⁶	Evaluación de Riesgo	Este estudio evaluó las concentraciones de Se y Hg en los tejidos comestibles de 652 muestras de peces carnívoros y lignívoros, calamares, mejillones, camarones y cogollos recolectados del sudeste de Brasil. Se propone a la relación Se/Hg como un criterio de seguridad de los alimentos marinos más completo.
Chiraz Ben Naceur ⁷	Evaluación de Riesgo	Propone un bioensayo para evaluar la ecotoxicidad de los hidrocarburos provenientes de los derrames de petróleo en el mar.

⁵Salgueiro-González, Occurrence of endocrine disrupting compounds in five estuaries of the northwest coast of Spain: Ecological and human health impact Chemosphere 131 (2015) 241–247

⁶ Helena A.Kehrig, Selenium and mercury in widely consumed seafood from South Atlantic Ocean. Ecotoxicology and Environmental Safety 93(2013)156–162

⁷ Chiraz Ben Naceur, Oyster's cells regulatory volume decrease: A new tool for evaluating the toxicity of low concentration hydrocarbons in marine waters. Ecotoxicology and Environmental Safety 133 (2016) 327–333

Autor	Efecto estudiado	Resultados
GermanCano-Sancho ⁸	Exposición	Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la bioaccesibilidad de arsénico (As), mercurio (Hg) y metilmercurio (MeHg) en peces comerciales y especies de mariscos ampliamente consumidas por la población de Cataluña (España). También se realizó una evaluación precisa sobre cómo las estimaciones de bioaccesibilidad pueden afectar los resultados de los estudios de evaluación de la exposición. Las concentraciones de As, Hg y MeHg en las muestras de marisco de mano incubadas en un modelo gastrointestinal in vitro de 3 compartimentos (boca, estómago y pequeño intestino) se cuantificaron y compararon con los niveles de los alimentos en muestras cocidas. El arsénico mostró una alta bioaccesibilidad en todas las especies de pescados y mariscos, que oscila entre el 72% (caballa) y el 89% (sardina). Por el contrario, la bioaccesibilidad de Hg fue bastante menor, siendo <50% para la mayoría de las especies, mientras que MeHg solo se pudo cuantificar en espada y atún. Este estudio dilucida el potencial de sobreestimación de los riesgos para la salud de los consumidores, cuando los efectos de la bioaccesibilidad y los procedimientos de cocción no se tienen en cuenta en la evaluación de riesgos. A diferencia de As, cuyo riesgo generalmente no se sobreestima, Hg y MeHg mostraron una bioaccesibilidad más baja y variable en las especies marinas, lo que significa una sobreestimación de los riesgos para la salud de la población adulta. Otros estudios deberían evaluar la bioaccesibilidad de las especies mercuriales para los niños.
SeaYang-Guang Gu ⁹ ,	Riesgo	Se determinaron las concentraciones de metales pesados en organismos comestibles del área central de Fishery Resource Reserve de Daya Bay, Mar de China Meridional. Se recolectaron y analizaron muestras de 14 especies de crustáceos, peces y mariscos. Las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn fueron 0.18-1.16, 0.002-0.919, 0.40-2.85, 0.07-4.10, 0.004-0.055, 0.14-1.19, 0.014-0.070 y 4.57- 15,94 µg / g de peso húmedo, respectivamente. Las concentraciones de As fueron más altas que los niveles máximos permisibles chinos en todas las especies de peces y mariscos y dos especies de crustáceos, lo que indica que el consumo de estas especies silvestres por parte de los humanos puede presentar riesgos para la salud. Sin embargo, los cálculos de los riesgos

⁸German Cano-Sancho, Oral bioaccessibility of arsenic, mercury and methylmercury in marine species commercialized in Catalonia (Spain) and health risks for the consumers. *Food and Chemical Toxicology* 86(2015)34–40

⁹SeaYang-Guang Gu, Concentrations and human health implications of heavy metals in wild aquatic organisms captured from the core area of Daya Bay's Fishery Resource Reserve, South China Sea. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 45 (2016) 90–94.

Autor	Efecto estudiado	Resultados
		para la salud planteados a los seres humanos indican que no se asociarían efectos adversos significativos para la salud con el consumo de estas especies.
Alina Mohamad ¹⁰	Efecto neuroconductual	El objetivo de este estudio fue determinar el nivel de exposición a bifenilos policlorados (PCB) y seleccionar metales pesados entre los pescadores a través de la ingesta dietética de pescado y otros mariscos de la costa oriental a lo largo del Estrecho de Malacca. Este estudio determinó el comportamiento neuroconductual (basado en una batería de pruebas neuroconductuales) de los pescadores y evaluó las correlaciones entre los puntajes de la batería de pruebas nucleares neuroconductuales y factores de exposición. Noventa pescadores participaron en el estudio. El consumo total de pescado de los pescadores era medido utilizando un conjunto de cuestionarios de frecuencia de alimentos. Los contenidos de PCB en las muestras de mariscos oscilaron entre 0.2 y 0.6 pg / g de muestra fresca. Las concentraciones de mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en las muestras de mariscos fueron 1.1-5.4, 0.3-4.4, 0.6-36.1 y 0.02-0.3 µg / g de muestra fresca, respectivamente. Se estimó que las exposiciones de los pescadores de PCB, Hg, As, Cd y Pb eran de 2,8, 0,02, 4,5, 0,09 y 0,5 pg / kg de peso corporal. peso / día, respectivamente. Exposición de PCB y metales pesados a través de la ingesta dietética de pescado y marisco estaban dentro los límites diarios tolerables. Los resultados de la batería de prueba del núcleo neuroconductual revelaron que las actuaciones neuroconductuales de los pescadores no se vieron afectados debido a la intoxicación por PCB y metales pesados. No hubo correlaciones entre la exposición y el comportamiento neuroconductual entre los pescadores. Estos datos son útiles para los responsables políticos para garantizar la seguridad y la calidad de los productos del mar en relación con la contaminación del mar. Aunque los niveles de exposición fueron bajos, se requiere una evaluación periódica de la calidad del pescado y los productos de pescado debido al agua de mar contaminado

¹⁰ Alina Mohamad, Polychlorinated biphenyl and heavy metal exposures among fishermen in the Straits of Malacca: neuro behavioural performance. Asia Pac J Clin Nutr 2015;24(3):515-524.

Autor	Efecto estudiado	Resultados
Gu Y et al ¹¹ .	Riesgo	Este estudio investigó las concentraciones totales y la bioaccesibilidad de metales pesados en tejidos comestibles y niveles tróficos de 12 especies de organismos marinos en el Mar de China Meridional. Los resultados se utilizaron para estimar los riesgos de salud para los humanos. De los metales pesados detectados, el níquel (Ni) estuvo presente en las concentraciones más altas, seguido del orden descendente, por hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cromo (Cr), cobre (Cu), cadmio (Cd) y plomo (Pb). Cd tuvo el mayor porcentaje de bioaccesibilidad (61.91%). No hay biomagnificación entre estos metales traza. Las probabilidades de riesgo carcinogénico de Pb y Cr para los residentes urbanos y rurales estaban por debajo del nivel aceptable ($<1 \times 10^{-4}$). El valor del cociente de riesgo objetivo (THQ) para cada metal y los valores totales de THQ para todos los metales estudiados indicaron que no existe un riesgo significativo de efectos no carcinogénicos para los residentes urbanos y rurales que consumen organismos marinos del Mar del Sur de China.

¹¹Gu YG1, Ning JJ2, Ke CL3, Huang HH4. Bioaccessibility and human health implications of heavy metals in different trophic level marine organisms: A case study of the South China Sea. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018 Nov 15;163:551-557. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.07.114. Epub 2018 Aug 1.

Autor	Efecto estudiado	Resultados
Jafarabadi et al ¹²	Riesgo	<p>Se midieron concentraciones de 13 metales pesados (Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, V, As, Cd, Hg, Pb) en 360 sedimentos de superficie de arrecife (0-5 cm) y muestras de agua de mar costera de diez corales de islas en el Golfo Pérsico. Se aplicaron diferentes índices de calidad del sedimento para evaluar la calidad del sedimento superficial. Las concentraciones medias de metales en los sedimentos estudiados siguieron el orden: Al> Fe> Ni> V> Mn> Zn> Cu> Cr> Co> As> Cd> Pb> As. El promedio de Cd y Hg superó los niveles de fondo costeros en la mayoría de los sitios de muestreo. Con la excepción de As, las concentraciones de metales pesados disminuyeron progresivamente de oeste a este del Golfo Pérsico. Basado en el Factor de Enriquecimiento (EF) y el Índice de Riesgo Ecológico Potencial (IR), las concentraciones de V, Ni, Hg y Cd indican una contaminación moderada y son motivo de preocupación. Los valores medios de las unidades tóxicas de metales pesados (TU) se calcularon en el siguiente orden: Hg (0.75)> Cr (0.41)> Cd (0.27)> As (0.23)> Cu (0.12)> Zn (0.05)> Pb (0.009). Además, las proporciones medias de contribución de seis metales pesados a los valores del Índice de Riesgo Tóxico (TRI) fueron 79% para Hg, 11.48% para Cd, 6.16% para Cr, 3.27% para Cu, 0.07% para Zn y 0.01% para Pb. Los valores calculados del factor de riesgo ecológico potencial, revelaron que el riesgo de los metales pesados siguió el orden Cd> Pb> Ni> Cr> V> Cu> Zn. Los resultados reflejaron que el nivel de metales pesados, especialmente Hg y Cd, está en aumento debido a la exploración de petróleo emergente, el desarrollo industrial y las refinerías de petróleo en todo el Golfo. Las concentraciones de Fe, Mn, Cu, Zn, V y Ni en el agua de mar fueron significativamente más altas (p <0.05) que los otros metales pesados disueltos detectados en los sitios de muestreo. La evaluación de riesgo para la salud utilizando el índice de cociente de peligro (HQ) recomendado por la USEPA sugiere que no hay efectos adversos para la salud a través de la exposición dérmica, y que no hay daños carcinogénicos ni no cancerígenos para la salud humana.</p>

¹² Ranjbar Jafarabadi, Riyahi Bakhtiyari, Shadmehri Toosi A, Jadot Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. Chemosphere. 2017 Oct;185:1090-1111. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.07.110. Epub 2017 Jul 23.

Autor	Efecto estudiado	Resultados
Łuczyńska ¹³ et al.	Riesgo	Se midió el contenido de mercurio y ácidos grasos en los músculos de <i>Perca fluviatilis</i> L. (perca europea), <i>Leuciscus idus</i> L. (ide), <i>Cyprinus carpio</i> L. (carpa común o europea), <i>Oncorhynchus mykiss</i> Walb. (trucha arcoiris), <i>Platichthys flesus</i> L. (lenguado europeo). y <i>Clupea harengus</i> L. (besugo) del mercado polaco. El mercurio total fue procesado con AAS. Los ácidos grasos fueron analizados por cromatografía de gases. La concentración de mercurio en los músculos varió de 0.006 a 0.138 mg / kg y disminuyó de la siguiente manera: perca > platija > arenque ≈ brema ≈ trucha arco iris > carpa ($p \leq 0.05$). Solo hubo correlaciones positivas significativas entre el peso corporal y el contenido de mercurio en el tejido muscular de la carpa ($r = 0,878$), platija ($r = 0,925$) y arenque ($r = 0,982$) ($p \leq 0,05$). El índice aterogénico (AI), el índice de trombogenicidad (TI) y el índice de calidad de la carne y los lípidos (FLQ) se calcularon de la siguiente manera: 0.33-0.70 (IA), 0.16-0.31 (IT) y 13.01-33.22 (FLQ). Los ácidos grasos hipocolesterolémicos (OFA) e hipercolesterolémicos (DFA) en los músculos de los peces variaron de 18.26 a 23.01 y de 73.91 a 78.46, respectivamente. En la mayoría de los casos, no hubo correlaciones significativas entre el tamaño (peso corporal y longitud total) y los ácidos grasos en los músculos de los peces examinados ($p > 0.05$). Los valores del cociente de riesgo objetivo (THQ) fueron inferiores a 1, lo que demuestra que no existe un riesgo para la salud no carcinogénico para el consumidor al consumir el pescado examinado.
Zhao B et al ¹⁴	Riesgo	En este estudio, se recolectaron un total de 1815 muestras de agua de mar, 451 muestras de sedimentos y 54 muestras de mariscos en Xiangshan Bay, China, entre 2011 y 2016. El residuo, la distribución, la variación estacional y los riesgos potenciales para la salud de siete metales pesados en el agua de mar se evaluaron sedimentos y mariscos. Las concentraciones de Zn disuelto (media = 16.8 μ gL ⁻¹) y Cu (media = 3.4 μ gL ⁻¹) fueron altas en el agua de mar. Los sedimentos estaban contaminados principalmente por Zn (media = 120.8mgkg ⁻¹) y Cr (media = 81.7mgkg ⁻¹). Los niveles más altos de Cu y Zn se observaron en Ostreidae con las concentraciones de 84.3 y 99.0 mg kg ⁻¹ , respectivamente. La prueba de Kendall indicó que solo As, Cu, Cd y Hg mostraron tendencias decrecientes en el agua de mar con el tiempo y no se identificaron tendencias temporales

¹³ Łuczyńska J, Paszczyk B, Nowosad J, Łuczyński MJ. Mercury, Fatty Acids Content and Lipid Quality Indexes in Muscles of Freshwater and Marine Fish on the Polish Market. Risk Assessment of Fish Consumption. Int J Environ Res Public Health. 2017 Sep 25;14 (10). pii: E1120. doi: 10.3390/ijerph14101120

¹⁴ Zhao B, Wang X, Jin H, Feng H, Shen G, Cao Y, Yu C, Lu Z, Zhang; Spatiotemporal variation and potential risks of seven heavy metals in seawater, sediment, and seafood in Xiangshan Bay, China (2011-2016). Q5Chemosphere. 2018 Dec;212:1163-1171. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.020. Epub 2018 Sep 4.

Autor	Efecto estudiado	Resultados
		significativas para los metales pesados en los sedimentos entre 2011 y 2016. Solo el As puede plantear riesgos no carcinogénicos para adultos y Niños en algunos mariscos. Estos datos proporcionan una referencia confiable para que el gobierno la use en el desarrollo de regulaciones razonables y científicas sobre la seguridad ecológica y alimentaria de esta área.
Ke C ¹⁵	Riesgo	Las concentraciones de 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) prioritarios de la EPA de EE. UU. Se midieron en 15 especies de organismos marinos silvestres del Mar de China Meridional. La concentración (peso seco) de 16 HAP varió de 94.88 a 557.87ng / g, con una media de 289.86ng / g. Las concentraciones de BaP en especies marinas no fueron detectables. La composición de los HAP se caracterizó por los HAP de 2 y 3 anillos en las especies marinas, y los constituyentes dominantes fueron NA, PHE y FA. Las relaciones isoméricas de los HAP indicaron que los HAP se originaron principalmente en la combustión de pasto, madera y carbón, y el petróleo. La evaluación de riesgo para la salud humana basada en el riesgo de cáncer en exceso (ECR) sugirió que la probabilidad de que los HAP presenten un riesgo carcinogénico para los seres humanos con el consumo de organismos marinos era insignificante (probabilidad <1 × 10 ⁻⁶).
Satapathy S, Panda CR ¹⁶ .	Riesgo	Este estudio investigó la fuente y los niveles de contaminación de elementos tóxicos (Cd, Cr, As, Pb, Ni y Hg) presentes en un entorno costero, el centro industrial Paradip-an de la costa este de la India. Los índices de evaluación de riesgo ecológico y los modelos de exposición humana se utilizaron para evaluar el estado de contaminación. El factor de enriquecimiento indicó que todos los metales (loid) que se encuentran en el sedimento se derivan principalmente de la fuente antropogénica. De acuerdo con el cociente de calidad de los sedimentos, el 8.33% de los sedimentos han cruzado el límite ERM para Ni, que puede ser fatal para la biota. Mientras tanto, 66,66, 41,66 y 8,33% de los sedimentos han excedido el rango PEL para Cr, Ni y As, respectivamente, que pueden registrar

¹⁵Ke CL, Gu YG, Liu Q, Li LD, Huang HH, Cai N, Sun ZW. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in wild marine organisms from South China Sea: Occurrence, sources, and human health implications. *Mar Pollut Bull.* 2017 Apr 15;117(1-2):507-511. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.02.018. Epub 2017 Feb 8.

¹⁶ Satapathy S1, Panda CR2. 26. Source identification, environmental risk assessment and human health risks associated with toxic elements present in a coastal industrial environment, India. *Environ Geochem Health.* 2018 Dec;40(6):2243-2257. doi: 10.1007/s10653-018-0095-y. Epub 2018 Mar

Autor	Efecto estudiado	Resultados
		<p>toxicidad letal frecuente en la biota bentónica. Como tenía el mayor coeficiente de daño ecológico potencial ($Erf > 80$), y Hg tenía un coeficiente de daño ecológico moderado ($40 < Erf < 80$). En resumen, la calidad de los sedimentos de este sitio es moderada o muy tóxica para los organismos bentónicos. La concentración de metales tóxicos en el agua de mar estaba por debajo del límite permisible (CCC y CMC) establecido por USEPA, lo que indica que el agua es relativamente más segura para la biota acuática que flota libremente. El índice de riesgo para la salud del metal tóxico (loid) presente en los suelos de los sitios residenciales ha confirmado que existe una grave amenaza no carcinogénica para los niños ($HI \text{ niño} > 1$) y un riesgo carcinogénico límite tanto para adultos como para niños. THQCr posee la mayor amenaza no carcinogénica, que contribuyó con aproximadamente el 50% a la IH seguida de los THQA. La contribución del riesgo carcinogénico de cromo (CRCr) al TCR es aproximadamente del 60%. El Cr es el contaminante significativo de este sitio que tiene los mayores efectos en la salud. Los mayores riesgos de exposición se asociaron con la vía de ingestión, que representa aproximadamente el 85% del total para la mayoría de los elementos.</p>

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.3 Niveles de referencia para contaminantes estudiados

Los niveles de referencia son valores establecidos a partir de información empírica (estudios epidemiológicos) o de laboratorio (estudios toxicológicos), que determinan valores de seguridad, es decir, bajo los cuales no se observarían efectos adversos en la población (Tabla 4.3-4)

Tabla 4.3-4: Niveles de referencia de sustancias de interés estudiadas en Tocopilla.

Compuestos	Duración de la exposición	MRL/Rfd	Fuente
Arsénico	Aguda	0.005 mg/Kg/día	ATSDR
	Crónica	0.0003 mg/Kg/día	ATSDR
Cadmio	Intermedia	0.0005 mg/Kg/día	ATSDR
	Crónica	0.0001 mg/Kg/día	ATSDR
Cobre	Aguda	0.01 mg/Kg/día	ATSDR
	Intermedia	0.01 mg/Kg/día	ATSDR
Cianuros	Intermedia	0.05 mg/Kg/día	ATSDR
Cromo hexavalente (Cr(VI))	Intermedia	0.005 mg/Kg/día	ATSDR
	Crónica	0.0009 mg/Kg/día	ATSDR
Hidrocarburos (Benceno)	crónico	0.0005 mg/Kg/día	ATSDR
Hierro	Crónico	0.8 mg/Kg/día	JECFA/WHO
Manganeso			
Mercurio	Crónica	0,006 mg/l	WHO/WQG
Molibdeno	Agudo	0.05 mg/Kg/día	ATSDR
	Intermedia	0.008 mg/Kg/día	ATSDR
Níquel	Crónica	0,007 mg/l	WHO/WQG
Plomo	Crónico	0,01 mg/l	WHO/WQG
Vanadio	Intermedia	0.01 mg/Kg/día	ATSDR
Zinc	Intermedia	0.3 mg/Kg/día	ATSDR
	Crónica	0.3 mg/Kg/día	ATSDR

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Conclusiones

La Comuna de Tocopilla de la Región de Antofagasta desde un punto de vista de salud pública presenta mayor vulnerabilidad que la Bahía de Mejillones, recientemente estudiada. Esto debido a un perfil socioeconómico más deteriorado, y a la presencia de varias fuentes de contaminación que impactan la población, asociada a un uso del territorio en el que las distintas actividades se entremezclan con las zonas residenciales.

Los daños a la salud se pueden observar en los indicadores clásicos, tales como la mortalidad general, años de vida perdida y mortalidad infantil que son peores que la región y el país.

Según la literatura internacional, los contaminantes estudiados podrían estar relacionados con las principales patologías observadas, sin embargo, se requiere continuar con el análisis, principalmente:

- Verificar la presencia y los niveles de concentración en agua y peces de los distintos contaminantes
- Evaluar los patrones de exposición
- Calcular el riesgo de dicha exposición

4.3.4 ANEXOS

4.3.4.1 Principales antecedentes de la comuna de Tocopilla

La Región del Antofagasta se encuentra ubicada en la zona norte del país y cuenta con una superficie total de 126.049,1 kms². Desde el punto de vista político administrativo se compone de tres provincias, Antofagasta, El Loa y Tocopilla (Figura 4.3-1) y 9 comunas; Antofagasta, Calama, María Elena, Mejillones, Ollagüe, San Pedro de Atacama, Sierra Gorda, Taltal y Tocopilla. La población de la Región de Antofagasta corresponde al 3,4% del total de la población del país, Según datos del Censo 2017, la región de Antofagasta posee una población de 607.534 habitantes, de ellos 315.014 (51,85%) corresponden a Hombres y 292.520 (48,15%) a mujeres. lo que proporciona un índice de masculinidad de 107,7 por cada 100 mujeres.

La superficie del territorio comunal de Tocopilla alcanza a los 4.038,8 km², el que representa el 3,20% del territorio regional, ubicando a esta comuna como la tercera - entre nueve - de menor superficie dentro de la Región de Antofagasta, superando tan solo a las comunas de Ollagüe y Mejillones. Sin embargo, en el contexto nacional, Antofagasta es la segunda región con mayor superficie del país, donde la comuna de Tocopilla presenta una superficie equivalente a más del doble de la Provincia de Santiago, que aglutina un total de 32 comunas de la Región Metropolitana, lo que da una idea de la magnitud del territorio comunal¹⁷.

¹⁷ Plan de Desarrollo Comunal de Tocopilla 2013-2017



Figura 4.3-1: Provincias de la Región de Antofagasta.

La provincia de Tocopilla, que se conforma por las comunas de Tocopilla y María Elena, se encuentra situada al norte de la región de Antofagasta (Figura 4.3-2). Tiene una superficie aproximada de 16.385,2 km² y posee una población de 31643 habitantes. En tanto la comuna de Tocopilla, capital de la provincia, tiene una superficie de 4039 Km², y posee una población de 25.186 habitantes.

Al 2017, se estima que un 10,4% de la población de Tocopilla se encontraba en situación de pobreza por ingresos, mientras que un 20,1%, se encontraba en situación de pobreza multidimensional¹⁸(considera las dimensiones educación, salud, trabajo y seguridad social

¹⁸ Encuesta Casen 2017. Ministerio de Desarrollo Social. Consultado el 10 de junio de 2019 desde http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/indicadores/datos_pobreza_comunal.php.

y vivienda¹⁹). Ambas estimaciones resultan inferiores a los promedios nacionales de 12,7% y 26,1%, respectivamente



Figura 4.3-2: Ubicación comuna de Tocopilla.

