

CENTRO DE
ECOLOGIA
APLICADA



INFORME FINAL

Análisis de Riesgo Ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta

BIP 30130908-0

Centro de Ecología Aplicada Ltda. Octubre 2020



Gobierno Regional
Antofagasta

CONTROL DEL DOCUMENTO				
Versión	Fecha	Elaborado por	Revisado por:	Aprobado por
0	27/07/2020	Aldo Barba Alejandro Aguado Diervo Arce Jorge Cubillos Marcelo Saavedra Nicolás Coliñir Orlando Jara Patricia Matus Patricio Bahamondes Salvador López Yovana Leal	José Peralta	Manuel Contreras
1	23/09/2020	Aldo Barba Alejandro Aguado Diervo Arce Jorge Cubillos Marcelo Saavedra Nicolás Coliñir Orlando Jara Patricia Matus Patricio Bahamondes Salvador López Yovana Leal	José Peralta	Manuel Contreras
2	14/10/2020	Aldo Barba Alejandro Aguado Diervo Arce Jorge Cubillos Marcelo Saavedra Nicolás Coliñir Orlando Jara Patricia Matus Patricio Bahamondes Salvador López Yovana Leal	José Peralta	Manuel Contreras
3	26/10/2020	Aldo Barba Alejandro Aguado Diervo Arce Jorge Cubillos Marcelo Saavedra Nicolás Coliñir Orlando Jara Patricia Matus Patricio Bahamondes Salvador López Yovana Leal	José Peralta	Manuel Contreras

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento corresponde al informe final asociado al estudio titulado “Análisis de Riesgo Ambiental en Bahía San Jorge, Antofagasta”, código BIP 30130908-0. De acuerdo con los Términos de Referencia, se entregan los resultados de la ejecución de todas las campañas de monitoreo realizadas: invierno de 2018, verano de 2019, invierno de 2019 y verano de 2020. Se incorporan los resultados de la recopilación y sistematización de la información, el modelo conceptual de riesgo ecológico y a la salud humana, y se incorporan las actas asociadas a las actividades de difusión del estudio.

La bahía de San Jorge constituye un sistema ambiental con un fuerte componente antrópico, en la cual durante toda su historia se ha desarrollado una industria enfocada a la minería y a los procesos de transferencia de agentes potencialmente contaminantes, en particular en Coloso y Puerto de Antofagasta, lo que conlleva a suponer la existencia de pasivos ambientales en el sedimento marino. Desde el punto de vista del sistema ambiental, los xenobióticos tales como plomo y zinc, estarían ingresando de forma indirecta a través de fuentes difusas de contaminantes. Cabe señalar que no se detectaron descargas significativas en términos de emisarios submarinos (fuentes puntuales), por lo cual el origen de estos elementos es otro. Desde la perspectiva ecológica, la bahía presenta una alta productividad primaria debido a los procesos naturales de surgencia en ciertas zonas acotadas, como también la alta presencia de estratos rocosos.

El conocimiento científico en bahía San Jorge es extenso, considerando la hidrodinámica, parámetros fisicoquímicos, y descripción de organismos presentes en la bahía, incluidas mallas tróficas del ecosistema y transferencias de energía. En el último tiempo estos estudios se han enfocado en analizar más en detalle la variabilidad interanual de la hidrodinámica, con modelos aproximados de flujos de grandes masas de agua para analizar de mejor forma el comportamiento interno de las corrientes, que permitan estudiar de mejor forma el efecto sobre las comunidades biológicas. Asimismo, existen estudios que guardan relación con el potencial problema existente en la bahía, que es la acumulación de elementos metálicos en el sedimento marino, los cuales se incorporan a las tramas tróficas a través de organismos bentónicos.

En el presente estudio, se realizó una extensiva caracterización de la bahía considerando como base el estudio desarrollado por Jorge Valdés en el año 2012, en donde se determinó que los ecosistemas submareales con presión antrópica visible serían en los sectores de Las Petroleras, Puerto Antofagasta y Quebrada Carrizo, mientras que las de menor intervención serían la Chimba, Acapulco y caleta Coloso.