Fuente: Google Earth

4.3.4.1.1 Antecedentes del área de estudio

La comuna cuenta con dos Plantas Termoeléctricas: NORGENER Y E-CL, las que absorben una parte importantes de la fuerza laboral y que alimentan a Chuquicamata y a la red interconectada del norte Grande. Además, posee una planta productora de cobre, una industria pesquera, un terminal de ferrocarril salitrero, un puerto mecanizado de salitre y de descarga de carbón.

La economía de Tocopilla se basa principalmente en la industria de generación eléctrica, la cual suministra aproximadamente el 50% del consumo regional, a través del Sistema Interconectado del Norte Grande, siendo este además del portuario, el principal rol de la comuna dentro del contexto regional.

¹⁹ De acuerdo al Ministerio de Desarrollo Social, un hogar se considera en situación de pobreza multidimensional si presenta un 25% o más de carencias en los indicadores que componen la medida, lo que es equivalente a una dimensión completa.

4.3.4.1.2 Demografía

La comuna de Tocopilla ha tenido un bajo crecimiento demográfico en comparación, a la región y el país, con una variación del 5% entre los datos censales 2002-2017 (Tabla 4.3-5). Según datos del último censo, el índice de masculinidad paso de 100,96 en el censo de 2002 a 98,24 para 2017, manteniéndose por debajo de la región, pero por sobre el índice nacional²⁰ (Tabla 4.3-6).

Tabla 4.3-5: Población Total Censo año 2002 y 2017

Territorio	Año 2002	Año 2017	Variación (%)
Comuna de Tocopilla	23.986	25.186	5
Región de Antofagasta	493.984	607.534	22.9
País	15.116.435	17.574.003	16.3

Fuente: Elaboración propia a partir datos del INE

Tabla 4.3-6: Índice de masculinidad total Censo año 2002 y 2017

Unidad Territorial	Índice Masculinidad	
	2002	2017
Comuna de Tocopilla	100,96	98,24
Región de Antofagasta	107,71	107,69
País	97,12	95,88

Fuente: Elaboración propia a partir datos del INE

En Tocopilla se observa una Esperanza de Vida al Nacer (EVN) de 73, 86 años y 79,05 años para hombres y mujeres respectivamente. Es importante comentar que, entre las comunas estudiadas, las mujeres de Tocopilla muestran una EVN inferior al resto y presentan una diferencia de 3,8 años respecto de la población con la mayor EVN de la región de Antofagasta (Mejillones)²¹.

En relación con la conformación de la población por grupo etario, los datos censales de 2017 mostraron que la comuna de Tocopilla tiene una distribución de su población relativamente equitativa, entre un 20% a 23% aproximadamente, en los grupos etarios de 0 a 64 años, a

²⁰ Instituto nacional de Estadística Censo de Población y vivienda 2002 y 2017.

²¹ INE Chile: esperanza de vida al nacer en comunas de 10 mil habitantes o más 2012-2014

excepción al grupo de 65 o más años, que representa el 10,62% de la población (Tabla 4.3-7). La Tasa de natalidad de la comuna de Tocopilla es de 15 por cada mil habitantes, esta es cercana a la tasa regional, la cual está sobre la tasa de natalidad del país (Tabla 4.3-8)²².

Tabla 4.3-7: Población según grupos de edad, según censo 2017.

Grupos de edad (Años)	Frecuencia absoluta	Porcentaje [%]
0 a 14	6.033	23,95
15 a 29	5.464	21,69
30 a 44	5.044	20,03
45 a 64	5.971	23,71
65 o más	2.674	10,62
Total	25.186	100

Fuente: Elaboración propia a partir datos del INE

Tabla 4.3-8: Tasa de natalidad

Unidad Territorial	Tasa de Natalidad*
Comuna de Tocopilla	15,50
Región de Antofagasta	15,90
País	13,60

*Tasa por cada 1.000 habitantes. Fuente: Elaboración propia en base a datos de la biblioteca del congreso Nacional

En general, las zonas del norte del país tienden a presentar una mayor concentración de su población en las áreas urbanas debido a las condicionantes del territorio, marcado por la aridez extrema, una morfología abrupta y la falta de terrenos cultivables, lo que en la práctica hace que la población se asiente mayoritariamente en ciudades, estando la mayoría de los poblados rurales dispersos en el territorio, respondiendo a actividades económicas puntuales (pesca artesanal, pequeña minería) o bien correspondiendo a antiguos poblados indígenas.

En el caso de la comuna de Tocopilla, la población sigue el patrón de distribución urbano-rural típica de la zona norte del país, concentrándose mayoritariamente en la ciudad del

²² Biblioteca del congreso Nacional. Reportes comunales 2017 "Tocopilla"

mismo nombre, donde se encuentran las principales actividades productivas (ciudad portuaria) y una gran cantidad de servicios (salud, educación, financieros, institucionales, etc.).

El resto de las localidades de la comuna están asociadas a pequeños poblados dispersos mayoritariamente a lo largo de la costa, donde el clima es más benigno que en el interior, ligados a la actividad pesquera artesanal y a la actividad turística, los que concentran una muy baja cantidad de población (634 hab.)¹.

4.3.4.1.3 Clima

El clima de la comuna de Tocopilla, al igual que el de la región, es más bien árido. Por ser de borde costero, el clima se define como “desértico costero nuboso”. Este efecto se mantiene hasta unos 20 km al interior desde la costa, en donde el clima se vuelve más seco por la influencia del relieve de los cerros de la cordillera de la costa (Figura 4.3-3). Estas características provocan un efecto modelador sobre las temperaturas que es causado por la corriente de Humboldt²³.

Tocopilla se caracteriza por escasas precipitaciones durante el año, alcanzando un valor medio anual de 2 mm, cuyo mes más seco corresponde a enero. En tanto, la temperatura media anual en Tocopilla es de 20.5° C, donde el mes más caluroso del año corresponde a enero, con un promedio de 24.3 ° C. Por otro lado, el mes más frío corresponde a julio, con una temperatura media de 16.9° C.

Desde el punto de vista de la salud, el rango de temperatura de la comuna de Tocopilla permite el desarrollo de la vida y salud de la población, sin tener que considerar este parámetro como un factor de riesgo.

²³ Biblioteca del Congreso Nacional. Clima y Vegetación de la Región de Antofagasta.



Figura 4.3-3: Imagen satelital comuna de Tocopilla

Fuente: Google Earth

4.3.4.1.4 Determinantes sociales estructurales

El país cuenta con una gran diversidad en el grado de desarrollo global y de salud de los distintos grupos de su población. Parte de las variaciones existentes corresponden a una desigualdad injusta y evitable, y la comparación entre grupos o áreas permite conocer un nivel de desarrollo y salud que ya ha sido logrado en áreas más privilegiadas del país, como referencia empírica óptima de desarrollo para el resto del país²⁴. El Índice de Desarrollo Socioeconómico (IDSE) incluye el componente de economía (ingreso per cápita mensual; y pobreza), educación (años de escolaridad promedio) y vivienda y saneamiento (material bueno y aceptable de la vivienda; y alcantarillado o fosa séptica). Dicho índice permite realizar una evaluación comparativa entre las comunas. La evaluación del año 2013, realizada por la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile, ponderó en el lugar 48 de 324 a Tocopilla (IDSE=0,664). En ese mismo corte, Antofagasta se ubicó en el número 18 (IDSE= 0,714) y Mejillones en el 23 (IDSE=0,697). Ambas bahías presentaron mejor rendimiento que Tocopilla, sin embargo, Tocopilla se ubicó en el decil 7 de todo el país. La Tabla 4.3-9 muestra indicadores sociales específicos de la comuna.

²⁴ César Gattini, Claudia Chávez, Daniela Albers Comunas de Chile, según nivel socioeconómico, de salud y desarrollo humano. Revisión 2013

Tabla 4.3-9: Indicadores socioeconómicos seleccionados en Tocopilla, 2013.

Categoría	Valor
Ingreso per cápita mensual (miles de \$)	209,4
Pobreza (%)	11,1
Escolaridad (años)	10,3
Vivienda: material bueno o aceptable (%)	81,9
Alcantarillado o Fosa Séptica (%)	98,4

4.3.4.1.5 Sistema de Salud

Respecto al acceso a servicios sanitarios, la comuna de Tocopilla cuenta con 3 establecimientos de salud, un centro de atención primaria, un establecimiento de baja complejidad y una clínica (Tabla 4.3-10).

Tabla 4.3-10: Número de establecimientos de salud, según tipo de establecimiento o estrategia implementada, a 2018.

Establecimiento/estrategia	Comuna	Región	País
Centro de Salud	1	21	449
Clínica	1	11	182
Establecimiento Baja Complejidad	1	3	102
Total	3	125	3.794

Fuente: Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS), MINSAL.

4.3.4.1.6 Otros factores determinantes de la salud

I. Entorno ambiental

La creciente actividad económica de la Región de Antofagasta, en especial el desarrollo de la gran minería, ha tenido como consecuencia un aumento de la actividad de importación y exportación a través de los puertos y de la demanda de energía eléctrica. Además, por su ubicación y características, en la comuna de Tocopilla se realizan las actividades de pesca y minería, las cuales generan las principales fuentes de ingresos para la población.

II. Calidad del Aire

Las principales actividades industriales presentes en la comuna están relacionadas con la industria minera del cobre. Se realizó una campaña de medición de calidad del aire durante marzo y abril de 2006 para determinar las concentraciones ambientales de material particulado respirable MP_{10} y material particulado fino $MP_{2.5}$ en la ciudad. Los resultados mostraron concentraciones significativamente mayores de MP_{10} en la parte sur de la ciudad ($117 \text{ mcg} / \text{m}^3$) en comparación con 79 y 80 (mcg / m^3) en los sitios del centro y norte. Por otro lado, las concentraciones ambientales de $MP_{2.5}$ presentaron una distribución espacial más uniforme en toda la ciudad, con niveles cercanos a los 20 (mcg / m^3). Para identificar las fuentes involucradas en la calidad del aire, se analizaron las muestras diarias de MP_{10} y $MP_{2.5}$ en busca de elementos mediante tecnología XRF. El software de Factorización de Matriz Positiva de EPA se utilizó para interpretar los resultados de las composiciones químicas. Las principales fuentes que contribuyen a la $MP_{2.5}$ son: (a) sulfatos, con aproximadamente el 50% de las concentraciones de $MP_{2.5}$ en los tres sitios; (b) emisiones fugitivas del almacenamiento y manejo de fertilizantes, con 16%, 21% y 10%; (c) Combustión de carbón y aceite residual, con 15%, 15% y 4%; (d) Sal marina, 5%, 6% y 16%; (e) Procesamiento de mineral de cobre, 4%, 5% y 15%; y (f) una fuente de polvo mixto con 11%, 7% y 4%. A su vez, los resultados para MP_{10} , muestran que los principales contribuyentes son: (a) fuente de sal marina con 36%, 32% y 36% de la concentración de MP_{10} ; (b) las emisiones del procesamiento de cobre se mezclaron con el polvo del suelo en el aire con 6.6%, 11.5% y 41%; (c) sulfatos con 31%, 31% y 12%; (d) una fuente de polvo mixto con 16%, 12% y 10%, y (e) las emisiones de reservas de fertilizantes, con 11%, 14% y 2% de la concentración de MP_{10} . El alto trasfondo natural de MP_{10} implica que se necesitarían reducciones importantes en las emisiones antropogénicas de MP_{10} y SO_2 para alcanzar los estándares de calidad del aire ambiente para MP_{10} . Esas reducciones también reducirían las concentraciones de $MP_{2.5}$ ambiente²⁵

III. Infraestructura Sanitaria

La situación de cobertura de agua potable urbana en la región de Antofagasta, al año 2005, fue de un 100%, lo que en la práctica significa que todos los sectores poblacionales bien definidos poseen matrices de agua potable, restando instalar redes sólo en pequeños sectores aislados. Así mismo la cobertura de alcantarillado para la zona alcanza a un 99,2% a diciembre de 2005.

IV. Utilización del suelo en Tocopilla

Tocopilla presenta múltiples usos del suelo, coexistiendo zonas habitacionales con zonas de servicios y/o zonas de industrias (Figura 4.3-4).

²⁵ Ref: Jorquera H Environ Monit Assess. Source apportionment of PM10 and PM(2.5) at Tocopilla, Chile (22 degrees 05' S, 70 degrees 12' W). 2009 Jun;153(1-4):235-51. doi: 10.1007/s10661-008-0352-0. Epub 2008 May 30.



Figura 4.3-4: Zonificación Tocopilla.

Fuente: Pladeco

Las zonas se caracterizan por lo siguiente¹:

Macrozona N°1: Población 3 Marías y Población Pacífico Norte (sector norte).

Esta Macrozona, comprende todo el sector norte de la ciudad de Tocopilla, es decir Población Tres Marías y Población Pacífico Norte (entregada en el año 2009), siendo casi como una ciudad satélite de la ciudad misma, puesto que hay una distancia de unos 2 kilómetros entre el centro de la ciudad y este sector, el cual además se encuentra separado por un sector industrial, donde antiguamente se ubicaban las pesqueras procesadoras de harina de pescado.

Está en la cercanía del vertedero de la ciudad, y de los botaderos de ceniza de las plantas Termoeléctrica, lo cual trae consigo problemas de contaminación por olores, además de la presencia de aves carroñera, abundante población de perros vagos que deambulan por la población en busca de alimentos y presencia de vectores de infecciones, como moscas, pulgas, garrapatas entre otras infecciones y presencia de polvo.

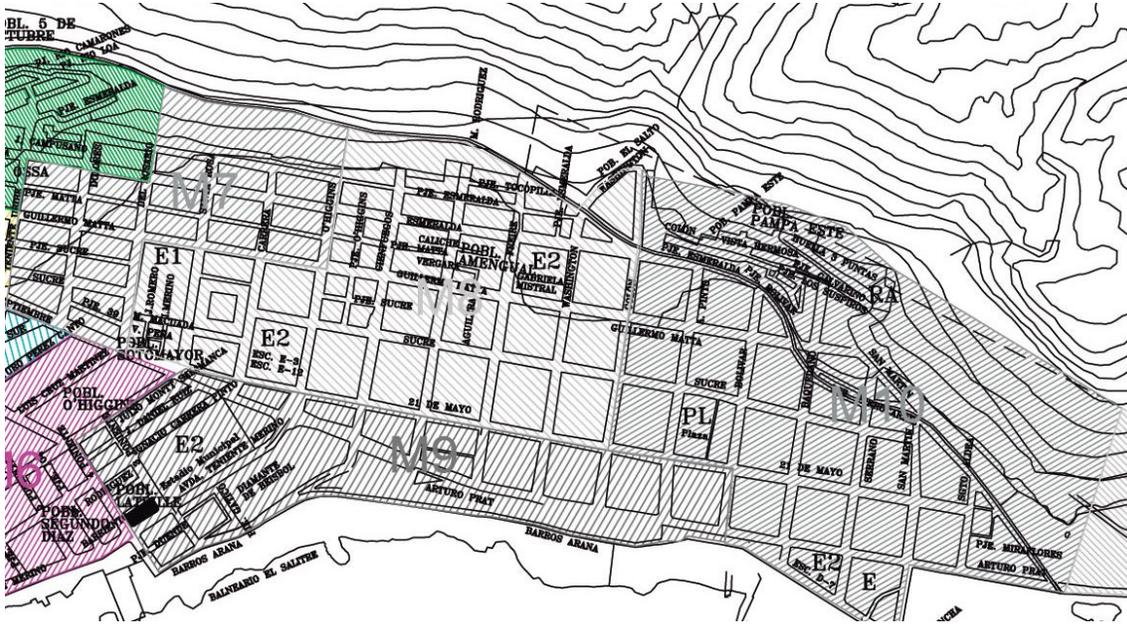


Figura 4.3-7: Zona centro sur de Tocopilla.

Macrozona sur

Este sector de la ciudad se encuentra conformada por las Macrozonas N° 11 y 12. La Macro Zona N° 11 comienza en el puente formado por la línea férrea que corre paralelo a los cerros de la Cordillera de la Costa, al Este de la ciudad.

El nivel de servicios y equipamiento de esta zona es relativamente bajo, contando con un colegio básico, dos jardines infantiles y un supermercado, y varios comerciales de tipo familiar, que están destinados a la venta de productos básicos.



Figura 4.3-8: Zona sur de Tocopilla

Situación de la Bahía Algodonales²⁶

En cuanto a los metales en agua y sedimentos, en general, las aguas del medio marino contienen pequeñas concentraciones de metales (Ahumada et al., 2007) entre otros componentes, sin embargo, la presencia de estos elementos en zonas costeras puede estar derivados del desarrollo industrial y asentamientos urbanos (Castillo and Valdes 2011). Muchos de estos compuestos pueden venir de sólidos suspendidos y sedimentos, pudiendo ser reciclado varias veces en la interfaz agua-sedimento antes de ser retenidos definitivamente (Santschi et al. 1990).

Debido a las características fisicoquímicas del medio marino, los efectos de descargas de contaminantes con metales pueden tener menor severidad que en aguas dulces, ya que la alta capacidad buffer del medio neutraliza los ácidos y bases, y la presencia de electrolitos crea posibilidades de floculación y posterior sedimentación (Waldichuk 1974).

Al analizar las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en la columna de agua de la bahía, puede distinguirse algunas tendencias, una de ellas es la observada en las fracciones totales del Cobre, Cromo y Zinc, los cuales presentan una tendencia clara de disminución con valores que descienden gradualmente desde el inicio del periodo histórico estudiado hasta los promedios mínimos anuales durante los últimos monitoreos.

Del análisis histórico se destaca, además, un periodo entre 2006 y 2011 durante el cual, con la excepción de los máximos anuales de las fracciones disueltas de Mercurio, Cromo y Zinc, se observa en términos generales los menores valores de concentración para la mayoría de

²⁶ CEA, Informe de avance n°1 “diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía algodonales, Tocopilla” bip 30130937-0

los metales. Por otra parte, los metales Plomo y Cadmio registraron durante 2000-2002 sus concentraciones totales máximas en cuanto a promedio anual se refieren. Asimismo, durante el periodo 2013-2017 se observan las mayores concentraciones disueltas de Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo; y totales de Níquel y Vanadio

De los metales estudiados destacan el Níquel y Vanadio por no estar presentes de manera natural en los sedimentos marinos costeros (Valdés et al., 2005; Valdés, 2012), las evidencias sugieren que la presencia de estos metales en los sedimentos se explicaría, al menos en parte, por la actividad de plantas termoeléctricas que utilizan “petcoke” como fuente energética (Valdés et al., 2005; Valdés, 2012), debido a que este metal es un constituyente importante de ese tipo de carbón (Chen & Lu, 2007).

Por otra parte, Zinc y Cobre forman parte de los ecosistemas costeros. Hay registros nacionales históricos en bahías de Chile, con diferentes grados de industrialización, donde se han medido valores de hasta 1600 mg kg^{-1} , producto del depósito histórico de desechos de la minería de cobre directamente en la zona costera (Ramírez et al., 2005).

En cuanto al Zinc, puede entrar al ambiente acuático como resultado de actividades industriales, descargas de efluentes y escorrentía superficial (Boxall et al., 2000). Particularmente en zonas portuarias donde se realizan actividades de embarque de minerales de Zn, es común encontrar niveles altos de este metal en los sedimentos de fondo (Calderón & Valdés, 2012).

Por otro lado, el Plomo se encuentra en la corteza terrestre en una concentración media y al igual que el suelo en los ambientes continentales, y los sedimentos de los ambientes acuáticos son la principal matriz de depósito de este metal (Alagarsamy, 2006). Por tal motivo, las altas concentraciones de Pb en los ambientes marinos, por lo general sugieren un impacto de la actividad antrópica. Sin embargo, se requieren más estudios que permitan determinar las causas específicas que explicarían la presencia de este metal en los sedimentos de estas bahías.

Pese a lo anterior, es necesario señalar también que las fuentes atmosféricas de metales son cada vez más estudiadas debido a que se ha observado una clara correlación entre el grado de desarrollo industrial de determinadas zonas y el contenido de metales en el material particulado atmosférico (Zhang et al., 2007).

Por otra parte, también en las bahías industrializadas, ocurre otro aporte de metales como el proveniente de las faenas propias de la actividad acuícola (uso de combustibles en las embarcaciones, uso de pinturas en los sistemas de cultivo, uso de estructuras metálicas, etc.) pueden influir, en un grado no determinado, en el patrón de distribución de los metales estudiados. Por ejemplo, diferentes complejos hidrofóbicos de Cu y Zn son comúnmente utilizados en pinturas biocidas destinadas a cultivos marinos y mantención de embarcaciones (Turley et al., 2000; Parks et al., 2010).

Finalmente, es necesario señalar en respuesta a aumentos estacionales de concentraciones de algunos elementos, que, en esta zona, al igual que otros sectores costeros de la zona norte, existe un aporte esporádico de agua de lluvia asociado a escorrentía superficial producida durante eventos del fenómeno de El Niño (Vargas et al., 2000), que sería una fuente secundaria de aporte de material litogénico (y metales) a estas bahías.

Al realizar el análisis en cuanto a las concentraciones normadas para metales en columna de agua en base a los cuerpos normativos estudiados, se observa que del total de registros históricos, los metales Cadmio, Cobre y Plomo en sus fracciones disueltas registran un alto porcentaje de excedencia en algunos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada, de las cuales destaca la norma para Australia y Nueva Zelanda (2000), la cual es superada por todos los metales que norma, en mayor proporción por Cadmio (>49%), Cobre (>89%) y Plomo (>49%). Es notable que en términos promedio un 48% de los registros de Cobre en la columna de agua estuvieron por sobre los máximos sugeridos, entre un 13% y 89% por sobre los límites menos y más restrictivos, respectivamente. También cabe destacar que, en cuanto a la normativa nacional, los metales que norma no presentan registros que excedan en límite máximo permitido. Asimismo, cabe señalar que las fracciones disueltas de los metales Arsénico y Selenio no registraron valores que excedieran los umbrales de ninguna norma analizada.

Al analizar las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en los sedimentos submareales de la bahía, puede distinguirse una tendencia observada para el Cobre, Cromo, Plomo, Zinc y un tanto menos marcado para Mercurio, en estos casos se observa que a lo largo del periodo en estudio las concentraciones promedio anuales han disminuido gradualmente desde los valores mayores en la década de los 90, hasta los registros mínimos actuales en las campañas 2017-2018. Además, destacan el Arsénico por registrar sus mayores valores en los últimos años del periodo y el Vanadio por presentar su mayor valor en el último año. Por otra parte, las concentraciones del Cadmio no presentan una tendencia clara, más bien, periodos alternados entre registros medios y bajos.

En cuanto a las concentraciones normadas para metales en sedimentos, se observa que, del total de registros históricos, solo Arsénico y Cobre registran un alto porcentaje de excedencia en términos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada de Persaud (1993), MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG de Australia y Nueva Zelanda (2002). Es notable que en términos promedio un 81% de los registros de Cobre en sedimentos estuvo por sobre los máximos sugeridos, entre un 69% y 97% por sobre los límites menos y más restrictivos, respectivamente. En el caso del Arsénico en los sedimentos, los resultados indican que entre un 21% y un 69% de los registros históricos analizados estuvieron por sobre los máximos sugeridos, considerando las normas más y menos permisiva respectivamente, esto da como promedio un 46% de excedencia. Los

otros metales presentan valores promedio menores, siendo los valores promedio más bajos de excedencia los del Mercurio, Níquel y Plomo, en ese orden.

En Bahía Algodonales se cuenta con información del contenido de metales en organismos marinos, al menos para una especie, y ésta corresponde a *Perumytilus purpuratus* (Chorito maico). La fuente de información corresponde al Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), perteneciente a la DIRECTEMAR. Para la mayoría de los metales analizados se cuenta con una serie de tiempo desde el año 1993 hasta el año 2017, el diseño de muestreo restringe la distribución de los puntos de muestreo al interior de la bahía Algodonales, presentando un mayor esfuerzo de muestreo en el sector norte (Topónimos POAL: Caleta Duendes, Punta Duendes, Pesquera Eperva y Pesquera Guanaye).

El metaloide arsénico y los metales cadmio, cobre, plomo y zinc presentan periodos de tiempo en donde han superado, al menos una, de las referencias nacionales y/o internacionales utilizadas en este análisis. En el caso del arsénico, cadmio y cobre, este patrón ha sido sostenido en el tiempo, incluyendo los últimos 3 años de muestreo (2015-2017) y espacialmente explícitos en los sectores denominados por el POAL como “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva” al norte de la bahía.

En el caso de los metales cromo, mercurio, plomo y zinc este patrón estuvo acotado en el tiempo entre los años 1993 y 2001 y espacialmente explícito en los sectores denominados por el POAL como “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva” al norte de la bahía. En los últimos años de monitoreo se han registrado concentraciones menores a los límites establecidos por las referencias respectivas para cada metal.

De los resultados de la revisión del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), hay que indicar que las emisiones hídricas son en su mayoría provenientes de las dos centrales termoeléctricas: Central Térmica Tocopilla y Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla. Se ha concluido que los elementos que deben ser estudiados más a fondo, en función de las mayores cargas másicas, son, en el caso de metales y metaloides: el boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente; nutrientes: sulfato y nitrógeno total Kjeldahl; parámetros físicos: sólidos suspendidos totales; otros parámetros de interés ambiental: hidrocarburos, fluoruros, índice de fenol y sulfuros.

Es importante señalar además que muchos de los agentes que está emitiendo la industria de generación eléctrica no guardan relación a sus procesos unitarios, por lo que se es posible que el origen de estos elementos sean las mismas aguas marinas o el sedimento, lo que a través de los procesos de succión, y un efecto combinado a re suspensión de material de fondo (oleaje, marejadas) puedan incorporar elementos a la columna de agua, los que son tomados por las tuberías de captación de las termoeléctricas, para luego ser eliminados al medio marino.

En cuanto al estudio oceanográfico, de los resultados de corrientes Eulerianas, se desprende la presencia de una corriente predominante NE en la capa superficial de agua (primeros 2 m), que toma una dirección predominante S en las capas medias y de fondo de la columna de agua. La componente E tiene variaciones W-E desde los 2 m desde la capa superficial hacia el fondo marino. Así, se destaca un flujo S en dirección hacia las descargas de las Centrales Nueva Tocopilla y Tocopilla. Esta corriente puede generar un mayor depósito -de material suspendido en la zona aledaña a la descarga de la Central Nueva Tocopilla, al generar una corriente que tiende hacia la línea de costa de la Bahía. Además, es importante mencionar que las trayectorias DVP obtenidas para todas las capas estudiadas, arrojaron una trayectoria tal que una partícula tendería a tocar tierra con las magnitudes de velocidad registradas.

Los resultados del análisis realizado de corrientes lagrangianas en cuadratura concuerdan con lo descrito anteriormente, mostrando que los derivadores a 0 m y 5 m de profundidad (capa superficial) toman una trayectoria Sur-Norte tanto en vaciante como llenante. Para la componente de sicigia se tiene un comportamiento distinto al presentar una corriente superficial S-W que sigue la forma de la bahía Algodonales.

4.3.4.1.7 Indicadores de salud

Para determinar la situación de salud de la comuna de Tocopilla, se estudiaron datos actuales de las tendencias observadas de los principales indicadores de salud; defunciones, tasa general de mortalidad y tasas específicas por algunas causas.

Los egresos hospitalarios dan cuenta del comportamiento de las enfermedades que requieren hospitalización para su estudio y/ o tratamiento, las consultas de urgencia y los registros de algunas enfermedades de notificación obligatoria permiten caracterizar los principales problemas existentes en la salud de la población.

V. Análisis de mortalidad

La mortalidad es uno de los indicadores o estadística vital más ilustrativa y que permite entregar una visión de la situación de salud de una comunidad. Analizaremos la mortalidad general, es decir por todo tipo de causa y su tendencia. También se analizan la mortalidad infantil y la mortalidad por algunas causas específicas de muertes y el indicador tasa de años de vida perdida (AVPP)²⁷. Se comparan los indicadores de la Comuna de Tocopilla con los de la Región de Antofagasta y Chile, para destacar sus particularidades.

La mortalidad general de la Región de Antofagasta ha presentado una tendencia leve al alza, al igual que la del país, la comuna de Tocopilla muestra mayor inestabilidad y tendencia estacionaria, pero siempre por sobre el promedio nacional y regional (Figura 4.3-9). La

²⁷ El indicador Años de Vida Potenciales Perdidos (AVPP) ilustra sobre la pérdida que sufre la sociedad como consecuencia de la muerte de personas jóvenes o de fallecimientos prematuros. El supuesto en el que se basan los AVPP es que cuando más prematura es la muerte, mayor es la pérdida de vida.

inestabilidad de la tasa de mortalidad es común en las poblaciones menores a 10.000 habitantes. Esto mismo se observa, con mayor claridad en las Tasas de mortalidad infantil en las que se vieron dos años consecutivos con tasa cero (ninguna muerte) y otros en que la tasa se “dispara” por sobre el promedio regional y/o del país (Figura 4.3-10).

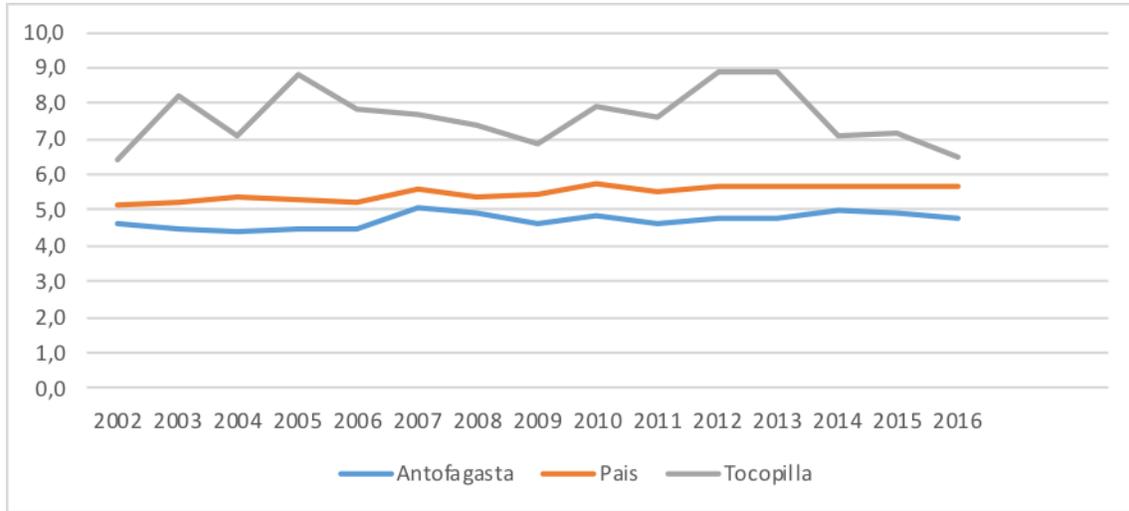


Figura 4.3-9: Tendencia de mortalidad general en Chile, región de Antofagasta y Tocopilla

Fuente: Elaboración propia, a partir de estadísticas vitales, DEIS, MINSAL

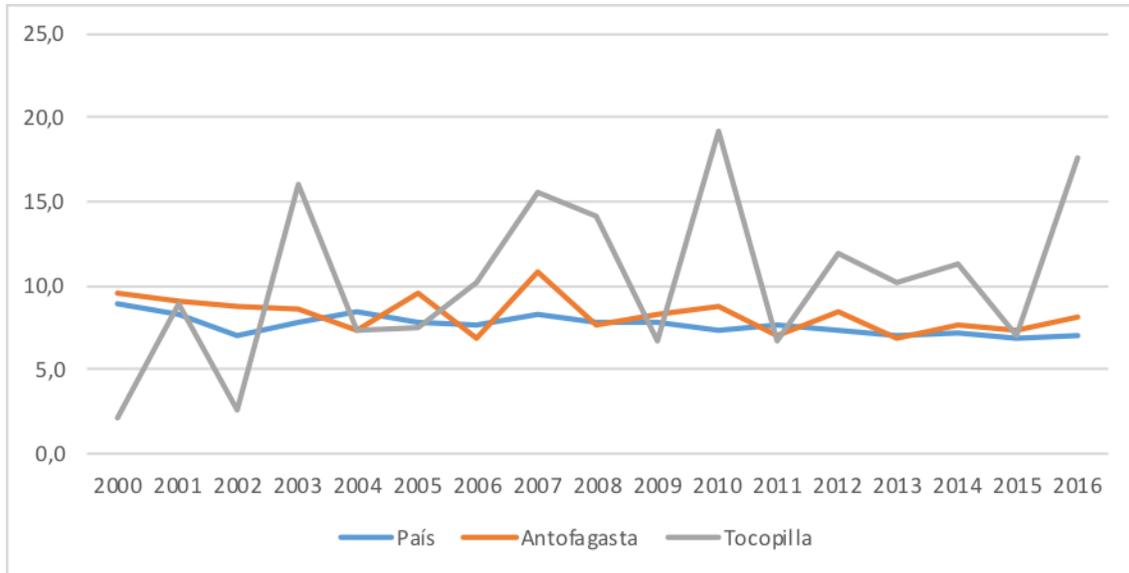


Figura 4.3-10: Tendencia de la mortalidad infantil en Chile, región de Antofagasta y Tocopilla.

Fuente: Elaboración propia, a partir de estadísticas vitales, DEIS, MINSAL

Respecto a las causales de muertes, las Figura 4.3-11 y Figura 4.3-12 muestran la tendencia de las distintas causas de muerte diagnosticadas en el país y región estudiada, durante el quinquenio 2010 al 2014.

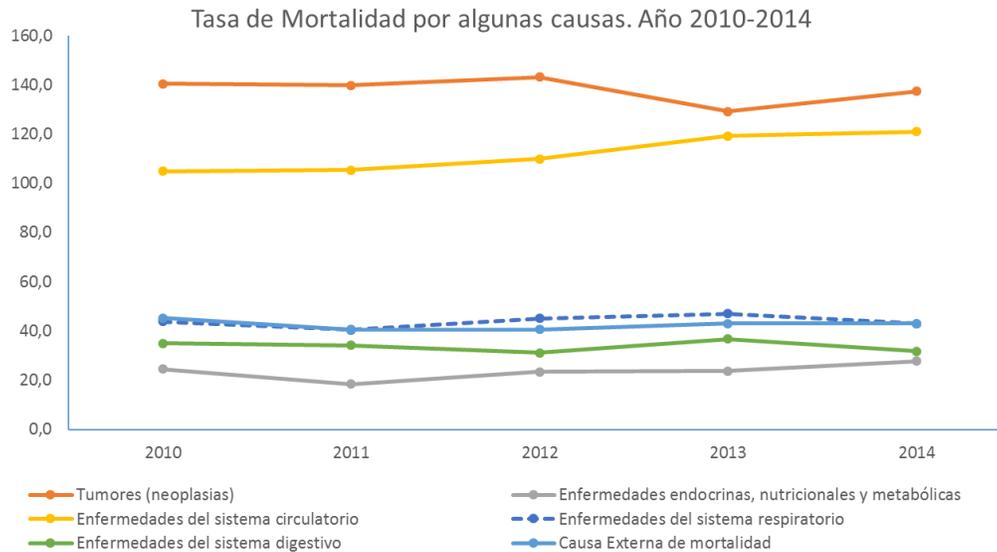


Figura 4.3-11: Causas de mortalidad, Región de Antofagasta, 2010-2014.

Fuente: DEIS, MINSAL

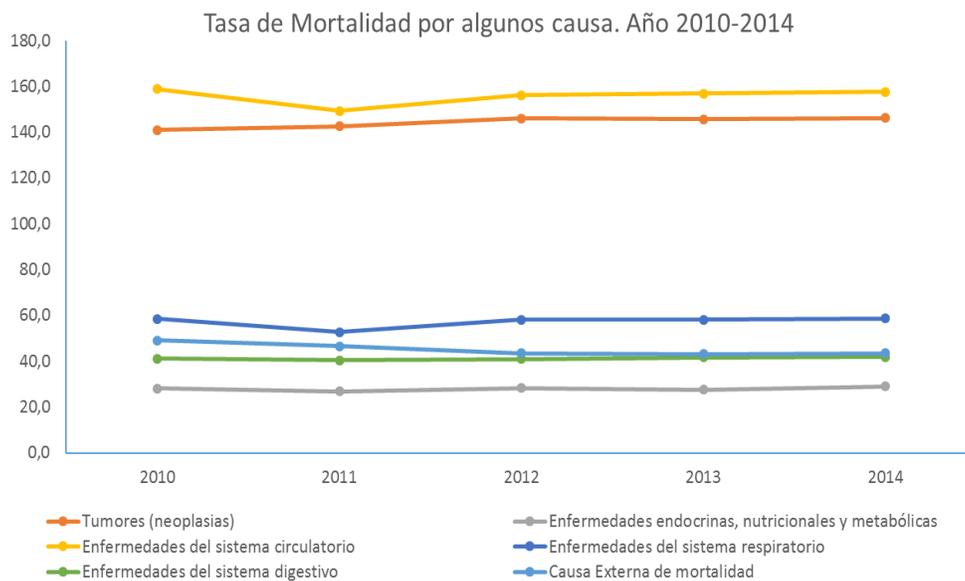


Figura 4.3-12: Causas de mortalidad en Chile, 2010-2014.

Fuente: DEIS, MINSAL

La región de Antofagasta presenta como principal causa de muerte, en el quinquenio descrito, defunciones debido a tumores, seguida de las patologías del aparato circulatorio. Por el contrario, esta enfermedad tiene un alto índice de mortalidad en el resto del país, siguiendo en importancia las enfermedades del aparato respiratorio.

Finalmente, a nivel de mortalidad, se puede observar que la tasa de años de vida potenciales perdidos en la comuna fue mayor en forma sistemática, en comparación con la región de Antofagasta y el país.

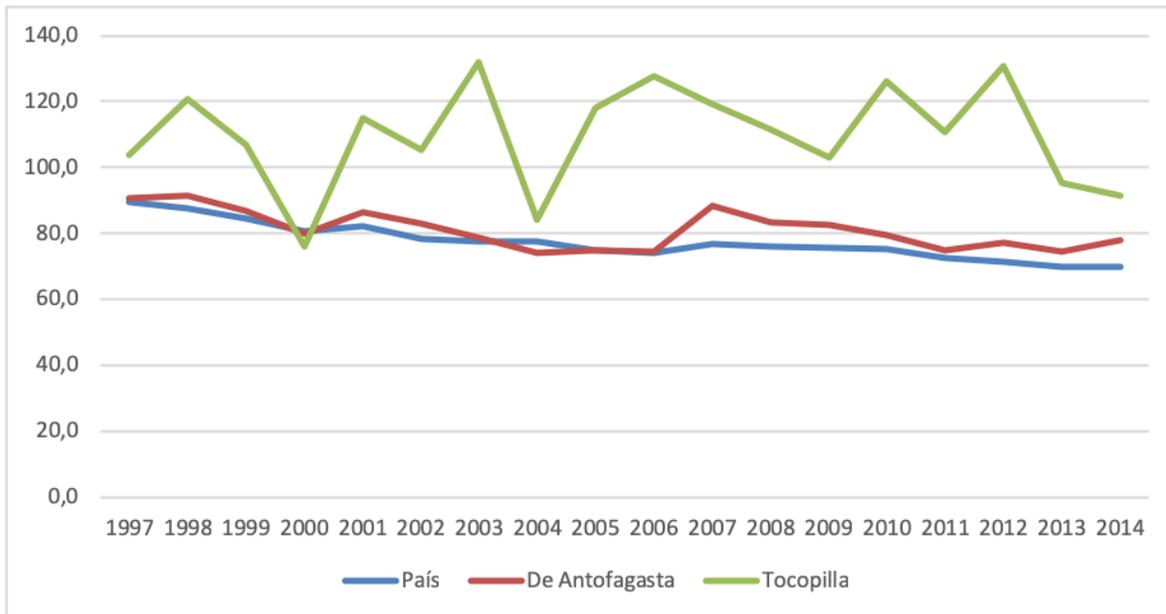


Figura 4.3-13: Tasas de años de vida potenciales perdidos en Chile, Región de Antofagasta y Tocopilla.

Fuente: Elaboración propia, a partir de estadísticas vitales, DEIS, MINSAL

VI. Egresos hospitalarios

El estudio de las hospitalizaciones permite tener una idea respecto de las patologías de mayor gravedad que requieren hospitalización para mejorar su evolución. Chile cuenta con un registro nacional de egresos hospitalarios, que permite conocer el comportamiento de todas las hospitalizaciones de los habitantes por comuna de residencia, sean ellos atendidos en el sistema público o privado, en la propia comuna, en la región o en otra localidad del país, pues existen patologías que son derivadas para su estudio o tratamiento a hospitales de mayor complejidad y también se registran en las bases de datos del Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud.

El Figura 4.3-14 muestra la tendencia de las hospitalizaciones de los habitantes de la Comuna de Tocopilla.

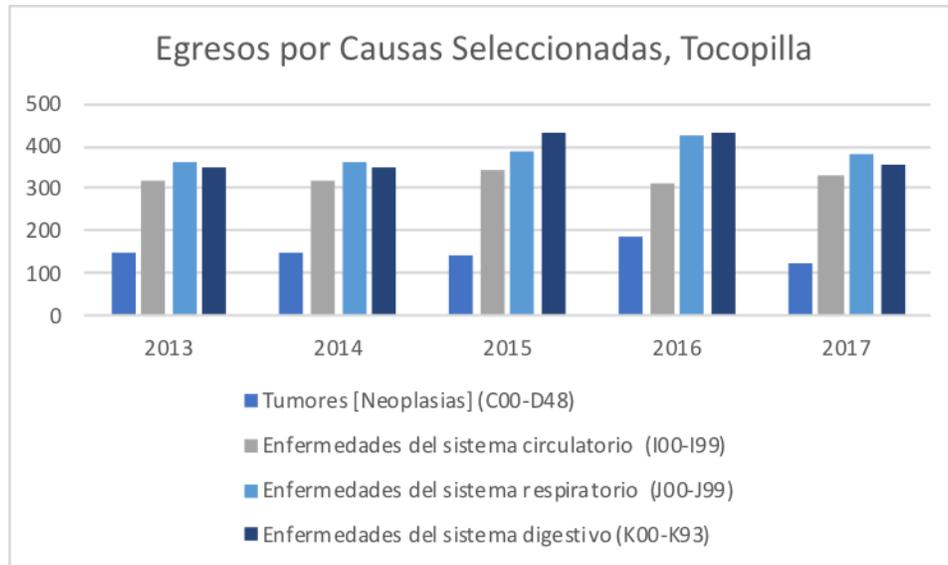


Figura 4.3-14: Hospitalizaciones por causas seleccionadas, Tocopilla 2013-2017, números absolutos.

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas de egresos hospitalarios del DEIS

Se observa que las patologías que concentran las hospitalizaciones son las enfermedades del sistema respiratorio y las del sistema digestivo.

VII. Atenciones de urgencias

Las atenciones de urgencia en la comuna de Tocopilla presentan un patrón relativamente estacionario promediando las 780 consultas semanales (Figura 4.3-15). Las causas más frecuentes de consulta son las enfermedades del sistema respiratorio seguido de traumatismos y envenenamiento, cabe mencionar que la cantidad de consultas por causas respiratorias se encuentran muy por sobre los demás motivos de atención (Figura 4.3-16).

A diferencia de los que ocurre en otras localidades del país, las enfermedades respiratorias no presentan variaciones estacionales claras. Las consultas en el período estival se mantienen relativamente elevadas (Figura 4.3-17).

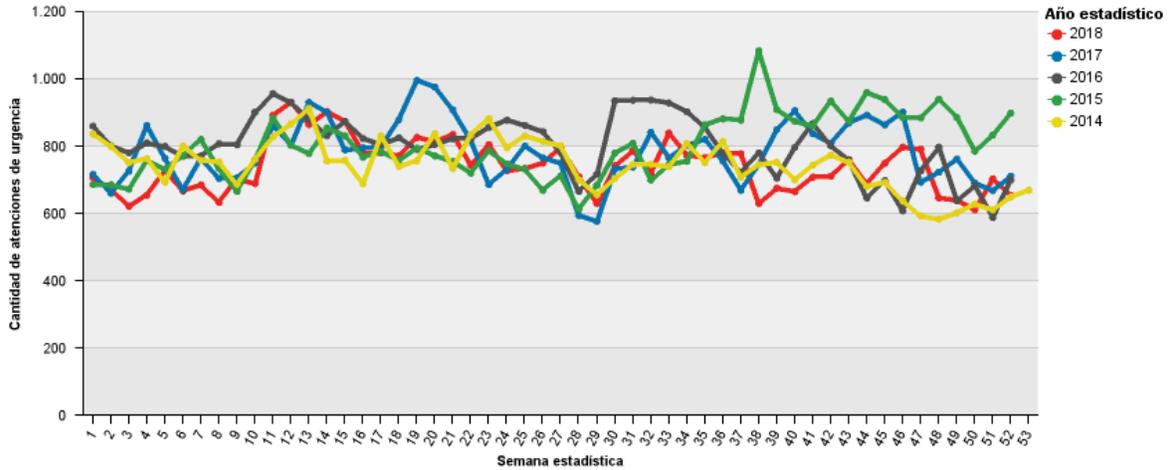


Figura 4.3-15: total de consultas de urgencia en comuna de Tocopilla, 2014-2018.