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. La

caracterización de estas componentes ambientales según la información histórica arrojó que en la columna de agua existe una presencia de cobre disuelto que sobrepasa en mayor proporción las normativas de referencia comparadas. Por otro lado, el arsénico disuelto, cromo total, plomo disuelto y vanadio total registraron la totalidad de sus valores bajo los límites máximos sugeridos por las normas. En el caso del sedimento, el análisis histórico da cuenta de una acumulación de metales, en particular se destaca el cobre, zinc, plomo, cadmio, mercurio, cromo y arsénico. El cobre, mercurio, plomo y zinc registran un mayor porcentaje de superación respecto a las normativas de referencia. Dichos metales, a excepción del mercurio, constituyen los principales productos de la actividad minera que son almacenados y exportados, como concentrado y otras formas, a través de los dos puertos existentes en la bahía. Lo anterior es consistente con el estudio de Valdés (Valdés et al. 2012), en donde se señala que las cargas importantes en sedimento serían producidas no solo por aportes naturales, sino también por un enriquecimiento debido a la actividad de embarque de minerales, siendo los sectores de Coloso, Puerto Antofagasta y Petroleras las con mayor presencia de estos metales.

De acuerdo con los datos del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), el contenido de los metales As, Cu y Pb en tejido de Chorito maico supera los límites establecidos por el DS 977/96, y el Pb además, supera los valores de referencias de La Unión Europea. Esto ocurre en la mayoría de los puntos de muestreo y en la mayoría de las campañas de muestreo. Al considerar el contenido de metales en el tejido de la Pulga de mar (Castro and Valdés, 2012), los organismos provenientes de playa Paraíso presentaron mayores magnitudes que los organismos provenientes de playa El Lenguado. En ambos sectores de muestreo los organismos presentaron mayor contenido de Plomo en comparación con el resto de los metales. El contenido de Plomo en los organismos provenientes de ambos sectores, supera los límites establecidos por la normativa nacional DS. 977/96 (2 mg/kg) y la referencia de la Unión Europea (1,5 mg/kg). Al considerar el análisis de metales en organismos con un enfoque en las redes tróficas (Valdés et al. 2014), se observó biomagnificación de Cu y Zn en las especies carnívoras *H. helianthus* (Sol de mar), *Octopus sp.* (Pulpo), *L. magellanica* (Estrella negra) y *Concholepas concholepas* (Loco) en La Chimba. La biomagnificación de Pb se observó en *H. helianthus* en Carrizo y La Chimba, y solamente en los carnívoros *Octopus sp.* y *L. magellanica* en La Chimba. En el caso de Carrizo, se observaron elevados valores de biotransferencia de Pb en la secuencia *Fissurella sp.*, *Crassilabrum sp.* y *H. helianthus*, lo cual sugiere un proceso de biomagnificación efectivo.

Por otro lado, al analizar estudios anteriores asociado a redes tróficas, se detectaron niveles de bioacumulación y biomagnificación importantes en recursos marinos, con contenido de plomo y cobre que exceden límites normativos nacionales. Estos recursos corresponden al loco, pulpo, locate, lapa, ostión y navajuela. Lo anterior adquiere relevancia al comparar que estos recursos representan los mayores desembarques de la pesca artesanal, constituyendo una vía de exposición para el ser humano. Cabe señalar que este punto es

analizado más en detalle en etapas futuras del estudio, una vez se realice la Evaluación de Riesgo a la Salud Humana.

En cuanto al análisis de emisiones puntuales a través del reporte de la industria al Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), se encontró un ingreso de elementos metálicos al medio marino desde la industria sanitaria, donde existe un aporte de elementos metálicos de hierro, manganeso, boro, cobre y estaño, pero no tendrían significancia en términos de cantidad al compararlo con otras bahías, a excepción del boro que presenta un aporte constante durante los últimos años. No se aprecia un aporte de nutrientes ni de otros parámetros que afecten la física del medio marino, no ocurre así con el indicador de tensoactivos que muestra aportes mayores en la comuna de Antofagasta en comparación a las demás bahías colindantes, por lo que se debe tener especial atención a este agente, el cual tiene su origen en los emisarios asociados a la industria de saneamiento de aguas. En el contexto de los hallazgos anteriores, se detectaron emisiones de arsénico, cobre, plomo y zinc en las descargas de la industria sanitaria, sin embargo, estos agentes no responden a procesos unitarios de esa industria, por lo que se infiere que estos parámetros provienen más bien a aportes de fuentes difusas.