Fuente: Minsal, registro de atenciones de urgencia, DEIS

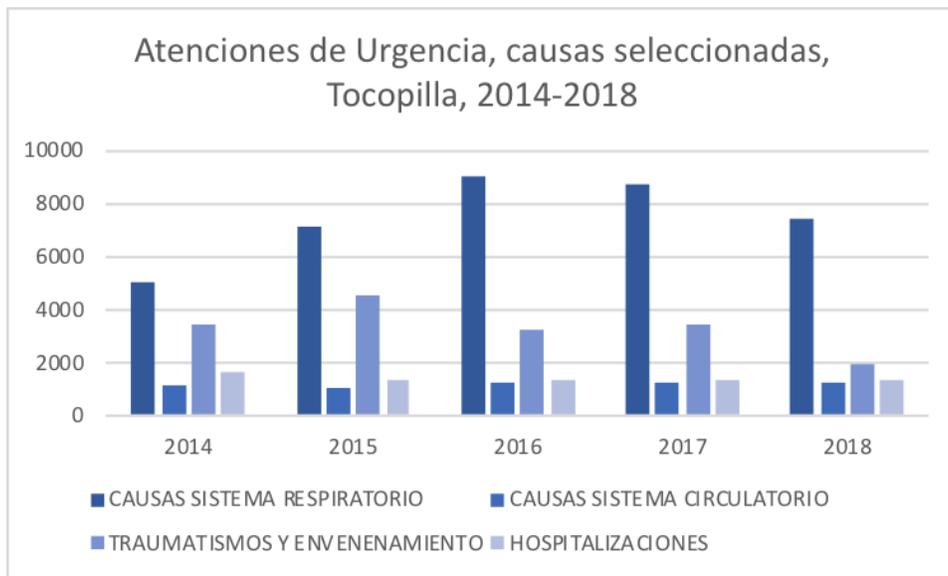


Figura 4.3-16: Causas principales de consultas de urgencia, Tocopilla 2014-2018.

Fuente: Minsal, registro de atenciones de urgencia, DEIS

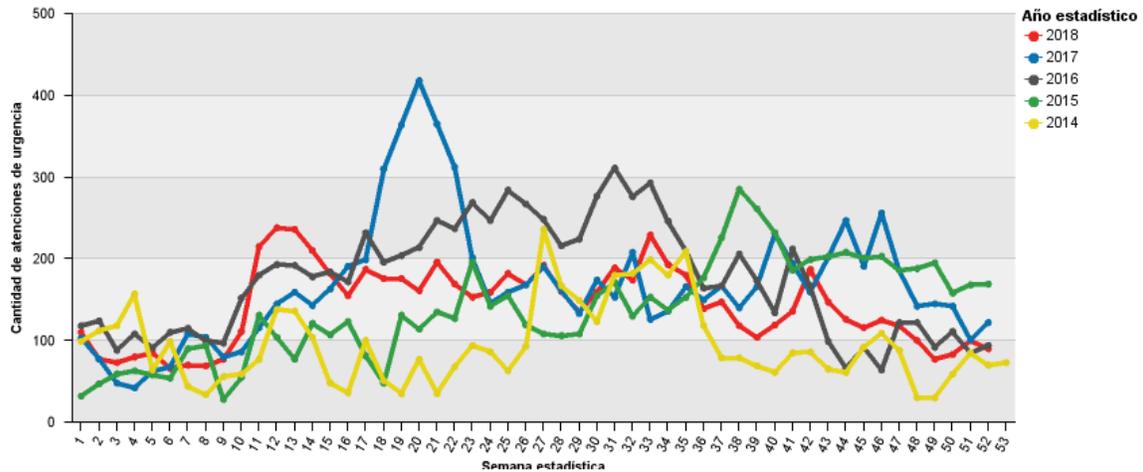


Figura 4.3-17: Consultas respiratorias, Tocopilla 2013-2017.

Fuente: Minsal, registro de atenciones de urgencia, DEIS

VIII. Enfermedades de notificación obligatoria

A la fecha, el Ministerio de Salud no ha entregado información reciente del estado epidemiológico del país respecto de las enfermedades de notificación obligatoria. Sólo se tuvo acceso a la base de datos hasta el año 2014.

Durante el quinquenio 2010 al 2014, Tocopilla notificó un total de 69 casos, destacando 48 enfermedades de transmisión sexual (sífilis y gonorrea), 8 hepatitis, 1 VIH y 4 Enfermedad de Chagas.

4.4 Objetivo Específico 4 (OE-4)

OE-4: Generar un diagnóstico del estado de condición ambiental de la bahía en las componentes columna de agua, sedimento y biota marina.

A la fecha, se ha desarrollado el enfoque metodológico a aplicar para desarrollar el diagnóstico del estado de condición ambiental de la bahía en las componentes columna de agua, sedimento y biota marina, que se describe a continuación.

4.4.1 Enfoque Metodológico

Habitualmente las licitaciones de la administración del estado solicitan tareas complejas, relacionadas a políticas públicas que permitan desarrollar planes que beneficien a la población en general o bien a las poblaciones locales. Así, un conjunto de objetivos complejos, centrados en la salud de la población y en la constatación de problemas de conservación de los ecosistemas y de la biota, requieren o demandan una solución integrada.

Dado las demandas establecidas en las bases de la licitación, es apropiado entregar una base de trabajo conceptual, que facilite a la autoridad pertinente, poner en acción las recomendaciones de una cartera de proyectos.

Para organizar la información y proveer soluciones a los problemas complejos que se relacionan al medio ambiente, proponemos una base de trabajo y metodologías que faciliten la comprensión de los problemas abordados considerando las bases ecológicas, ambientales y de gestión que requiere la autoridad. Finalmente se considera que estos planes integrados deben satisfacer las necesidades de la población y se asocia al concepto de salud y bienestar humano. Dado este contexto de usar los resultados con ese fin se usará también el concepto de salud de los ecosistemas como una analogía, para su interpretación en las medidas que la autoridad decida realizar en función de los antecedentes que se entreguen.

4.4.1.1 *Ecología, Medio Ambiente y Gestión*

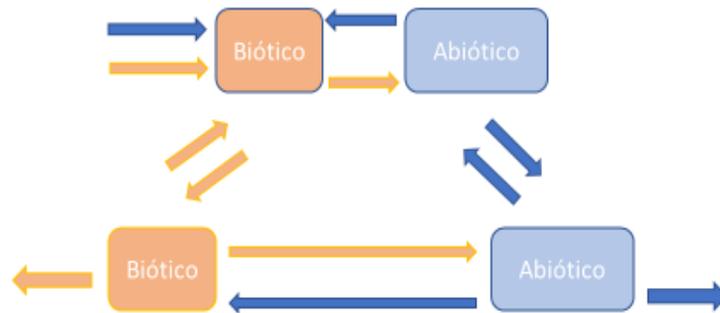
A continuación, se entregan definiciones y alcances de los conceptos utilizados en el enfoque metodológico:

4.4.1.1.1 Ecología

Ecosistema

El concepto de ecosistema es uno de los conceptos centrales en el desarrollo de los estudios ambientales orientados a la gestión. En el presente estudio en bahía Algodonales se utilizará la siguiente definición: “el sistema total (en el sentido de la física), incluyendo no solamente el complejo de organismos, sino también la totalidad del complejo de factores físicos, formando eso que llamamos el ambiente del bioma-los factores del hábitat en sentido amplio. Aunque los organismos reclaman primariamente nuestro interés, cuando estamos

pensando en forma fundamental, no podemos separarlos de su ambiente especial, con el cual ellos forman un sistema físico. Este sistema así formado, el cual, desde el punto de vista de los ecólogos, son las unidades básicas de la naturaleza sobre la faz de la tierra. Nuestros prejuicios humanos nos fuerzan a considerar los organismos (en el sentido de los biólogos) como las partes más importantes de esos sistemas, pero ciertamente los factores inorgánicos, “también son partes-no habría sistema sin ellas”, y hay un intercambio constante de variados tipos, al interior de cada sistema, no solamente entre organismos, sino entre lo inorgánico y lo orgánico”. Esos ecosistemas son de los más variados tipos y tamaños” (Tansley 1935). Debido a que la definición conceptual es neutral en escala y restricciones, son necesarios los modelos para traducir la definición en herramientas utilizables. La traducción requiere que las partes, interacciones y alcances del sistema de interés deben ser especificados (Pickett and Cadenasso 2002). Por otra parte, el concepto permite incorporar las acciones del hombre en las preguntas de aplicación. De acuerdo con la definición de Tansley, los ecosistemas poseen partes orgánicas e inorgánicas, que actualmente se definen como componentes bióticos y abióticos. En la Figura 4.4-1 Figura 4.4-1 Modelo Conceptual de Ecosistemase muestran las relaciones entre los componentes de un ecosistema mediante flechas que indican interacciones ya sea por organismos, flujos de materia o energía.



Modelo Conceptual de un ecosistema de un ecosistema y sus interacciones. Componentes bióticos y abióticos. Las flechas indican interacciones ecosistémicas .

Figura 4.4-1 Modelo Conceptual de Ecosistema

Espacialmente un ecosistema se puede definir como un área cuyos límites reflejan procesos y patrones ecológicos (por ejemplo, comunidad, población, biogeoquímica, transferencia de energía, clima, fisiografía), y que proporciona suficiente área, diversidad y complejidad para una continua autoorganización y mantenimiento en ausencia de perturbaciones externas catastróficas (modificado de Slocombe, 1993, y Clark et al, 1991).

Otros conceptos importantes en el análisis del estado ecológico son los siguientes:

Integridad biológica

Corresponde a la capacidad de apoyar y mantener una comunidad equilibrada, integrada y adaptable de organismos con una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable a la del hábitat natural de la región (de Karr, 1991). Este concepto se ha aplicado principalmente en la gestión de las aguas superficiales. Véase también "integridad ecológica".

Integridad ecológica

Un sistema vivo exhibe integridad si, cuando es sometido a perturbación, mantiene una capacidad de organización y autocorrección para recuperarse hacia un estado final que es normal y "bueno" para ese sistema. Los estados finales que no sean los prístinos o la totalidad natural pueden considerarse "normales y buenos" (H.A. Regier en Woodley et al., 1993). Otra definición (de Karr & Angermeier 1994) es la siguiente: La integridad biológica se refiere a la integridad de un sistema, incluyendo la presencia de todos los elementos apropiados y la ocurrencia de todos los procesos a la velocidad adecuada. Mientras que la diversidad es una propiedad colectiva de los elementos del sistema, la integridad es una propiedad sintética del sistema. A diferencia de la diversidad, que puede expresarse simplemente como el número de tipos de elementos, la integridad se refiere a las condiciones bajo poca o ninguna influencia de las acciones humanas; una biota con alta integridad refleja los procesos naturales evolutivos y biogeográficos.

Funciones ecológicas

Propiedades del ecosistema que se derivan de las interacciones espacialmente estructuradas entre muchos procesos y los componentes biológicos y fisicoquímicos dentro de un sistema (de Preston & Bedford, 1988). El término "funciones de los ecosistemas" también puede utilizarse indistintamente con "servicios de los ecosistemas" (por ejemplo, Westman 1977).

Ecorregiones

Regiones de relativa homogeneidad en los sistemas ecológicos o en las relaciones entre organismos y sus entornos (Omernik, 1987).

Sostenibilidad ecológica: mantenimiento de los componentes y funciones de los ecosistemas para las generaciones futuras.

Salud de los ecosistemas

En el presente estudio se utilizará el concepto "Salud del Ecosistema", definido operacionalmente por Costanza, (1992). El concepto de salud del ecosistema se entiende como una medida integral, multiescala, dinámica y jerárquica de la resiliencia, estructura y función del sistema. Estos conceptos están incorporados en el término "sostenibilidad", que implica la capacidad del sistema para mantener su estructura y función a lo largo del tiempo

frente al estrés externo (resiliencia). El concepto de resiliencia del sistema tiene dos componentes principales. El aspecto más comúnmente utilizado se refiere a la duración del tiempo que le toma a un sistema recuperarse del estrés. Un segundo aspecto se refiere a la magnitud del estrés que puede recuperar el sistema, o los umbrales específicos del sistema para absorber diversas tensiones.

Esta definición es aplicable a todos los sistemas complejos, desde células hasta ecosistemas y sistemas económicos y permite el hecho de que los sistemas pueden estar creciendo y desarrollándose como resultado de influencias tanto naturales como culturales. De acuerdo con esta definición, un sistema enfermo o insalubre es aquel que no es sostenible y no logrará su vida máxima. Por otra parte, un sistema saludable es aquel que posee la capacidad de recuperación adecuada para sobrevivir a diversas perturbaciones a pequeña escala.

Un sistema saludable también debe definirse a la luz de su contexto (el sistema más grande del que forma parte) y de sus componentes (los sistemas más pequeños que lo componen). En sus términos más simples, entonces, la salud es una medida del rendimiento global de un sistema complejo que se construye a partir del comportamiento de sus piezas. Tales medidas de salud del sistema implican una suma ponderada o una operación más compleja sobre los componentes, en la que los factores de ponderación incorporan una evaluación de la importancia relativa de cada componente para el funcionamiento del conjunto. Esta evaluación de la importancia relativa incorpora "valores", que pueden variar de subjetivos y cualitativos a objetivos y cuantitativos a medida que adquirimos más conocimiento sobre el sistema en estudio. Análogamente, en la práctica de la medicina humana, estos factores o valores de ponderación están contenidos en el conocimiento y la experiencia del médico (Costanza and Mageau, 1999).

El concepto de salud de ecosistemas es un concepto normativo, y ayuda a definir los puntos finales y un manejo ambiental más efectivo, como fundamento de normas secundarias que se puedan proponer para el manejo de la bahía Algodonales.

4.4.1.1.2 Gestión

Desde el punto de vista ambiental, se ha propuesto como meta alcanzar la sostenibilidad ecológica y es conveniente definir algunos conceptos con el fin de seguir adecuadamente su uso dentro del alcance de este estudio. Entre esos conceptos hemos seleccionados los siguientes:

Sostenibilidad ecológica

Mantenimiento de los componentes y funciones de los ecosistemas para las generaciones futuras.

Sostenibilidad ambiental:

Mantenimiento a largo plazo de los componentes y funciones de los ecosistemas para las generaciones futuras. Marco de trabajo: en el nivel más simple, un marco de trabajo proporciona un medio para categorizar la información sobre un tema. Tres tipos importantes de marcos para la recopilación, el análisis y la presentación de información ambiental son: los modelos de un proceso o estrategia de toma de decisiones, los modelos conceptuales del "flujo causal" de las interacciones entre el hombre y el medio ambiente, y los marcos espaciales, es decir, los sistemas de clasificación de ecosistemas o de tierras.

Presiones

Actividades humanas y procesos naturales, y los estresantes biofísicos derivados de estas actividades y procesos, que pueden contribuir al estrés sobre la salud y el bienestar humanos y sobre los componentes y funciones de los ecosistemas.

Estado del medio ambiente

Condiciones y cambios en los ecosistemas, la salud humana y el bienestar humano relacionado con el medio ambiente, incluyendo como subconjunto la condición de atributos ambientales valorados.

Respuestas

Acciones humanas intencionadas para abordar los cambios o impactos ecológicos, de salud o bienestar humanos observados o pronosticados que se consideran indeseables, es decir, las respuestas de la sociedad.

Efectos

Relaciones atribuidas entre dos o más variables de presión, estado y/o respuesta social
Punto final de la evaluación: expresa la pregunta o hipótesis política específica que debe evaluarse en una evaluación ambiental, y es la base para la selección y medición de indicadores. Un parámetro de evaluación ecológica completamente definido especifica la magnitud del efecto que debe ser detectado en una VEA, el área que debe ser afectada, el tiempo permitido antes de que los efectos sean detectados, y el nivel aceptable de incertidumbre (adaptado de Suter, 1993).

Evaluación ambiental:

Análisis e interpretación de los datos relacionados con el medio ambiente para su uso en la toma de decisiones.

Indicador ambiental:

Un parámetro (es decir, una propiedad medida u observada), o algún valor derivado de parámetros (por ejemplo, a través de un índice o modelo), que proporciona información gerencialmente significativa sobre patrones o tendencias (cambios) en el estado del medio ambiente, en actividades humanas que afectan o son afectadas por el medio ambiente, o

sobre las relaciones entre dichas variables. Tal como se define aquí, los indicadores incluyen información geográfica (referenciada espacialmente) e información utilizada en la gestión ambiental a cualquier escala, es decir, no sólo para los responsables políticos de alto nivel.

Sistema de Información Ambiental

Una gran variedad de series de datos relacionados con el medio ambiente y otros tipos de información, recopilados a través de redes de programas de monitoreo a escalas geográficas múltiples que se integran o coordinan a varios niveles. Dicha integración o coordinación puede incluir la integración de datos y la coordinación a nivel de los valores, objetivos y prioridades de la sociedad utilizados para estructurar el sistema.

Índice

Un conjunto de estadísticas y/o indicadores que resume a menudo grandes cantidades de información relacionada utilizando algún procedimiento sistemático para ponderar, escalar y agregar múltiples variables en un único resultado resumido.

Estrés

Cualquier entidad física, química o biológica que pueda inducir un efecto adverso sobre los ecosistemas o la salud humana (adaptado de RAF 1992).

Atributos ambientales valorados

Aquellos aspectos (componentes o procesos/funciones) de los ecosistemas, la salud humana y el bienestar relacionado con el medio ambiente que se consideran importantes y potencialmente amenazados por las actividades humanas o las amenazas naturales. Similar al término "componentes ambientales valorados", utilizado en la evaluación del impacto ambiental, pero que incluye explícitamente los

4.4.1.2 Marco conceptual EPA

A medida que las sociedades se apropian cada vez más de los recursos y servicios de la naturaleza, se reconoce cada vez más que se necesita mayor cuidado en la toma de decisiones sobre su uso. También hay acuerdo en que la toma de decisiones debe basarse en información sólida organizada y analizada. Al respecto, la EPA propone el desarrollo de un marco conceptual (Figura 4.4-2) para un sistema unificado de información medioambiental (datos geoespaciales y de otro tipo, estadísticas resumidas, índices, etc.). Este marco identificaría los valores, objetivos y prioridades ambientales de la sociedad sobre una base geográfica a diversas escalas espaciales. Al hacerlo, podría ayudar a identificar, vincular e impulsar la recopilación de datos para apoyar la evaluación y gestión ambiental basada en los ecosistemas, incluida la evaluación de la sostenibilidad ambiental de las actividades humanas. El contenido de un sistema de información medioambiental puede incluir varios tipos de información cuantitativa y cualitativa, incluyendo información geográfica y no espacialmente referenciada de los productos del modelo útiles para la toma de decisiones (por ejemplo, estimaciones de riesgos).

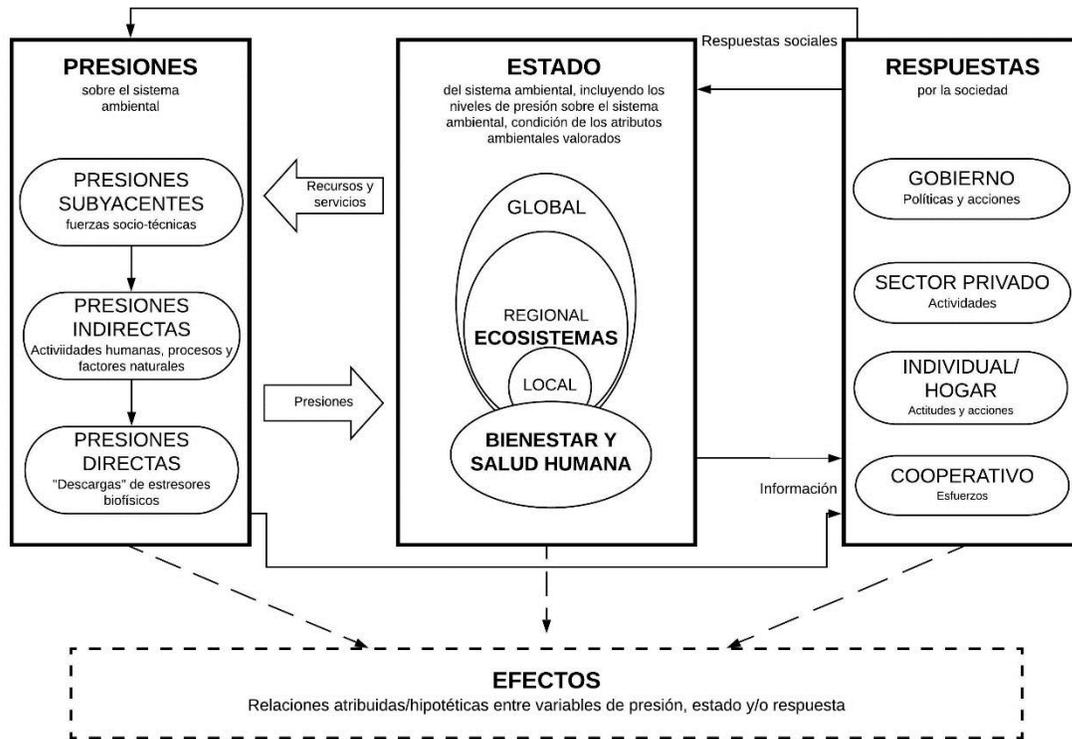


Figura 4.4-2 Marco conceptual "Presión-Estado -Respuesta/Efectos". EPA, 1995.

Un indicador es un parámetro (es decir, una propiedad medida u observada), o algún valor derivado de parámetros (por ejemplo, a través de un índice o modelo), que proporciona información útil desde el punto de vista de la gestión sobre patrones o tendencias (cambios) en el estado del medio ambiente, en actividades humanas que afectan o son afectadas por el medio ambiente, o sobre las relaciones entre dichas variables. Los indicadores pueden incluir información utilizada en la gestión ambiental a cualquier escala, no sólo por los responsables de la formulación de políticas de alto nivel. Los índices son agregaciones de estadísticas y/o indicadores, utilizados para resumir a menudo grandes cantidades de información relacionada. Mapas, gráficos, fotografías, diagramas, etc., pueden utilizarse para presentar información cuantitativa y cualitativa.

La dinámica de las interacciones entre el hombre y el ecosistema es compleja y no puede separarse fácilmente de su contexto espacial (geográfico). Las interacciones ambientales pueden ser indirectas, retardadas y altamente no lineales, y nuestra comprensión de estas interacciones está llena de incertidumbre. Por lo tanto, un sistema de información ambiental tendría que construirse sobre una variedad de modelos conceptuales, e incluir muchos tipos diferentes de datos e información ambiental y social.

Las funciones básicas de un sistema de información ambiental son apoyar la evaluación de los problemas ambientales y facilitar la presentación de informes sobre estas cuestiones a los responsables políticos y al público en general (generalmente en condiciones de

incertidumbre). Las evaluaciones ambientales suelen tratar de abordar una o más de las tres necesidades fundamentales:

- Determinar las condiciones y cambios ambientales y sociales relacionados (estado y tendencias); es decir, ¿está sucediendo algo que debería preocuparnos?
- Diagnosticar las causas potenciales de problemas detectados o cambios en la condición;
- Predecir o desarrollar escenarios de impactos futuros de las actividades humanas, cambios ambientales y respuestas alternativas a los mismos.

Un marco conceptual para un sistema de información ambiental debería ayudar a:

- Vincular los datos existentes relacionados con el medio ambiente con las necesidades políticas y de gestión;
- Integrar conjuntos de datos sobre una base geográfica para apoyar la toma de decisiones basada en el ecosistema;
- Identificar la duplicación y las lagunas en los esfuerzos de recopilación de información existentes; y
- Impulsar la elaboración de nuevos datos e indicadores para cubrir las lagunas.

Si bien las relaciones causa-efecto son difíciles de establecer, la toma de decisiones sobre el medio ambiente suele basarse en suposiciones sobre tales vínculos (y en pruebas plausibles de los mismos) a fin de determinar las respuestas apropiadas de la administración. Por ejemplo, el medio ambiente tiene la capacidad de absorber (procesar) cierto estrés, y los datos que muestran la presencia de presiones por sí solos no son una garantía de que se haya producido un cambio significativo en el estado del medio ambiente como resultado de esa presión. Además, un cambio de estado no significa necesariamente que haya un problema; incluso cuando lo hay, sin saber qué causó el cambio, es difícil decidir sobre una respuesta adecuada. Por lo tanto, los modelos y análisis que muestran las relaciones entre las variables (por ejemplo, las condiciones ambientales y las causas potenciales) generalmente tienen el mayor significado para los tomadores de decisiones ambientales.

Tabla 4.4-1 Resumen del modelo conceptual P-E-R/E recomendado por la EPA.

PRESIÓN (P)	ESTADO DEL MEDIO AMBIENTE (E)	RESPUESTA DE LA SOCIEDAD (R)	EFFECTOS (E) (relaciones entre P,E y/o R)
PRESIONES SUBYACENTES Fuerzas sociotécnicas: población, tecnología, estructura social, actitudes & prácticas, políticas	ECOSISTEMA GLOBAL Condiciones del medio ambiente y tendencias (químicas, físicas, bio/ecológicas); Estatus de "Atributos medioambientales valorados" (VEAs)	ACCIONES DE GOBIERNO Legislación, políticas, regulaciones, monitoreo, acciones de ejecuciones, acuerdos internacionales, etc.	UNIONES entre niveles de presión (subyacentes, indirectas y directas) o entre presiones y respuestas
PRESIONES INDIRECTAS (agricultura, minería, manufactura, transporte, consumo de energía) y Procesos Naturales/ Eventos (erupciones volcánicas, etc)	ESCALA DE ECOSISTEMAS REGIONALES Condiciones del medioambiente y tendencias (ver arriba), Estatus de VEAs	ACTIVIDADES SECTOR PRIVADO Cumplimiento, tratamiento de desechos, mitigación, limpieza, procesos de rediseño, etc.	EFFECTOS ECOLÓGICOS Relaciones entre Presiones Directas o Respuestas de la Sociedad y Estado del Medio Ambiente.
PRESIONES DIRECTAS Estresores Biofísicos: contaminantes, extracción de recursos, cambios en el uso de la tierra, especies exóticas	ECOSISTEMAS A ESCALA LOCAL (incluyendo comunidades humanas) Condición del Medio Ambiente y tendencias (ver arriba) Estatus de VEAs	ACTITUDES & ACCIONES INDIVIDUALES/ FAMILIARES Reciclado, conservación, contribuciones a ONG, etc	EFFECTOS EN LA SALUD HUMANA de Presiones Directas, Cambios Ecológicos (en Estados) o Respuestas de la Sociedad
	SALUD HUMANA & BIENESTAR Longevidad, morbilidad, Valor de los bienes y servicios	ESFUERZO COOPERATIVO Investigación, ONGs, participantes público-privado	EFFECTOS EN BIENESTAR HUMANO De los Cambios Ecológicos (en Estados) o

	ecológicos, otros valores de no-uso		Respuesta de la Sociedad
--	-------------------------------------	--	--------------------------

A continuación, se definen cada una de las subcategorías mencionadas anteriormente:

4.4.1.2.1 Presiones sobre el medio ambiente

Los flujos inducidos por el hombre de muchos elementos y compuestos ocurren ahora a niveles similares a los flujos que se encuentran en la naturaleza (por ejemplo, nutrientes, dióxido de carbono, metano). Desafortunadamente, los inventarios de emisiones de contaminantes antropogénicos a menudo no los comparan con los flujos naturales, lo que puede dar lugar a respuestas inapropiadas. Las presiones derivadas del hombre interactúan ahora de manera generalizada con los procesos naturales. Los "impactos ambientales" simples y directos están siendo suplantados por redes más complicadas de impactos interactivos y acumulativos. Los fenómenos que antes se consideraban "actos de la naturaleza" ahora se entienden mejor como causados, o al menos exacerbados, por las actividades humanas. Se evaluarán todas las presiones directas, y luego se distinguirá entre sus fuentes (y escalas relativas), en una cadena causal poco rígida desde presiones subyacentes (de origen puramente humano) hasta presiones indirectas (una mezcla de actividades humanas y procesos naturales), que a su vez causan o contribuyen a las presiones directas:

- Las presiones sociales subyacentes son las fuerzas sociales y tecnológicas que motivan o impulsan las actividades humanas, que a su vez causan presiones biofísicas directas sobre el medio ambiente. Por ejemplo, el crecimiento de la población humana, la estructura social, los cambios tecnológicos, las actitudes culturales y las políticas básicas que impulsan la actividad económica.
- Las presiones indirectas son las actividades humanas (principalmente actividades económicas, como la agricultura, la minería, la industria manufacturera, el transporte, el consumo de los individuos y los hogares) relacionadas con el sustento humano o la mejora del bienestar humano, además de los procesos y factores naturales (por ejemplo, los ciclos de la población y los nutrientes, los fenómenos meteorológicos, los terremotos, las erupciones volcánicas, etc.), muchos de los cuales interactúan con las presiones humanas y algunos de los cuales actúan por sí solos para crear presiones biofísicas directas sobre el medio ambiente.
- Las presiones directas son las entradas y salidas biofísicas reales que pueden ejercer una presión inmediata sobre los ecosistemas. Estos incluyen emisiones de contaminantes antropogénicos, cosecha y extracción de recursos, cambios en el uso de la tierra e introducción de especies.

4.4.1.2.2 Estado del medio ambiente

La categoría Estado del Medio Ambiente se ocupa de las condiciones ambientales físicas, químicas, biológicas y ecológicas; los cambios en la composición, estructura y función de los ecosistemas a diversas escalas espaciales y temporales; la salud humana; y el bienestar

relacionado con el medio ambiente. Hay varias maneras de subcategorizar a los Estados, por ejemplo:

- por escalas espaciales anidadas (ecosistemas locales, regionales y globales), además de la salud humana y el bienestar del medio ambiente;
- por funciones o variables biológicas, químicas, físicas y ecológicas.

Los ecosistemas se caracterizan por interacciones complejas y relaciones de retroalimentación entre una multitud de potenciales estresantes y receptores en una amplia gama de escalas espaciales y temporales. Los ecosistemas y sus funciones pueden ser vistos de manera jerárquica, lo que significa que los procesos que operan a mayor escala tienden a controlar o restringir a aquellos a menor escala (Urban et al 1987, O'Neill et al 1989). Además, mientras que algunas propiedades a gran escala de los ecosistemas pueden tratarse simplemente como una agregación de sus componentes, otras sólo surgen de las interacciones de los componentes o procesos.

Es la preocupación por los cambios o los efectos en los "Atributos Ambientales Valorados" lo que, en última instancia, impulsa la toma de decisiones ambientales. Los Atributos Ambientales Valorados se refieren a aquellos aspectos de los ecosistemas (y de la salud humana y el bienestar relacionado con el medio ambiente, que son considerados por la sociedad como importantes y potencialmente en riesgo por las actividades humanas y/o las amenazas naturales. Es importante señalar que el valor social de los ecosistemas no puede determinarse únicamente sobre la base de la preferencia del público, ya que muchas personas pueden desconocer el valor que en última instancia se deriva de los servicios de los ecosistemas. Con el tiempo, el número de atributos ecológicos considerados esenciales para mantener la viabilidad y estabilidad de la biosfera (y, por lo tanto, de las economías y culturas) ha seguido aumentando.

Los Atributos Ambientales Valorados pueden variar desde especies individuales valiosas, a funciones a escala de paisaje (por ejemplo, hidrología de los sistemas de humedales), hasta características a escala mundial (por ejemplo, la capacidad de la capa de ozono estratosférica para filtrar la radiación ultravioleta). El desarrollo de un sistema de información debe comenzar con un esfuerzo exhaustivo para identificar los atributos ambientales vulnerables, seguido de indicadores para ellos.

4.4.1.2.3 Respuestas de la sociedad al cambio ambiental

Las respuestas de la sociedad se definen como acciones intencionadas para abordar los cambios o impactos ecológicos, de salud humana o de bienestar observados o pronosticados que se consideran indeseables. Las acciones pueden ser voluntarias, legalmente obligatorias o impulsadas por incentivos, y pueden estar dirigidas a la limpieza, mitigación, restauración, prevención o adaptación. La categoría de respuesta de la sociedad puede subdividirse por tipo de entidad/actor que realiza la respuesta:

- Acciones gubernamentales, incluyendo: legislación ambiental, cambios en políticas fiscales/económicas, regulaciones, monitoreo, etc.
- Actividades del sector privado, incluyendo: rediseño de productos y procesos, tratamiento y eliminación de residuos, esfuerzos de limpieza, cambios en las tecnologías utilizadas.
- Actitudes y acciones de los individuos/hogares, incluyendo: cambios en los patrones de consumo, reciclaje, contribuciones a las ONG, etc.
- Esfuerzos de cooperación, incluyendo: investigación, educación, comisiones de planificación del uso de la tierra, asociaciones público-privadas, acuerdos internacionales, etc.

4.4.1.2.4 Efectos: Relaciones entre Presiones, Estados y/o Respuestas

Los indicadores de efectos se refieren a las relaciones atribuidas entre dos o más variables dentro de cualquiera de las categorías Presión-Estado-Respuesta. Se basan en modelos y análisis que proporcionan evidencia plausible de un vínculo entre un problema, causas potenciales y/o soluciones. En principio, los indicadores de este tipo deberían proporcionar un grado de certeza relativamente mayor que los indicadores Presión-Estado-Respuesta sobre lo que está sucediendo, por qué y/o qué respuestas sociales podrían ser más apropiadas. Entre los tipos más importantes de efectos se encuentran los siguientes:

- Efectos de las Presiones Subyacentes en las Actividades Humanas (Presiones Indirectas). Por ejemplo, los efectos del crecimiento demográfico en el sector energético.
- Efectos de las actividades humanas (presiones indirectas) en los niveles de estrés biofísico (presiones directas). Por ejemplo: Emisiones de CFC asociadas con el uso y reparación de acondicionadores de aire para automóviles.
- Efectos Ecológicos (de Presiones o Respuestas sobre el Estado). Por ejemplo, los efectos de: Liberaciones de CFC en el ozono estratosférico, introducción de especies exóticas en la biodiversidad nativa, plantas de tratamiento de aguas residuales en la calidad del agua, regulación del plomo en el combustible en la exposición pública.
- Impactos en la salud humana. Por ejemplo: incidencia de cáncer de pulmón asociado con la exposición al radón; grado de retraso mental debido a la exposición al plomo en la infancia.
- Impactos en el bienestar humano. Por ejemplo: costos económicos y de otro tipo de los brotes de especies exóticas como los mejillones cebrá en la acuicultura, el transporte marítimo, la recreación y la generación de energía; valores estéticos y espirituales asociados con la preservación de las áreas silvestres.

4.4.1.3 *Definición del Sistema Ambiental en Bahía Algodonales*

Un sistema ambiental es un conjunto de “modelos y métodos para una cuantificación integrada y representación de flujos de materiales y energía en diferentes subsistemas de

la naturaleza y sociedad y la evaluación de la sostenibilidad futura de distintas alternativas de acción”. En este contexto, Bahía Algodonales constituye un sistema ambiental, el que está conformado por aquellas entidades o conjunto de ellas que se relacionan a los problemas ambientales en estudio.

Esto resulta en un sistema complejo, donde se establecen numerosas relaciones de distintos tipos entre los componentes y para cada uno de ellos, se pueden definir modelos conceptuales o numéricos específicos, que forman parte del sistema ambiental. Así los componentes son estructuras que pueden describirse con varios modelos y varios conjuntos de parámetros, dentro de un modelo más amplio. Las variables que relacionan los componentes pueden ser muy distintas, como por ejemplo; flujos de materiales, datos de concentración de un elemento o temperatura del agua de refrigeración en las descargas al océano, regulaciones de la autoridad ambiental, interés de la población local por definir niveles aceptables de un elemento o compuesto en organismos o bien en alimentos, información de operación de las actividades de servicios y de producción, normativas por variables de elementos potencialmente contaminantes, entre otras.

Para definir el sistema ambiental se utilizó el criterio estructurador “Flujos de energía y materiales” potencialmente contaminantes (materia orgánica, metales u otros materiales) que pueden impactar o impactan a distintos componentes de la naturaleza. El sistema ambiental resultante de las relaciones que se definen posee características únicas y presenta los siguientes componentes: i) Complejo industrial de Tocopilla que realiza las principales actividades de servicios y de producción, esto incluye materiales acumulados por actividades pasadas, indicadas en las bases de licitación como pasivos ambientales; ii) Institucionalidad Ambiental que norma jurídicamente las relaciones de las industrias y procesos productivos con el medio ambiente y fiscaliza su cumplimiento; iii) Población Local incluyendo a sus autoridades y asociaciones de trabajadores ; iv) actividades no industriales de la ciudad relacionadas al uso del borde costero por la población de Tocopilla iv) Ecosistemas Marinos de la Bahía Algodonales.

4.4.1.4 Calificación del Estado del Medio Ambiente (Hyde 2011)

La forma de presentar la información considerará el enfoque práctico abordado por Hyde (2011) para determinar la salud de los ecosistemas asociados a las áreas marinas protegidas (AMP) de América del Norte. El enfoque consiste en la transformación de una gran cantidad de información ecológica compleja, en una escala cualitativa con enunciados concisos y fáciles de entender para los componentes humanos del sistema ambiental.

Establecer una referencia inicial estándar para la evaluación de condiciones y tendencias es esencial, pues permite tener un marco uniforme a escala local. Para los efectos de este enfoque, definiremos la referencia en base a la serie de tiempo de información ambiental organizada y analizada en función del marco conceptual recomendado por la EPA. Esta información será obtenida en el proceso de recopilación, sistematización y análisis de la información existente del sistema ambiental Bahía Algodonales, proveniente de proyectos que hayan sido ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en el área de estudio, monitoreos realizados por la autoridad, privados, universidades, centros de investigación, además de los datos de la primera campaña de monitoreo integrado desarrollado por CEA en el marco del presente estudio.

La información ambiental organizada y analizada en función del marco conceptual recomendado por la EPA será información ecológica compleja y de índole técnica. Ante este escenario, surge la necesidad de resumir esta cantidad de información en enunciados concisos y fáciles de entender que se puedan plasmar sin dificultad en formato impreso o electrónico para su amplia divulgación entre el componente humano del sistema ambiental Bahía Algodonales.

En este contexto, se elaborará una ficha de evaluación ecológica marina como un recurso visual en el que se resumen las condiciones de tres elementos fundamentales: agua, hábitat y recursos biológicos. Las fichas de evaluación ecológica se basan en 12 preguntas estandarizadas sobre estos tres elementos (Figura 4.4-3). Para responder estas preguntas se usan dos tipos de calificación: uno se refiere a la condición actual y otro a las tendencias previstas. En el primer caso, un índice de cinco puntos codificado por colores describe el estado (o la situación) actual del sitio (Figura 4.4-4), es decir, sus condiciones en el presente, calificándolo de acuerdo con una escala que va de crítico (lo peor que podría estar) a superior (lo mejor que podría estar), o bien sin determinar, cuando no es posible emitir un dictamen. La otra escala de calificación se refiere a las tendencias recientes en las condiciones y consta de cinco puntos (Figura 4.4-5) que van desde en rápida mejoría hasta en rápido deterioro (probablemente se alcance un estado distinto en cinco años), pasando por estable (es poco probable que sufra cambios más allá de la variación normal), o bien sin determinar, cuando no hay suficiente información para permitir una evaluación. Las tendencias se representarán con símbolos (descritos más adelante). Basadas en los datos recabados y en otra información disponible, incluida la referencia inicial definida para el sistema ambiental, las calificaciones representan el consenso del equipo de trabajo del

Centro de Ecología Aplicada y la contraparte técnica participantes en el proceso de evaluación ecológica y los parámetros ambientales registrados reflejan los elementos centrales del funcionamiento, o la salud del ecosistema en función del análisis realizado en acuerdo con el marco conceptual propuesto por la EPA.

El detalle de las preguntas y sus enunciados se presenta en el Anexo 20181030_Hyde2011

 <p>Agua</p>	1	¿En qué medida influyen las actividades humanas en la calidad y los flujos del agua, y cuáles son los cambios que se observan?
	2	¿Hasta qué punto las alteraciones en las cargas de nutrientes afectan la salud de los ecosistemas, y cómo están cambiando tales cargas?
	3	¿En qué medida las condiciones del agua suponen un riesgo para la salud humana, y qué cambios se registran en tales condiciones?
 <p>Hábitat</p>	4	¿En qué medida influyen las actividades humanas en la extensión y calidad del hábitat, y cuáles son los cambios que se observan?
	5	¿Hasta qué punto los contaminantes presentes en el hábitat o en la red trófica afectan los recursos biológicos o la calidad del agua, y qué cambios presentan éstos?
	6	¿En qué medida la alteración de hábitats —incluidas modificaciones en la extensión y distribución de los principales tipos de hábitat— afecta la salud de los ecosistemas, y qué cambios se registran en tal alteración?
 <p>Recursos biológicos</p>	7	¿En qué medida influyen las actividades humanas en la calidad de los recursos biológicos, y cuáles son los cambios que se observan?
	8	¿Cuál es el estado que guarda la biodiversidad y cómo está cambiando?
	9	¿Cuál es el estado que guardan las especies explotadas y cómo está cambiando?
	10	¿Cuáles son el estado y las condiciones de las especies clave, y qué cambios presentan?
	11	¿Cuáles son el estado y las condiciones de las especies en riesgo, y qué cambios presentan?
	12	¿Cuál es el estado que guardan las especies exóticas y qué cambios presentan?

Figura 4.4-3 Preguntas de la ficha de evaluación ecológica marina.

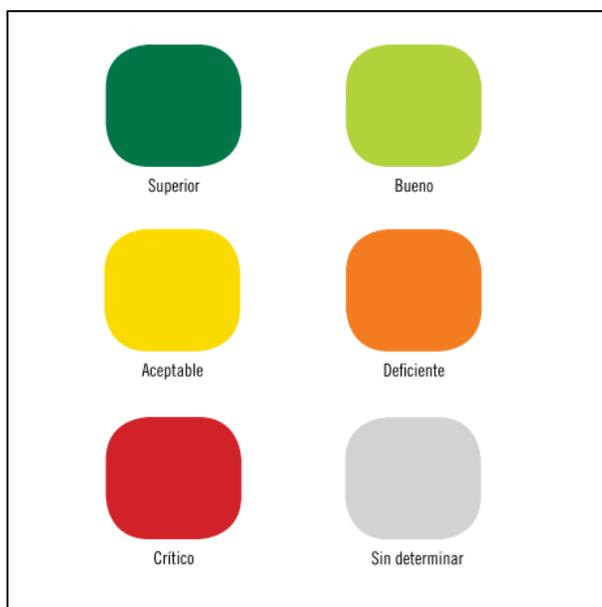


Figura 4.4-4 Código de colores para calificar el estado actual de las condiciones ecológicas.

Enunciado sobre la tendencia	Calificación
<p>Aparentemente las condiciones están cambiando a un ritmo que conducirá a un mejor estado en cinco años.</p>	 En rápida mejoría
<p>Las condiciones están mejorando.</p>	 En mejoría
<p>Dentro de los límites de la variación normal, no se prevén cambios sistemáticos debido a fuentes antropogénicas o de otra índole.</p>	 Estable
<p>Las condiciones están empeorando.</p>	 En deterioro
<p>Aparentemente las condiciones están cambiando a un ritmo que conducirá a un deterioro del estado actual en cinco años.</p>	 En rápido deterioro
<p>No hay suficiente información para establecer una tendencia fundamentada, o los datos de que se dispone son muy variables y no puede distinguirse una tendencia.</p>	 Sin determinar

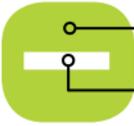
	<p>Bueno (estado)</p>		<p>Crítico (estado)</p>
<p>Estable (tendencia)</p>		<p>En deterioro (tendencia)</p>	

Figura 4.4-5 Enunciados estandarizados para describir las tendencias

4.5 Objetivo Específico 5 (OE-5)

OE-5: Elaborar una cartera de proyectos que permita abordar las eventuales problemáticas ambientales que el estudio detecte

4.5.1 Metodología de elaboración

Para la elaboración de la cartera de proyectos, se considerará la metodología de árbol de problemas, utilizada por el Sistema Nacional de Inversiones para la presentación de programas, proyectos y estudios.

Para la determinación del árbol de problemas, se realizará un análisis de entorno utilizando una Matriz PESTAL y un análisis de actores.

4.5.2 Matriz PESTAL

4.5.2.1 Descripción

El éxito de un proyecto depende del grado de control que se ejerza sobre las variables del entorno que afectan su ejecución. De esta forma, el análisis de un conjunto de variables socioeconómicas, políticas, culturales, tecnológicas e institucionales ayuda a definir estrategias innovadoras que tomen en cuenta las potencialidades y restricciones de su acción.

La Matriz PESTAL, permite caracterizar el entorno donde se desarrollará el programa o el proyecto, y definir el tipo de estrategia y comportamiento innovador de quienes lo ejecutarán. Además, sirve para la comprensión amplia del contexto donde se ejecutará el programa o proyecto, permitiendo identificar factores, problemas o nudos críticos, que determinan el éxito o fracaso de una acción.

4.5.2.2 Contexto general

La Región de Antofagasta presenta una superficie regional aproximada de 500 kilómetros de longitud, y abarca un área de 126.049,1 kilómetros cuadrados, equivalentes al 16,7% del territorio nacional, divididas en las provincias de Antofagasta, El Loa y Tocopilla. Según el Censo 2017¹, cuenta con una población de 607.534 habitantes (315.014 hombres y 292.520 mujeres). La principal actividad productiva de la región es la minería, aportando cerca del 50% del PIB regional. A la actividad minera le siguen en importancia regional las actividades de construcción; con un aporte del 13%, duplicando la importancia relativa que este sector posee a nivel nacional, y los servicios financieros y empresariales; con un aporte a la actividad de la región del 12%².

¹ www.censo2017.cl.

² Reportes estadísticos distritales 2017. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

4.5.2.3 Factores PESTAL

A partir de información secundaria y primaria, esta última recopilada a través de talleres realizados en el marco del estudio, se detallan los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que han sido identificados por su pertinencia con la problemática de la Bahía Algodonales.

4.5.2.3.1 Factores políticos

Como parte de su planificación territorial, la región cuenta con la **Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020**³, donde se definen las prioridades del territorio. Uno de sus lineamientos es el de "Región Sustentable" proponiendo como acción para ello "proteger el recurso hídrico a través de una eficiente administración, en concordancia con las condiciones regionales de extrema aridez y atendiendo a las presiones que se ejercen sobre su oferta limitada y poco conocida".

Asimismo, la **Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta (2002)**⁴, que define dentro de sus necesidades de acción el "Fomento a la investigación, tanto en temas de la biodiversidad, como de los efectos de la acción humana sobre su desarrollo. Se hace también mención de la necesidad de generar conocimientos nuevos y actualizados de la zona costera y ecosistemas marinos regionales y sistematización de la información existente" y "Elaborar un plan de educación regional sobre protección, conservación y potencialidad de los ecosistemas regionales, dirigido no sólo a estudiantes, sino también a los grupos que explotan los recursos naturales como actividad económica y a las autoridades encargadas de su fiscalización, con el fin de que la comunidad en su conjunto descubra el valor de la biodiversidad.

Complementariamente y a nivel mundial, el Programa de Desarrollo para las Naciones Unidas (PNUD), ha establecido los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**⁵, también conocidos como Objetivos Mundiales, los cuales son un llamado para adoptar medidas que pongan fin a la pobreza, protejan el planeta y garanticen que todas las personas gocen de paz y prosperidad. Dentro de estos objetivos, se encuentra el de "vida submarina", que plantea diversas metas para el mediano plazo relacionadas con la prevención y reducción de la contaminación marina, la gestión y protección sostenible de los ecosistemas marinos y costeros, la conservación de las zonas costeras y marinas y conservación y el uso sostenible de los océanos y sus recursos.

Por otra parte, a nivel nacional se encuentran en fase de implementación distintas políticas públicas tendientes a reducir la contaminación y emisión de gases de efecto invernadero. Dentro de éstas, se encuentra el Plan de descarbonización de la matriz energética "Energía Zero Carbón", el cual busca la transición energética del país a energías limpias y renovables.

³ Gobierno Regional de Antofagasta.

⁴ Comisión Nacional de Medio Ambiente.

⁵ <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Se contempla así, el cierre de 28 centrales termoeléctricas a carbón. De éstas, se considera en una primera fase a ser ejecutada entre 2019 y 2024, el cierre de 1 central en Iquique, 2 en Puchuncaví, 1 en Coronel y 4 en Tocopilla, las que en su conjunto representan el 19% del total de la capacidad de centrales a carbón. Es así como en junio de 2019, se concreta el cierre de las unidades 12 y 13 de Tocopilla, ambas de la empresa Engie con una capacidad instalada de 171 MW y que entraron en servicio en los años 1983 y 1985, respectivamente.

4.5.2.3.2 Factores económicos

La principal actividad económica de la región es la minería y en menor medida el turismo y la actividad agropecuaria.

El área de influencia de la Bahía Algodonales abarca principalmente la comuna de Tocopilla. Las principales actividades productivas desarrolladas en esta zona son la industria termoeléctrica, el puerto Tocopilla, servicios sanitarios y pesca artesanal. Así, al 2013 con 1.254 empresas, de las cuales 924 eran clasificadas como pequeñas⁶.

En general, estas actividades se realizan con bajos estándares ambientales, particularmente aquellas iniciadas de forma previa a la Ley Ambiental (N°19.300).

4.5.2.3.3 Factores sociales

En 2017 el índice de desarrollo humano (IDH) en Chile fue 0,843 puntos, ubicándose en el puesto 44 del ranking a nivel mundial. A nivel nacional, en tanto, la Región de Antofagasta se ubica en el tercer lugar con un IDH de 0,867 puntos al 2017⁷.

La comuna de Tocopilla cuenta con una población total de 25.186 habitantes, de los cuales 12.481 son hombres y 12.705 son mujeres⁸, con una densidad poblacional 6,2 Hab/km². Al 2017, se estima que un 10,4% de la población de Tocopilla se encontraba en situación de pobreza por ingresos, mientras que un 20,1%, se encontraba en situación de pobreza multidimensional⁹(considera las dimensiones educación, salud, trabajo y seguridad social y vivienda¹⁰). Ambas estimaciones resultan inferiores a los promedios nacionales de 12,7% y 26,1%, respectivamente.

⁶ Servicio de Impuestos Internos (SII).

⁷ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. <http://desarrollohumano.cl/>

⁸ Censo 2017.

⁹ Encuesta Casen 2017. Ministerio de Desarrollo Social. Consultado el 10 de junio de 2019 desde http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/indicadores/datos_pobreza_comunal.php.

¹⁰ De acuerdo al Ministerio de Desarrollo Social, un hogar se considera en situación de pobreza multidimensional si presenta un 25% o más de carencias en los indicadores que componen la medida, lo que es equivalente a una dimensión completa.

En términos del promedio de ingreso monetario mensual por hogar¹¹, el promedio de la comuna es de \$685.174, inferior al promedio regional y nacional que es de \$1.043.365 y \$858.987 respectivamente.

Al 2014, la comuna cuenta con 11 establecimientos educacionales, con una matrícula de 5.809 alumnos, principalmente en educación básica. A la misma fecha, existían en la comuna 184 organizaciones sociales y comunitarias¹².

Por otra parte, y dada la importancia del sector pesquero para la economía de la comuna, existen 14 asociaciones sindicales y gremiales ligadas a este sector, agrupando a cerca de 400 trabajadores (buzos mariscadores y pescadores artesanales). Dentro de ellas se encuentran S.T.I. Pescadores Artesanales de Tocopilla, S.T.I. Caleta Urco, S.T.I. Caleta Cobija, S.T.I. Caleta Buena, S.T.I. Punta Átala y la Asociación Gremial Asopesca Tocopilla A.G. la cual agrupa a 8 Sindicatos (Buzomar, Pezmaral, Sinbuymar, Indígena, Punta Arenas, Los Patos, Huachan y Gentemar).

4.5.2.3.4 Factores tecnológicos

En el área de influencia de la Bahía, se encuentra la Central Termoeléctrica Norgener que produce 275,3 MW con las unidades NTO1 y NTO2, mientras que ENGIE, mediante la Central Termoeléctrica Tocopilla, produce 1747,03 MW con las unidades TG1, TG2, TG3, TG3_CP, TG3_CP2, U10, U11, U12, U13, U14, U15, U16, U16_CP y U16_CP2. Considerando ambas producciones, las unidades instaladas producen un total de 2022,33 MW, correspondiendo a un 28,3% de los 7146,993 MW instalados en el SING (Sistema Interconectado del Norte Grande).

Cabe señalar que como parte del Plan “Energía Zero Carbón” en 2019 termina en la comuna la operación 2 centrales a carbón, Tocopilla U12 y Tocopilla U13, ambas de la empresa Engie. Para 2024, se contempla además el cierre de las centrales Tocopilla U14 y Tocopilla U15, también propiedades de Engie.

La comuna cuenta además con el Puerto de Tocopilla, que fue construido en 1987 como una unidad de apoyo a la generación eléctrica de la empresa Electroandina y se ha desarrollado de tal manera que ha pasado a tener un rol relevante dentro de la compañía, transformándose en una unidad de negocio que ofrece servicios integrales de estiba y desestiba, recepción, almacenamiento y despacho de graneles sólidos, graneles líquidos y cargas generales. Posee un muelle mecanizado con un cabezal de 80 metros y un puente de acceso de 200 metros de longitud, apto para el tráfico de camiones. Además, posee un sistema de correas transportadoras de 1.500 metros de longitud, con tolvas de recepción y

¹¹ Encuesta Casen 2015. Ministerio de Desarrollo Social.

¹² Reportes Estadísticos Comunales 2017, Biblioteca del Congreso Nacional.

siete torres de transmisión y existe una red de cañerías para la transferencia de combustibles, ácido sulfúrico y químicos¹³.

Por otra parte, el sistema de alcantarillado de la ciudad de Tocopilla contempla la disposición final de aguas servidas mediante un emisario submarino, el cual se encuentra ubicado en la Bahía Algodonales.

En 2018, en tanto, se aprobó la construcción y desarrollo del proyecto “Planta Desaladora VP”, impulsado por Codelco para el desarrollo de procesos mineros.

En términos de infraestructura para el monitoreo de parámetros ambientales, la Armada dispone de información meteorológica, mediante una estación meteorológica en capitanía de puerto. Existe también una red de monitoreo mediante el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), que obtiene información en las matrices de agua, sedimento y biota desde Caleta Duendes hasta Punta Algodonales. También se realiza levantamiento de información a través de PVA de Norgener y Engie, la que, sin embargo, presenta sesgo de datos, en términos espaciales, en zonas aledañas a instalaciones industriales. En el resto del área de estudio no existe un volumen de información que permita un análisis detallado.

4.5.2.3.5 Factores ambientales

Los problemas de contaminación se asocian con efectos sobre los ecosistemas marinos, principalmente en zonas costeras industriales de esta ciudad, de acuerdo al diagnóstico ambiental de la región efectuado para cada Área de Ordenamiento Ecológico (AOE), contenido en el Plan de Acción Regional Ambiental (P.A.R.A), identificándose cuatro actividades que generan contaminación en la Bahía Algodonales: minería, generación termoeléctrica, reducción de recursos pesqueros y descargas de aguas sanitarias (ESSAN S.A.)¹⁴.

Por otra parte, la contaminación metalogénica por cobre y zinc en las aguas de Tocopilla es el rasgo más sobresaliente desde un punto de vista ambiental, encontrándose que los niveles que se cuantificaron en la matriz acuosa de este cuerpo de agua son los más altos de las aguas marinas monitoreadas a nivel nacional. Los restantes indicadores restantes (nutrientes, aceites y grasas, y coliformes fecales) fueron irrelevantes, ya que los niveles fueron bajos y de escasa variabilidad o bien no fueron detectados¹⁵.

En Tocopilla, existen además pasivos ambientales, producto del desarrollo de las actividades productivas de la comuna, estableciéndose principalmente como amenaza a la biodiversidad la "Contaminación por cenizas de termoeléctricas ubicadas en Tocopilla"¹⁶. En este sentido, además, cabe señalar que existe un acopio de cenizas proveniente de las

¹³ Sistema Portuario de Chile, 2005. Dirección Nacional de Obras Portuarias. Ministerio de Obras Públicas.

¹⁴ Consultoría sobre el Estado del Medio Ambiente Marino de Chile. Directemar, 2010.

¹⁵ Consultoría sobre el Estado del Medio Ambiente Marino de Chile. Directemar, 2010.

¹⁶ Estado y tendencias de la biodiversidad, 2016.

termoeléctricas en la zona norte de la ciudad y producto del aluvión de 2015, estos residuos industriales fueron vertidos al mar. Directemar generó un estudio para conocer las concentraciones presentes en esa zona, tras lo cual se determinó que el parámetro cobre superó los límites establecidos para la protección de la salud humana y los criterios de calidad de agua recomendados para contaminantes tóxicos prioritarios según la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos), encontrando además aluminio, hierro, vanadio arsénico, calcio y cobre en todas las muestras recolectadas del sedimento marino cercano al derrame de ceniza, donde los niveles de los últimos tres compuestos fueron mayores que en la estación de control¹⁷.

Complementariamente y dado que la macrozona centro sur de Tocopilla es la que recibe la mayor parte de los desechos emitidos por las termoeléctricas, el sector conocido como Balneario El Salitre, la cual presenta una playa de color oscuro debido al acarreo de material que ha salido de la emisión de esas chimeneas, se encuentra contaminada por el carboncillo que producen las termoeléctricas en el sector¹⁸.

4.5.2.3.6 Factores legales

La normativa legal que tiene alcance en la Bahía Algodonales corresponde a:

- Ley N° 19.175. Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional, que mandata a los GORES "fomentar y velar por la protección, conservación y mejoramiento del medio ambiente".
- D.S. N°90/00, "Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales". Por lo anterior, este cuerpo normativo tiene por objetivo prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores.
- D.S. W144/2008 MINSEGPRES, el cual establece las normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo.
- Ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, la que establece un marco general de regulación del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.

¹⁷ <http://www.diarioantofagasta.cl/titulares/65039/65039/>

¹⁸ Plan de Desarrollo Comunal de Tocopilla 2013 – 2017.

Tabla 4.5-1: Matriz PESTAL – Bahía Algodonales.

Políticos	Económicos	Sociales	Tecnológicos	Ambientales	Legales
El PNUD ha definido los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), dentro de los cuales se encuentra el de Vida Marina y cuyas metas plantean la reducción de la contaminación de las áreas marinas y costeras, y la conservación de los ecosistemas y de la biodiversidad.	Las principales actividades productivas desarrolladas en la bahía son la industria termoeléctrica, el puerto Tocopilla, servicios sanitarios y pesca artesanal. Parte de estas actividades se realizan con bajos estándares ambientales, particularmente aquellas iniciadas de forma previa a la Ley Ambiental (N°19.300)	La comuna de Tocopilla cuenta con una población total de 25.186 habitantes, de los cuales 12.481 son hombres y 12.705 son mujeres, con una densidad poblacional de la comuna es de 6,2 Hab/km ² .	La Central Termoeléctrica Tocopilla (CTT) es la instalación de generación de energía eléctrica de mayor potencia en el país, con 16 unidades generadoras jugando un papel fundamental en el suministro eléctrico del SING. Dada la implementación del plan de descarbonización, en junio de 2019 se cierran 2 de dichas unidades y se contempla el cierre de 2 más para 2026.	Los problemas de contaminación se asocian con efectos sobre los ecosistemas marinos, principalmente en zonas costeras industriales de esta ciudad, identificándose cuatro actividades que generan contaminación: minería, generación termoeléctrica, reducción de recursos pesqueros y descargas de aguas sanitarias.	Ley N° 19.175. Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional, que mandata a los GORES "fomentar y velar por la protección, conservación y mejoramiento del medio ambiente".
La Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020 de la Región de Antofagasta, tiene dentro de sus lineamientos el de "Región Sustentable" proponiendo como acción para ello proteger el medio ambiente y sus recursos naturales, promoviendo la sustentabilidad del territorio.		De acuerdo a la Encuesta Casen 2017, un 10,4% de la población se encuentra en situación de pobreza por ingresos, mientras que un 20,1%, en situación de pobreza multidimensional. Ambos índices son inferiores al promedio nacional.	En la comuna se ubica el Puerto de Tocopilla, que ofrece servicios de estiba y desestiba, recepción, almacenamiento y despacho de graneles sólidos, graneles líquidos y cargas generales.	Existencia de pasivos ambientales, producto del desarrollo de las actividades productivas de la comuna de Tocopilla.	D.S. N°90/00, "Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales". Por lo anterior, este cuerpo normativo tiene por objetivo prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales, mediante el control de

Políticos	Económicos	Sociales	Tecnológicos	Ambientales	Legales
					contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores.
La Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta (2002), define dentro de sus necesidades de acción el "Fomento a la investigación, tanto en temas de la biodiversidad, como de los efectos de la acción humana sobre su desarrollo.		Al 2014, existían en la comuna 184 organizaciones sociales y comunitarias.	El sistema de alcantarillado de la ciudad de Tocopilla contempla la disposición final de aguas servidas mediante un emisario submarino, el cual se encuentra ubicado en la Bahía Algodonales.	La contaminación metalogénica por cobre y zinc en las aguas de Tocopilla es el rasgo más sobresaliente desde un punto de vista ambiental, encontrándose que los niveles que se cuantificaron en la matriz acuosa de este cuerpo de agua son los más altos de las aguas marinas monitoreadas a nivel nacional.	D.S. W144/2008 MINSEGPRES, el cual establece las normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo.
El Plan de descarbonización de la matriz energética "Energía Zero Carbón" se encuentra en implementación y contempla el cierre de 28 centrales termoeléctricas a carbón, 4 de las cuales se encuentra en Tocopilla y donde 2 de ellas ya fueron cerradas en junio de 2019.		Dada la importancia del sector pesquero para la economía de la comuna, existen 14 asociaciones sindicales y gremiales ligadas a este sector, agrupando a cerca de 400 trabajadores	Para el monitoreo de parámetros ambientales, la Armada dispone de información meteorológica, mediante una estación meteorológica en capitanía de puerto. Existe también una red de monitoreo mediante el Programa de	Se detecta como amenaza a la biodiversidad la "Contaminación de biodiversidad marina por cenizas de termoeléctricas ubicadas en Tocopilla.	Ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, la que establece un marco general de regulación del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.

Políticos	Económicos	Sociales	Tecnológicos	Ambientales	Legales
			Observación del Ambiente Litoral (POAL), que obtiene información en las matrices de agua, sedimento y biota		

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados de fuentes secundarias y talleres realizados en el marco del estudio.

En base a la Matriz PESTAL elaborada, es posible señalar que:

- Existen políticas públicas y planes vigentes, a nivel regional, nacional e internacional, que buscan asegurar la sustentabilidad del medio ambiente en el territorio. De esta forma y a través de estas políticas, se han definido objetivos concretos para reducir la contaminación en las zonas costeras y ecosistemas marinos que deben ser abordados por las entidades públicas y privadas respectivas, mediante la ejecución de acciones específicas.
- La comuna de Tocopilla, zona que pertenece al área de influencia de la Bahía Algodonales, desarrolla actividades ligadas principalmente a la industria termoeléctrica, el puerto Tocopilla, servicios sanitarios y pesca artesanal. Si bien estas actividades se desarrollan de acuerdo a la normativa ambiental vigente, en general las iniciadas de forma previa a la Ley Ambiental se desarrollan con bajos estándares ambientales.
- En esta comuna, existen diversas agrupaciones sindicales y gremiales ligadas al sector pesquero, convocando a cerca de 400 trabajadores. Dada la importancia del sector para el quehacer productivo de la comuna, acciones públicas que se desarrollen en torno a la problemática ambiental, deben considerar la representación de estas agrupaciones siendo una oportunidad para la generación de capital social.
- En la comuna de Tocopilla se encuentra instalada parte importante de la infraestructura termoeléctrica del SING. En este sentido, un hito importante lo constituye el cierre de 2 centrales a carbón de la empresa Engie en 2019 mediante el plan de descarbonización vigente.
- El problema ambiental de la comuna de Tocopilla, está asociado con las actividades productivas desarrolladas en la zona. Así, por ejemplo, existen pasivos ambientales originados por las cenizas de las termoeléctricas que han sido arrastradas al mar producto del aluvión de 2015. Asimismo, existe una elevada concentración de metales pesados producto de la actividad minera realizada décadas atrás y que se suma a las características propias de la Bahía.
- La contaminación de la Bahía constituye por tanto un problema económico productivo, ya que al ser consecuencia de las actividades desarrolladas éstas deberán tomar las medidas de mitigación correspondientes, y junto a ello un riesgo social, ya que las personas que utilizan la Bahía pueden ver afectada su salud debido a la ingesta de alimentos y agua contaminada o por el uso recreacional.
- Complementariamente, la infraestructura tecnológica para el monitoreo de parámetros ambientales que orienten la toma de decisiones en este ámbito, es escaso.

4.5.3 Análisis de involucrados

4.5.3.1 Descripción

Se elabora una matriz de involucrados para determinar Identificar a aquellas personas y organizaciones interesadas en el éxito de la(s) propuestas que serán elaboradas como parte de la cartera; a aquellas que contribuyen o son afectadas por los objetivos de las mismas; y a quienes tienen un poder de influencia sobre los problemas a abordar.

Este análisis contribuye a identificar cuáles grupos y organizaciones están directa o indirectamente involucrados en un problema específico de desarrollo, así como para considerar los intereses, su potencial y limitaciones.

Además, permite definir cuáles grupos apoyarían una determinada estrategia para abordar el problema de desarrollo, así como los grupos que se opondrían a dicha estrategia.

4.5.3.2 Grupos de actores

A través de fuentes primarias y secundarios, se identifican 2 grandes grupos de involucrados: sector público y asociaciones gremiales.

- Servicios Públicos:
 - Gobierno Regional de Antofagasta.
 - Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente
 - Armada de Chile
 - Secretaría Regional Ministerial de Salud
 - Servicio Nacional de Pesca
 - Servicio de Evaluación Ambiental
 - Ilustre Municipalidad de Tocopilla
- Pescadores, Asociaciones gremiales de pescadores artesanales y sus sindicatos.

Complementariamente, forman parte de los involucrados las empresas privadas de la zona, en particular empresas mineras, termoeléctricas y la industria sanitaria. Asimismo, la comunidad y otras organizaciones de la sociedad civil.

Tabla 4.5-2: Matriz de involucrados

Grupos de actores	Intereses	Problemas percibidos	Interés en el proyecto
Sector público	Asegurar el desarrollo productivo, económico y social de la Región de Antofagasta y sus habitantes.	Riesgo de contaminación de la bahía y riesgo potencial a la salud de las personas, producto de las actividades productivas. Elevada concentración de metales pesados principalmente cobre y plomo, en las matrices agua, sedimento y biota. Información insuficiente respecto de la calidad ambiental de la bahía.	Contar con información que evidencie de forma cuantitativa la problemática ambiental de la Bahía, el efecto en las actividades económicas y el riesgo para la salud de las personas.
Pescadores y asociaciones gremiales	Sustentabilidad para el desarrollo de sus actividades económicas.	Contaminación de la Bahía. Efecto negativo en actividades productivas, donde metales pesados han sido encontrados en los productos obligando al cierre de microempresas. Denuncias realizadas no tienen efectos esperados. Muerte de biota en zona específica de la bahía, producto de la descarga de RILES mineros al mar.	Lograr el diseño de instrumentos de gestión ambiental. Lograr que las empresas responsables de la contaminación elaboren planes de mitigación y mejora de la Bahía. Generar acciones concretas para solucionar el problema de contaminación de la Bahía. Comunicar adecuadamente el real riesgo para las personas que implica el consumo de especies contaminadas con metales pesados.

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados de fuentes secundarias y talleres realizados en el marco del estudio.

4.5.4 Árbol de problemas y objetivos

4.5.4.1 Descripción

Esta metodología permite representar el problema logrando entender qué es lo que está ocurriendo (problema principal), por qué está ocurriendo (causas) y que es lo que esto está ocasionando (los efectos o consecuencias).

4.5.4.2 Desarrollo del árbol

En función del análisis de entorno y de involucrados realizado, se define como problema central la “Vulnerabilidad social de los habitantes de la comuna de Tocopilla”. El efecto final de este problema es una disminución de la sostenibilidad productiva, económica y social del territorio, afectando directamente la calidad de vida de sus habitantes.

Este problema, se origina a partir de tres causas basales:

- El desarrollo de las actividades productivas, que generan pasivos ambientales que finalmente deterioran el componente marino de la Bahía.
- Escasa información para la toma de decisiones, en particular aquellas asociadas al impacto ambiental. Producto de ello, las intervenciones realizadas en el medio marino no consideran el funcionamiento de la bahía y cómo ésta se ve afectada por las presiones pasivas generadas por las distintas actividades antrópicas que se llevan a cabo en la Bahía.
- La alta concentración de metales pesados, ocasionada por la acumulación de remanentes en sedimentos marinos dado el uso histórico de actividades como la minería y las características naturales de la Bahía.

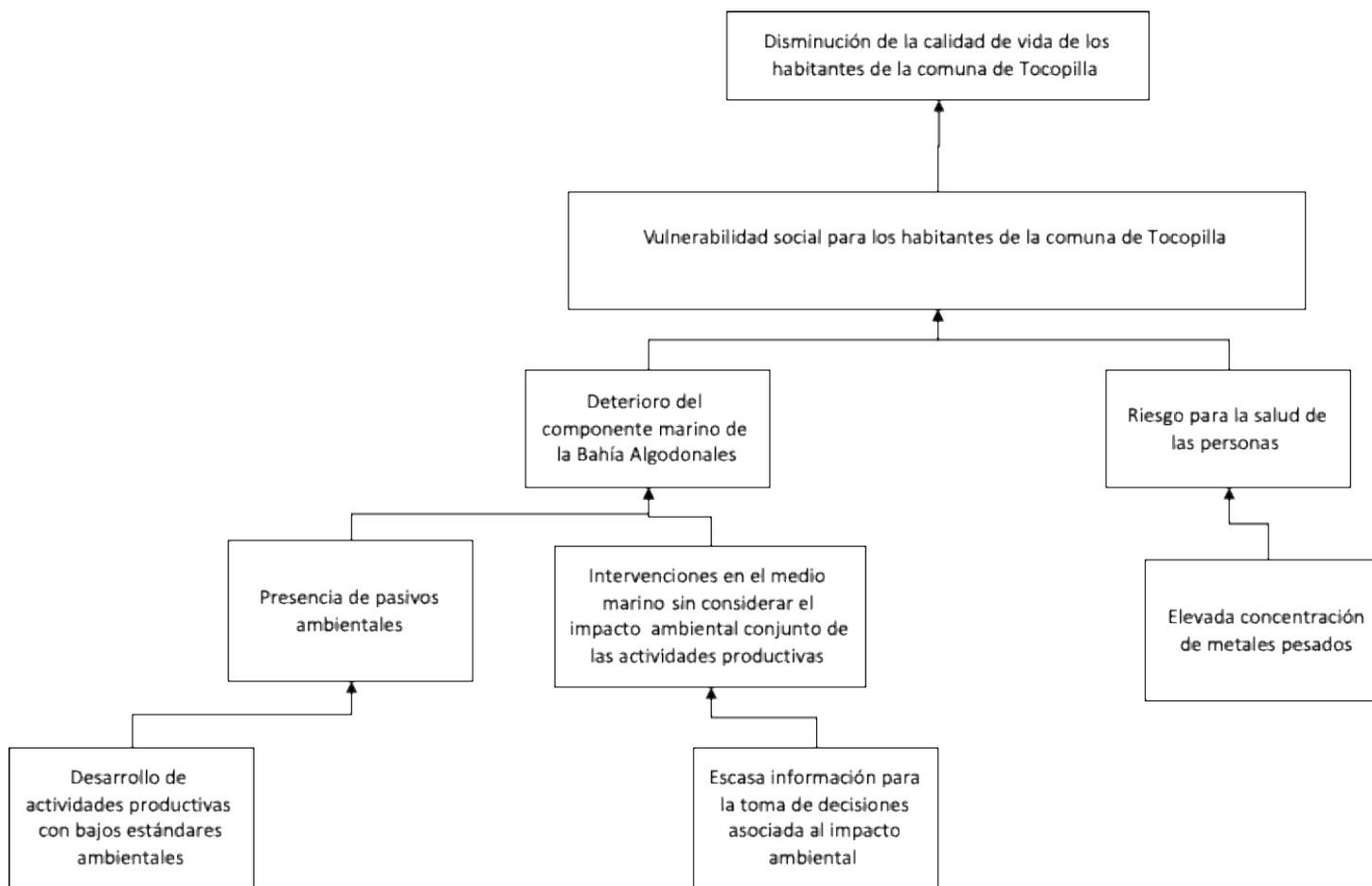


Figura 4.5-1: Árbol de problemas – Bahía Algodonales. Fuente: Elaboración propia en base a análisis de entorno y actores

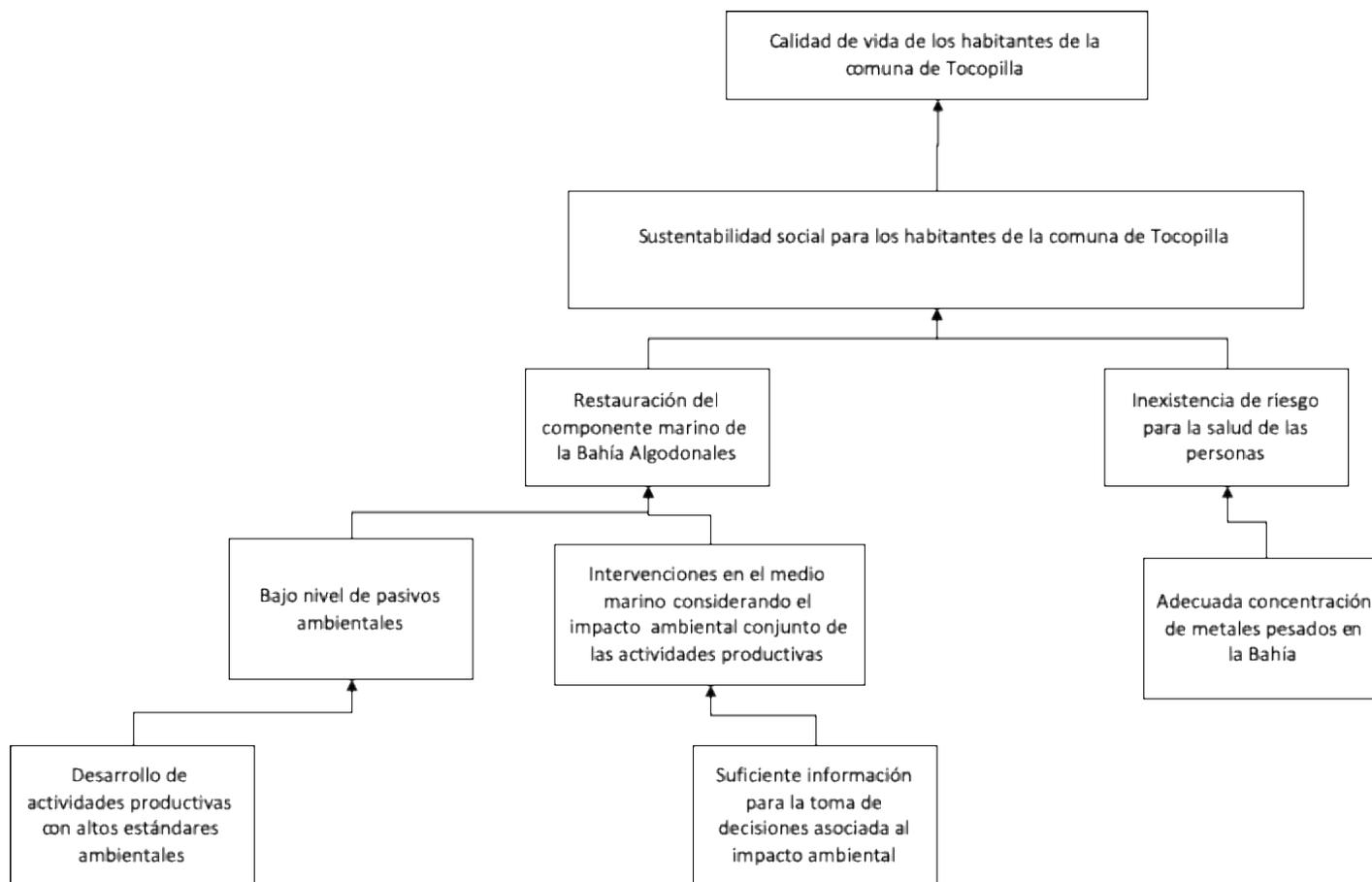


Figura 4.5-2: Árbol de objetivos – Bahía Algodonales. **Fuente:** Elaboración propia en base a árbol de problemas.

En función del árbol de objetivos definido, se proponen las siguientes alternativas de solución para las causas basales identificadas:

Tabla 4.5-3: Alternativas de solución.

Causa	Alternativa de solución
Desarrollo de actividades productivas considerando estándares ambientales.	Generación de normas secundarias o estándares ambientales para la industria minera, termoeléctrica, pesquera y sanitaria.
Elevada concentración de metales pesados producto de la actividad minera	Generación de normas secundarias o estándares ambientales para la industria minera.
Escasa información para la toma de decisiones.	Generación de sistema de detección y control de impactos ambientales.

Fuente: Elaboración propia en base a árbol de problemas y objetivos.

4.6 Objetivo Específico 6 (OE-6)

OE-6: Difundir, a la comunidad y autoridades, las actividades del estudio,

Este objetivo se ha desarrollado de acuerdo con la programación definida en el Plan de trabajo inicial (en Anexos digitales: 2018_08_GOA004_INF_CO_V0A_Plan_Trabajo). Al respecto, se mencionan las actividades de difusión a la comunidad y a las autoridades realizadas hasta la fecha de entrega del informe de avance N.º 2:

- 1) Reunión inicial con el sector de pesca artesanal, ASOPESCA, realizada el día 06-07-2018. Esta reunión tuvo por objetivo informar a los integrantes del gremio sobre el estudio en relación con sus alcances y área de estudio. Adicionalmente, se respondieron dudas y se tomaron en cuenta sugerencias por parte de la autoridad y contraparte técnica con respecto a la primera campaña de monitoreo, de manera tal que la definición del diseño de muestreo favoreciese la participación activa del sector (acta: “2018_07_GOA004_ACTA_REUNION_0” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 2) Presentación del proyecto a actores relevantes: Pesca artesanal (ASOPESCA), realizada el día 18/07/2018, cuyo objetivo fue el de “presentar de manera formal ante los dirigentes de la pesca artesanal del área de estudio en Tocopilla, los alcances del estudio, y acordar con ellos la modalidad de trabajo”. (acta: “2018_07_GOA004_ACTA_REUNION_1” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 3) Presentación del estudio a los servicios públicos, realizada el día 19/07/2018, cuyo objetivo fue el de “presentar de manera formal ante los servicios públicos los alcances del estudio e informar de los acuerdos obtenidos el día anterior con los pescadores artesanales. La instancia constituye la primera reunión de coordinación con los SS. PP.”. (acta: “2018_07_GOA004_ACTA_REUNION_2” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 4) Presentación del estudio a las empresas que se encuentran dentro del área de interés, realizada el día 19/07/2018, cuyo objetivo fue el de presentar los antecedentes y alcances del estudio ambiental al sector industrial. (acta: “2018_07_GOA004_ACTA_REUNION_3” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 5) Diseño de Afiche Informativo, que cumple la función de difundir los antecedentes generales del estudio y su estado de avance a la fecha. Actualmente este producto está siendo distribuido por la Seremi de Medio Ambiente en las distintas comunas de la región de Antofagasta. (Afiche: “2018_10_GOA004_AFICHE_1” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/01_AFICHES”).



Figura 4.6-1: Presentación formal de los antecedentes del estudio a ASOPESCA.



Figura 4.6-2: Presentación formal de antecedentes a Servicios Públicos (SS. PP.).



Figura 4.6-3: Presentación formal de los antecedentes a Sector Industrial.



Figura 4.6-4: Afiche informativo de los antecedentes principales del estudio a la fecha.

- 6) Realización de taller 1, presentación de resultados de informe de avance 1 a ASOPESCA y Municipio, realizado el día 11/12/2018. Acta se adjunta en anexo. (“2018_12_GOA004_ACTA_TALLER1_1” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 7) Realización de taller 1, presentación de resultados de informe de avance 1 a servicios públicos y empresas, realizado el día 13/12/2018. Acta se adjunta en anexo. (“2018_12_GOA004_ACTA_TALLER1_2” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 8) Consulta de lista de especies de interés a pescadores de Tocopilla (STI y ASOPESCA), realizado el día 08/01/2019, con el fin de reconocer las especies de biota marina relevantes para estos actores locales. STI plantea la siguiente lista de especies: **Corbina, pejerrey, jurel, lenguado, piure, pulpo, laá, locate, dorado y cabinsa**. Por su parte, ASOPESCA plantea la siguiente lista: **Bilagallo, tomoyo, lapa, erizo, pejesapo, pejerrey, pulpo, chalaco, borrachilla, loco, baunco y vieja amarga**. (acta: “201901_GOA004_ACTA_ESPECIES_1” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 9) Validar la lista de especies y de agentes contaminantes a monitorear en el estudio, en participación con SERNAPESCA, CEA y SEREMI del medio ambiente, realizada el día 24/01/2019. Se definió un total de 10 especies para los análisis, además de los parámetros a analizar: **hidrocarburos:antraceno, denantreno y naftaleno. Metales: talio, mercurio, molibdeno, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, arsénico, selenio, vanadio, cromo y cadmio**. (acta: “201901_GOA004_ACTA_ESPECIES_2” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 10) Validar la lista de especies y contaminantes a monitorear en el estudio, en participación con SEREMI del medio ambiente, SEREMI de salud, DIRECTEMAR y CEA, realizada el día 31/01/2019. Se definió una lista final de 10 especies para los análisis: **erizo, lapa, lenguado, loco, pejerrey, piure, pulpo, huiro, jaiba peluda y bilagay**. Además, los parámetros a analizar corresponden a: **antraceno, fenantreno y naftaleno (hidrocarburos), y talio, mercurio, molibdeno, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, arsénico, selenio, vanadio, cromo y cadmio en los metales**. (acta: “201901_GOA004_ACTA_ESPECIES_3” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”).
- 11) Realización del taller 2, difundir y dar a conocer entre los estudiantes de escuelas municipalizadas de la ciudad de Tocopilla, los principales impactos ambientales de la contaminación en el medio marino, dándose a conocer el trabajo que se está realizando con el estudio de diagnóstico ambiental de la bahía y los objetivos que persigue. Se adjunta minuta de programación de actividades “2019_04_GOA004_MINUTA_TALLER2” en anexos digitales: “99_ANEXOS_DIGITALES/00_ACTAS”, y acta (“2019_04_GOA004_ACTA_TALLER2”).

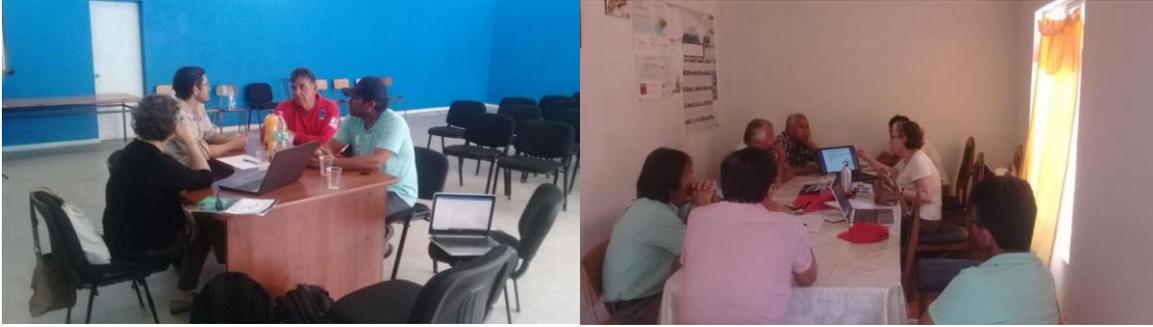


Figura 4.6-5: Reunión para la selección de especies con representantes del STI Tocopilla (panel izquierdo) y representantes de ASOPESCA (panel derecho).



Figura 4.6-6: Taller de presentación de resultados informe de avance1. Presentación en museo regional de Antofagasta (Panel izquierdo), con la participación de empresas y servicios públicos, y presentación en Gobernación provincial de Tocopilla (Panel derecho), con la participación de ASOPESCA.



Figura 4.6-7: Taller de difusión 2, charlas de contaminación marina y presentación de trabajo realizado hasta el momento.

5 CONCLUSIONES

En cuanto a los metales en agua y sedimentos, en general, las aguas del medio marino contienen pequeñas concentraciones de metales (Ahumada et al., 2007) entre otros componentes, sin embargo, la presencia de estos elementos en zonas costeras puede estar derivados del desarrollo industrial y asentamientos urbanos (Castillo and Valdes 2011). Muchos de estos compuestos pueden venir de sólidos suspendidos y sedimentos, pudiendo ser reciclado varias veces en la interfaz agua-sedimento antes de ser retenidos definitivamente (Santschi et al. 1990).

Debido a las características fisicoquímicas del medio marino, los efectos de descargas de contaminantes con metales pueden tener menor severidad que en aguas dulces ya que la alta capacidad buffer del medio neutraliza los ácidos y bases, y la presencia de electrolitos crea posibilidades de floculación y posterior sedimentación (Waldichuk 1974).

Al analizar las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en la columna de agua de la bahía, puede distinguirse algunas tendencias, una de ellas es la observada en las fracciones totales del Cobre, Cromo y Zinc, los cuales presentan una tendencia clara de disminución con valores que descienden gradualmente desde el inicio del periodo histórico estudiado hasta los promedios mínimos anuales durante los últimos monitoreos.

Del análisis histórico se destaca, además, un periodo entre 2006 y 2011 durante el cual, con la excepción de los máximos anuales de las fracciones disueltas de Mercurio, Cromo y Zinc, se observa en términos generales los menores valores de concentración para la mayoría de los metales. Por otra parte, los metales Plomo y Cadmio registraron durante 2000-2002 sus concentraciones totales máximas en cuanto a promedio anual se refieren. Asimismo, durante el periodo 2013-2017 se observan las mayores concentraciones disueltas de Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo; y totales de Níquel y Vanadio

De los metales estudiados destacan el Níquel y Vanadio por no estar presentes de manera natural en los sedimentos marinos costeros (Valdés et al., 2005; Valdés, 2012), las evidencias sugieren que la presencia de estos metales en los sedimentos se explicaría, al menos en parte, por la actividad de plantas termoeléctricas que utilizan “petcoke” como fuente energética (Valdés et al., 2005; Valdés, 2012), debido a que este metal es un constituyente importante de ese tipo de carbón (Chen & Lu, 2007).

Por otra parte, Zinc y Cobre si forman parte de los ecosistemas costeros, aunque en el caso del primero hay registros nacionales históricos en bahías de Chile con diferentes grados de industrialización donde se han medido valores de hasta 1600 mg kg⁻¹, producto de la depositación histórica de desechos de la minería de cobre directamente en la zona costera (Ramírez et al., 2005).

En cuanto al Zinc, este puede entrar al ambiente acuático como resultado de actividades industriales, descargas de efluentes y escorrentía superficial (Boxall et al., 2000).

Particularmente en zonas portuarias donde se realizan actividades de embarque de minerales de Zn, es común encontrar niveles altos de este metal en los sedimentos de fondo (Calderón & Valdés, 2012).

Por otro lado, el Plomo se encuentra en la corteza terrestre en una concentración media y al igual que el suelo en los ambientes continentales, y los sedimentos de los ambientes acuáticos son la principal matriz de depositación de este metal (Alagarsamy, 2006). Por tal motivo, las altas concentraciones de Pb en los ambientes marinos, por lo general sugieren un impacto de la actividad antrópica. Sin embargo, se requieren más estudios que permitan determinar las causas específicas que explicarían la presencia de este metal en los sedimentos de estas bahías.

Pese a lo anterior, es necesario señalar también que las fuentes atmosféricas de metales son cada vez más estudiadas debido a que se ha observado una clara correlación entre el grado de desarrollo industrial de determinadas zonas y el contenido de metales en el material particulado atmosférico (Zhang et al., 2007).

Por otra parte, también en las bahías industrializadas ocurre otro aporte de metales como el proveniente de las faenas propias de la actividad acuícola (uso de combustibles en las embarcaciones, uso de pinturas en los sistemas de cultivo, uso de estructuras metálicas, etc.) pueden influir, en un grado no determinado, en el patrón de distribución de los metales estudiados. Por ejemplo, diferentes complejos hidrofóbicos de Cu y Zn son comúnmente utilizados en pinturas biocidas destinadas a cultivos marinos y mantención de embarcaciones (Turley et al., 2000; Parks et al., 2010).

Finalmente, es necesario señalar en respuesta a aumentos estacionales de concentraciones de algunos elementos, que, en esta zona, al igual que otros sectores costeros de la zona norte, existe un aporte esporádico de agua de lluvia asociado a escorrentía superficial producida durante eventos El Niño (Vargas et al., 2000), que sería una fuente secundaria de aporte de material litogénico (y metales) a estas bahías.

Al realizar el análisis en cuanto a las concentraciones normadas para metales en columna de agua en base a los cuerpos normativos estudiados, se observa que del total de registros históricos, los metales Cadmio, Cobre y Plomo en sus fracciones disueltas registran un alto porcentaje de excedencia en algunos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada, de las cuales destaca la norma para Australia y Nueva Zelanda (2000), la cual es superada por todos los metales que norma, en mayor proporción por Cadmio (>49%), Cobre (>89%) y Plomo (>49%). Es notable que en términos promedio un 48% de los registros de Cobre en la columna de agua estuvieron por sobre los máximos sugeridos, entre un 13% y 89% por sobre los límites menos y más restrictivos, respectivamente. También cabe destacar que, en cuanto a la normativa nacional, los metales que norma no presentan registros que excedan en límite máximo permitido. Asimismo, cabe señalar que las fracciones disueltas de los metales Arsénico y Selenio no registraron valores que excedieran los umbrales de ninguna norma analizada.

Al analizar las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en los sedimentos submareales de la bahía, puede distinguirse una tendencia observada para el Cobre, Cromo, Plomo, Zinc y un tanto menos marcado para Mercurio, en estos casos se observa que a lo largo del periodo en estudio las concentraciones promedio anuales han disminuido gradualmente desde los valores mayores en la década de los 90 hasta los registros mínimos actuales en las campañas 2017-2018. Además, destacan el Arsénico por registrar sus mayores valores en los últimos años del periodo y el Vanadio por presentar su mayor valor en el último año. Por otra parte, las concentraciones del Cadmio no presentan una tendencia clara, más bien, periodos alternados entre registros medios y bajos.

En cuanto a las concentraciones normadas para metales en sedimentos, se observa que, del total de registros históricos, solo Arsénico y Cobre registran un alto porcentaje de excedencia en términos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada de Persaud (1993), MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG de Australia y Nueva Zelanda (2002). Es notable que en términos promedio un 81% de los registros de Cobre en sedimentos estuvo por sobre los máximos sugeridos, entre un 69% y 97% por sobre los límites menos y más restrictivos, respectivamente. En el caso del Arsénico en los sedimentos, los resultados indican que entre un 21% y un 69% de los registros históricos analizados estuvieron por sobre los máximos sugeridos, considerando las normas más y menos permisiva respectivamente, esto da como promedio un 46% de excedencia. Los otros metales presentan valores promedio menores, siendo los valores promedio más bajos de excedencia los del Mercurio, Níquel y Plomo, en ese orden.

En Bahía Algodonales se cuenta con información del contenido de metales en organismos marinos, al menos para una especie, y ésta corresponde a *Perumytilus purpuratus* (Chorito maico). La fuente de información corresponde al Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), perteneciente a la DIRECTEMAR. Para la mayoría de los metales analizados se cuenta con una serie de tiempo desde el año 1993 hasta el año 2017, el diseño de muestreo restringe la distribución de los puntos de muestreo al interior de la bahía Algodonales, presentando un mayor esfuerzo de muestreo en el sector norte (Toponimos POAL: Caleta Duendes, Punta Duendes, Pesquera Eperva y Pesquera Guanaye).

El metaloide arsénico y los metales cadmio, cobre, plomo y zinc presentan periodos de tiempo en donde han superado, al menos una, de las referencias nacionales y/o internacionales utilizadas en este análisis. En el caso del arsénico, cadmio y cobre, este patrón ha sido sostenido en el tiempo, incluyendo los últimos 3 años de muestreo (2015-2017) y espacialmente explícitos en los sectores denominados por el POAL como “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva” al norte de la bahía.

En el caso de los metales cromo, mercurio, plomo y zinc este patrón estuvo acotado en el tiempo entre los años 1993 y 2001 y espacialmente explícito en los sectores denominados por el POAL como “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva” al norte de la bahía. En los

últimos años de monitoreo se han registrado concentraciones menores a los límites establecidos por las referencias respectivas para cada metal.

De los resultados del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, se posible indicar que las emisiones hídricas son en su mayoría provenientes de las dos centrales termoeléctricas: Central Térmica Tocopilla y Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla. Se ha concluido que los elementos que deben ser estudiados más a fondo, en función de las mayores cargas másicas, son, en el caso de metales y metaloides: el boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente; nutrientes: sulfato y nitrógeno total Kjeldahl; parámetros físicos: sólidos suspendidos totales; otros parámetros de interés ambiental: hidrocarburos, fluoruros, índice de fenol y sulfuros.

Es importante señalar además que muchos de los agentes que está emitiendo la industria de generación eléctrica no guardan relación a sus procesos unitarios, por lo que se es posible que el origen de estos elementos sean las mismas aguas marinas o el sedimento, lo que a través de los procesos de succión, y un efecto combinado a resuspensión de material de fondo (oleaje, marejadas) puedan incorporar elementos a la columna de agua, los que son tomados por las tuberías de captación de las termoeléctricas, para luego ser eliminados al medio marino.

En cuanto a los resultados de calidad química en las matrices de agua y sedimentos, en las campañas de invierno 2018 y verano 2019, las aguas de la bahía Algodonales presentaron un pH moderadamente alcalino (Hounslow, 1995) en todos los sectores y estratos. Los niveles de oxígeno disuelto fueron mayores en la superficie y disminuyeron proporcional a la profundidad. Los valores de potencial redox indican procesos que favorecen las reacciones de oxidación y las temperaturas variaron de acuerdo a la estacionalidad climática. Respecto a los metales, las mayores concentraciones correspondieron al vanadio y molibdeno, durante invierno 2018, y de arsénico, zinc, hierro y molibdeno para verano 2019. De los resultados del análisis químico de sedimentos en Bahía Algodonales se observaron altas concentraciones de hierro, cobre, molibdeno, arsénico y vanadio, principalmente en los puntos de muestreo cercanos a caleta duendes, playa camping y norgener. La granulometría en estos sectores fue arena fina a muy fina, indicando un menor flujo de energía en comparación al resto de los puntos de monitoreo y que implica condiciones que favorecen la depositación y acumulación de partículas de menor tamaño.

De los resultados de Corrientes Eulerianas se desprende la presencia de una corriente predominante NE en la capa superficial de agua (primeros 2 m), que toma una dirección predominante S en las capas medias y de fondo de la columna de agua. La componente E tiene variaciones W-E desde los 2 m desde la capa superficial hacia el fondo marino. Así, se destaca un flujo S en dirección hacia las descargas de las Centrales Nueva Tocopilla y Tocopilla. Esta corriente puede generar una mayor depositación de material suspendido en la zona aledaña a la descarga de la Central Nueva Tocopilla, al generar una corriente que tiende hacia la línea de costa de la Bahía. Además, es importante mencionar que las

trayectorias DVP obtenidas para todas las capas estudiadas, arrojaron una trayectoria tal que una partícula tendería a tocar tierra con las magnitudes de velocidad registradas.

Los resultados del análisis realizado de corrientes lagrangianas en cuadratura concuerdan con lo descrito anteriormente, mostrando que los derivadores a 0 m y 5 m de profundidad (capa superficial) toman una trayectoria Sur-Norte tanto en vaciante como llenante. Para la componente de sicigia se tiene un comportamiento distinto al presentar una corriente superficial S-W que sigue la forma de la bahía Algodonales.

En el análisis cualitativo de fitoplancton se registró la presencia de un total de 59 taxa en la campaña de invierno 2018 y de 33 taxa en la campaña de verano 2019. En invierno las mayores abundancias correspondieron a diatomeas (e.g *Chaetoceros* spp.), mientras que en verano dominaron los dinoflagelados (e.g *Tripos fusus*). A su vez, el ictioplancton registró una riqueza total de 8 taxa en invierno 2018 y de 2 taxa en verano 2019. En ambas campañas se registraron mayoritariamente huevos y las mayores abundancias se asocian al punto de muestreo TOC-5. La Anchoqueta, el Baúnco y el Mote, en general, dominaron en ambas campañas. Por otro lado, los ensambles de macroinfauna submareal prospectados estuvieron constituidos en total por 19 grupos taxonómicos en invierno 2018 y de 28 grupos taxonómicos en verano 2019. Con relación a las abundancias relativas estimadas en los ensambles prospectados, en ambas campañas dominaron los poliquetos de la familia Hesionidae y del género *Nephtys* sp. Por otra parte, los ensambles de macroinfauna intermareal estuvieron constituidos en total por 8 grupos taxonómicos en invierno 2018 y 6 grupos taxonómicos en verano 2019, donde los gusanos poliquetos presentaron la mayor distribución y abundancia en el área de estudio.

En cuanto a la composición de taxa en el meroplancton, indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios en el extremo sur (TOC-7 y TOC-6) del área de estudio. En el extremo norte se caracteriza por presentar mayores proporciones de larvas de bivalvos y poliquetos (TOC-1 a TOC-4), mientras que el Holoplancton registró 16 taxa en invierno 2018 y 15 taxa en verano 2019, donde en ambas campañas estuvo compuesto principalmente por Copépodos. Las mayores riquezas se registraron en el sector norte del área de estudio en ambas campañas de muestreo, mientras que las mayores magnitudes de abundancia se registraron en el sector sur del área de estudio.

Con respecto a la evaluación de riesgo a la salud de las personas, desde un punto de vista de salud pública, la Comuna de Tocopilla de la Región de Antofagasta presenta mayor vulnerabilidad que la Bahía de Mejillones, recientemente estudiada. Esto debido a un perfil socioeconómico más deteriorado, y a la presencia de varias fuentes de contaminación que impactan la población, asociada a un uso del territorio en el que las distintas actividades se entremezclan con las zonas residenciales. Los daños a la salud se pueden observar en los indicadores clásicos, tales como la mortalidad general, años de vida perdida y mortalidad infantil que son peores que la región y el país.

6 REFERENCIAS

- Ahumada, R., E. González, V. Medina & A. Rudolph. 2007. Analysis of mayor zinc sources in marine sediments of the estuarine zone in Aysén Fjord, Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 35(2): 5-14.
- Alagarsamy, R. 2006. Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Mandovi estuary, west coast of India. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 67: 333-339
- Aquacien, 2016. Anexo N, Declaración de Impacto Ambiental de Planta Desaladora Tocopilla.
- Arana PM (2012) Recursos Pesqueros del Mar de Chile.
- Arancibia H, Neira S (2005) Long-term changes in the mean trophic level of Central Chile fishery landings *. 69:295–300.
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (2000). Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, Vol. 1.
- Avaria S, Alvial A (1985) La investigación ecológica del fitoplancton marino. *Rev. Biol. Mar.* 21:61–106.
- Ballester B (2017) La delgada línea roja : Sogas de arpón de los últimos cazadores marinos del norte de Chile (1000-1500 dc). doi: 10.5354/0719-1472.2017.46130
- Bertrand A, Barbieri MA, Gerlotto F, et al (2006) Determinism and plasticity of fish schooling behaviour as exemplified by the South Pacific jack mackerel *Trachurus murphyi*. *Mar Ecol Prog Ser* 311:145–156.
- Boxall, A.B.A., S.D. Comber, A.U. Conrad, J. Howcroft & N. Zaman. 2000. Inputs, monitoring and fate modelling of antifouling biocides in UK estuaries. *Mar. Pollut. Bull.*, 40: 898-905.
- Buccolieri A, Buccolieri G, Cardellicchio N, et al (2006) Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Mar Chem* 99:227–235.
- Bumett LE, Stickle WB (2001) Coastal and Estuarine, Studies Coastal Hypoxia: Consequences for living Resources and Ecosystems. p 101–114.
- Calderón, C. & J. Valdés. 2012. Contenido de metales pesados en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge (Antofagasta, 23°05'S), Chile. Una evaluación ambiental. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 47(1): 121-133.
- Camus PA, Andrade YN (1999) Diversidad de comunidades intermareales rocosas del norte de Chile y el efecto potencial de la surgencia costera. *Rev Chil Hist Nat* 72:389–410.

- Carrillo P (2012) Comportamiento Del Oxígeno Disuelto En Dos Estaciones Costeras La Libertad Y Manta, Como Aporte Al Conocimiento Del Fenómeno “El Niño.” Acta Ocean del Pacífico 17:21–29.
- Castillo, A. & J. Valdés. 2011. Contenido de metales en Cancer polyodon (Crustacea: Decapoda) en un sistema de bahías del norte de Chile (27°S). Lat. Am. J. Aquat. Res., 39(3): 461-470.
- CCME, (2002). Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of aquatic life, summary tables. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CCME, (2007). Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Chen C (2006) Chemistry of Sea Water. Encycropedia Life Support Syst 165–227.
- Chen, J. & X. Lu. 2007. Progress of petroleum combusting in circulating fluidized bed boilers. A review and future perspectives. Resour. Conserv. Recy., 49: 203-216.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (2008) Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos.
- Costanza R (1992) Toward an operational definition of health. In: Costanza R, Norton.
- Costanza R, Mageau M (1999) What is a healthy ecosystem? Aquat Ecol 33:105–115.
- Daneri G, Dellarossa V, Quiñones R, et al (2000) Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. Mar Ecol Prog Ser 197:41–49.
- De Gregori H.I., Pinochet C.H., Arancibia J.M. y Vidal B.A. 1996. Grain size effect on trace metals distribution in sediments from two coastal areas of Chile. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 57, 163-170.
- Department of Environmental Quality, Oregon (2015) Aquatic Life Water Quality Criteria for Toxic Pollutants, Table 30, Effective aquatic life criteria.
- Diaz RJ, Rosenberg R (1995) Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceanogr Mar Biol 33:245–303.
- Escribano R (1998) Population dynamics of Calanus chilensis in the Chilean Eastern Boundary Humboldt Current. Fish Oceanogr 7:245–251.
- Escribano R, Fernández M, Aranís A (2003) Physical-chemical processes and patterns of diversity of the Chilean eastern boundary pelagic and benthic marine ecosystem: An overview. Gayana 67:190–205.

- Escribano R, McLaren I (1999) Production of *Calanus chilensis* in the upwelling area of Antofagasta , Northern Chile Production of *Calanus chilensis* in the upwelling area of Antofagasta , northern Chile. *Mar Ecol Prog Ser* 177:147–156.
- Friedrich J, Janssen F, Aleynik D, et al (2014) Investigating hypoxia in aquatic environments: Diverse approaches to addressing a complex phenomenon. *Biogeosciences* 11:1215–1259. doi: 10.5194/bg-11-1215-2014
- Gallardo M de los Á, González López AE, Ramos M, et al (2017) Reproductive patterns in demersal crustaceans from the upper boundary of the OMZ off north-central Chile. *Cont Shelf Res* 141:26–37.
- García Rico L., Soto Cruz, M.S., Jara Marini M.E. y Gómez Álvarez A. 2004. Fracciones geoquímicas de Cd, Cu y Pb en sedimentos costeros superficiales de zonas ostrícolas del estado de Sonora, México. *Revista Contaminación Ambiental*. 22(4) 159-167.
- Gilly WF, Beman JM, Litvin SY, Robison BH (2013) Oceanographic and Biological Effects of Shoaling of the Oxygen Minimum Zone. *Ann Rev Mar Sci* 5:393–420.
- Giordano R., Musmeci L., Ciaralli L., Vernillo I., Chirico M., Piccioni A. y Costantini S. 1992. Total contents and sequential extractions of mercury, cadmium, and lead in coastal sediments. *Mar. Poll. Bull.* 24, 350-357.
- González F., Silva M., Schalscha E. y Alay F. 1998. Cadmium and lead in a trophic marine chain. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60, 112-118.
- Gray JS, Elliott M (2009) *Ecology of marine sediments*, Second Edi. Oxford University Press, New York
- Gray JS, Wu RS, Or YY (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Mar Ecol Prog Ser* 238:249–279. doi: 10.3354/meps238249
- Guiñez M, Valdés J, Sifeddine A (2010) Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Am J Aquat Res* 38:242–253.
- Halpin PM, Strub PT, Peterson WT, Baumgartner TR (2004) An overview of interactions among oceanography, marine ecosystems, climatic and human disruptions along the eastern margins of the Pacific Ocean. *Rev Chil Hist Nat* 77:371–409.
- Hunt Carlton D.; Smith DL (1983) Remobilization of Metals from Polluted Marine Sediments. *Can J Fish Aquat Sci*.

- Iriarte JL, González HE (2004) Phytoplankton size structure during and after the 1997 / 98 El Niño in a coastal upwelling area of the northern Humboldt Current System. *Mar Ecol Prog Ser* 269:83–90.
- Iriarte JL, Pizarro G, Troncoso VA, Sobarzo M (2000) Primary production and biomass of size-fractionated phytoplankton off Antofagasta, Chile (23-24°S) during pre-El Niño and El Niño 1997. *J Mar Syst* 26:37–51.
- Jamshidi-Zanjani A, Saeedi M, Li LY (2014) A risk assessment index for bioavailability of metals in sediments: Anzali International Wetland case study. *Environ Earth Sci* 73:2115–2126. doi: 10.1007/s12665-014-3562-5
- Jaramillo E, Carrasc F, Quijón P, Pin M (1998) Distribución y estructura comunitaria de la macroinfauna bentónica en la costa del norte de Chile. *Rev Chil Hist Nat* 71:459–478.
- Laudien J, Rojo ME, Oliva ME, et al (2007) Sublittoral soft bottom communities and diversity of Mejillones Bay in northern Chile (Humboldt Current upwelling system). 103–116.
- Mat I., Maah M.J. y Johari A. 1994. Trace metal geochemical associations in sediments from the culture-bed of *Anadara granosa*. *Mar. Poll. Bull.* 28, 319-323.
- Ministerio de Obras Públicas (1994). Manual para la cuantificación de externalidades de proyectos portuarios.
- MINSEGPRES. Decreto Supremo 144 (2000), Establece Normas de Calidad Primaria para la Protección de las Aguas Marinas y Estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo.
- MMA, s.f. Glosario de términos en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. Consultado el 17 de octubre de 2018 Sitio web: www.retc.cl/glosario/
- Neira S, Arancibia H (2004) Trophic interactions and community structure in the upwelling system off Central Chile (33 – 39 8 S). *J Exp Biol Ecol* 312:349–366.
- New Jersey Department of Environmental Protection (2015). Ecological Screening Criteria. Division of Water Quality, New Jersey Department of Environmental Protection, USA.
- Ojeda FP, Labra FA, Muñoz A (2000) Biogeographic patterns of Chilean littoral fishes. 2:625–641.
- Olsen CR, Cutshall NH, Larsen IL (1982) Pollutant-particle associations and dynamics in coastal marine environments: a review. *Mar Chem* 11:501–533.
- O'Neill, R.V., A.R. Johnson, and A.W. King, (1989). "A hierarchical framework for the analysis of scale." *Landscape Ecology*, 3 (3/4) 193-205.

- Ortlieb L, Escribano R, Follegati R, et al (2000) Recording of ocean-climate changes during the last 2,000 years in a hypoxic marine environment off northern Chile (23°S).
- Packard TT (1969) The estimation of the oxygen utilization rate in seawater from the activity of the respiratory electron transfer system in plancton. Thesis 1–130.
- Parks, R., M. Donnier-Marechal, P. Frickers, A. Turner & J. Readman. 2010. Antifouling biocides in discarded marine paint particles. *Mar. Poll. Bull.*, 60: 1226-1230.
- Promina, Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto Playa Artificial y Recuperación Caleta Boy, Balneario Covadonga, 2014.
- Ramirez, M., S. Massolo, R. Frache & J. Correa. 2005. Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. *Mar. Pollut. Bull.*, 50: 62-72.
- Riedel B, Pados T, Pretterebner K, et al (2014) Effect of hypoxia and anoxia on invertebrate behaviour : ecological perspectives from species to community level. 1491–1518. doi: 10.5194/bg-11-1491-2014
- Rodríguez L, V Marín MF& EO (1991) Identification of an upwelling zone by remote sensing and in situ measurements. *Mejillones del Sur Bay (Antofagasta-Chile)*. 4.
- Rodríguez Mercado J.J y Altamirano Lozano M.A. 2006. Vanadio: Contaminación, Metabolismo y Genotoxicidad. 2006. Unidad de Investigación en Genética y Toxicología Ambiental (UNIGEN), Bioterio Campo-II, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. A.P. 9-020, D.F. 15000 México. *Rev. Int. Contaminación Ambiental*. 20(4) 173-189. 2006
- Rodriguez-Graña L, Castro LR (2003) Ichthyoplankton distribution off the Peninsula de Mejillones, Chile (S 71 ° W), under variable hydrographic conditions during the austral summer and winter of the 1997 El Niño. *Hydrologia* 501:59–73.
- Rojas PM (2010) Diel variation in the vertical distribution of fish larvae forced by upwelling filaments off Punta Angamos (northern Chile). *Lat Am J f Aquat Res* 42:401–417.
- Ruz PM, Hidalgo P, Yáñez S, et al (2015) Egg production and hatching success of *Calanus chilensis* and *Acartia tonsa* in the northern Chile upwelling zone (23°S), Humboldt Current System. *J Mar Syst* 148:200–212.
- Salazar D (2011) Reconstrucción de la secuencia ocupacional de la quebrada Mamilla, costa de Tocopilla, norte de Chile. Ediciones de la Universidad Internacional SEK.
- Salvador MF, Avaria CC (2008) Variabilidad de la temperatura superficial del mar, identificación de surgencias costeras y su relevancia en un área marina costera protegida del desierto de atacama, Chile. *Rev Geogr Norte Gd* 49–61.

- Santschi P, Höhener P, Benoit G, Buchholtz-ten Brink M (1990) Chemical processes at the sediment-water interface. *Mar Chem* 30:269–315.
- Santschi, Bollhalder, S., Zingg, S., Lueck, A. and Farrenkothen, K., 1990. The self-cleaning capacity of surface waters after radioactive fallout. Evidence from European waters after Chernobyl, 1986-1988. *Environ. Sci. Technol.*, 24:519-527.
- SMA, 2014. Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas. Gobierno de Chile.
- Tessier A., Campbell P.G.C. y Bisson M. 1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51, 844-851.
- Thiel M, Macaya EC, Acuña E, et al (2007) The Humboldt current system of northern and central Chile Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanogr Mar Biol* 45:195–344.
- Torres R, Turner D, Rutllant J, et al (2002) CO₂ outgassing off central Chile (31-30°S) and northern Chile (24-23°S) during austral summer 1997: The effect of wind intensity on the upwelling and ventilation of CO₂-rich waters. *Deep Res Part I Oceanogr Res Pap* 49:1413–1429. doi: 10.1016/S0967-0637(02)00034-1
- Turley, P.A., R.J. Fern & J.C. Ritter. 2000. Pyrithione as antifoulants: environmental chemistry and preliminary risk assessment. *Biofouling*, 15: 175-182.
- U.S. Environmental Protection Agency (2009). National recommended water quality criteria. United States Environmental Protection Agency.
- Urban, D.L., R.V. O'Neill and H.H. Shugart, Jr., (1987). "Landscape Ecology." *Bioscience*, 37 (2) 119-127.
- Valdés J, Sifeddine A, Boussafir M, Ortlieb L (2014) Redox conditions in a coastal zone of the Humboldt system (Mejillones, 23° S). Influence on the preservation of redox-sensitive metals. *J Geochemical Explor* 140:1–10. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.01.002
- Valdés, J. 2012. Heavy metal distribution and enrichment in sediments of Mejillones Bay (23°S), Chile: a spatial and temporal approach. *Environ. Monit. Assess.*, 184: 5283-5294.
- Valdés, J., G. Vargas, A. Sifeddine, L. Ortlieb & M. Guiñez. 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones bay (23°S), northern Chile: geochemical and statistical approach. *Mar. Pollut. Bull.*, 50: 1558-1568.
- Vaquersunyer R, Duarte CM (2008) Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *PNAS* 2008:15452–15457.

- Vargas G, Ortlieb L, Pichon JJ, et al (2004) Sedimentary facies and high resolution primary production inferences from laminated diatomaceous sediments off northern Chile (23°S). *Mar Geol* 211:79–99. Waldichuk M (1974) Coastal marine pollution and fish. *Ocean Manag* 2:1–60.
- Vargas, G., L. Ortlieb & J. Rutllant, 2000. Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur. *Rev. Geol. Chile*, 27(2): 155-174.
- Vasquez JA, Camus PA, Patricio F (1998) Diversity, structure and functioning of rocky coastal ecosystems in northern Chile. *Rev Chil Hist Nat* 71:479–499.
- Viviani CA (1979) Ecogeografía del litoral chileno. *Stud Neotrop Fauna Environ* 14:65–123.
- Waldichuk M (1974) Coastal marine pollution and fish. *Ocean Manag* 2:1–60.
- Waldichuk, M. (1974) Some biological concerns in heavy metals pollution. Pp. 1–57 in *Pollution and Physiology of Marine Organisms*, F.J. Vernberg and W.B. Vernberg, eds. New York: Academic Press.
- Zhang, L., X. Ye, H. Feng, Y. Jing, T. Ouyang, X. Yu, R. Liang, Ch. Gao & W. Chen. 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. *Mar. Pollut. Bull.*, 54: 974-982.