En vista de todos los antecedentes analizados, se realizó un modelo conceptual de riesgo ecológico y a la salud humana, considerando un diagrama unidireccional que permite describir de forma simplificada la hipótesis de riesgo elaborada en este estudio. Se ha determinado la existencia de un potencial riesgo al ecosistema y al ser humano, por cuanto se determinó la presencia de fuentes estresoras, sus vías de exposición, y receptores. Ahora bien, la segunda etapa de esta evaluación fue validar la hipótesis, en el sentido de una Evaluación de Riesgo que permitiera analizar y caracterizar las potenciales amenazas tanto en el ecosistema como a la salud de las personas.

Se realizó el análisis de las campañas de invierno de 2018, verano 2019, invierno 2019 y verano de 2020, sobre los parámetros fisicoquímicos de la vertical de la columna de agua, y de las variables oceanográficas.

Los resultados del ERE indican que todos los agentes estudiados presentan en una cierta medida, un riesgo ecológico asociado. La matriz agua presentó cocientes de riesgo inferiores que el sedimento, se observan riesgos bajos para el arsénico, cadmio y plomo, no así para el cobre, mercurio y zinc, con cifras superiores al 30%.

En la matriz sedimento, se destaca por sobre todos los demás el cobre y zinc, con cocientes de riesgo sobre el 80%. Le siguen el mercurio y plomo con cifras sobre el 70% de probabilidad de riesgo. El camio y arsénico presentaron probabilidades de riesgo similares en el sedimento con cifras que rondan entre los 40% y 60%.

Se puede inferir que se debe poner especial atención en los siguientes agentes en el sedimento: cobre, zinc, mercurio y plomo; sin descartar además el arsénico y cadmio, que

de todas formas presentaron cocientes de riesgo elevados, pero menores a los cuatro primeros mencionados.

Ahora bien, los resultados anteriores pueden ser cotejados con una estimación niveles de protección ambiental, los cuales se calcularon tomando en consideración los efectos NOEC determinados en la fase 2 del estudio.

A partir de los resultados de la evaluación de riesgo para la salud humana (ERSH), se destacan dos elementos en los que se debe tener un cuidado especial. El primero corresponde al cadmio, que es el único en poseer un alto índice de peligro de exposición, y el segundo elemento corresponde al arsénico, el cual presenta un riesgo incremental de cáncer.

En cuanto a estudios sobre la exposición de las personas a metales presentes en el medio marino, en Chile todos hacen referencia a la exposición de la población por medio de ingesta de agua con contenido de arsénico. A nivel internacional existen pocos, aunque han aumentado en los últimos años, estudios o evaluaciones de riesgo referidos a la presencia de metales, en los cuales se alude principalmente al arsénico en el suelo.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ÁREA DE ESTUDIO	2
3	OBJETIVOS	3
3.1	Objetivo General.....	3
3.2	Objetivos Específicos	3
4	METODOLOGÍA.....	4
5	RESULTADOS POR OBJETIVO	7
5.1	Objetivo específico 0 (OE-0)	7
5.2	Objetivo Específico 1 (OE-1)	7
5.2.1	Caracterización del área de estudio	8
5.2.1.1	Introducción	8
5.2.1.2	Procesos Oceanográficos de gran escala	10
5.2.1.3	Estructura y funcionamiento ecosistémico en bahía San Jorge	19
5.2.1.4	Caracterización física de los componentes abióticos	22
5.2.1.5	Caracterización fisicoquímica de los componentes abióticos	25
5.2.1.6	Caracterización de los componentes bióticos	135
5.2.2	Flujos antrópicos de materiales y organismos	161
5.2.2.1	Registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC)	161
5.2.2.2	Desembarque artesanal	176
5.2.3	Geodatabase.....	185
5.2.4	Discusión y conclusión	185
5.3	Objetivo Específico 2 (OE-2)	192
5.3.1	Definición de parámetros objetivo.....	192
5.3.1.1	Identificación de elementos potencialmente contaminantes	192
5.3.1.2	Vías de exposición	198
5.3.1.3	Posibles receptores	203
5.3.2	Modelo conceptual de riesgo ecológico.....	213
5.4	Objetivo Específico 3 (OE-3)	216
5.4.1	Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE)	217

5.4.1.1	Fase 1: Definición del problema.....	217
5.4.1.2	Fase 2: Análisis del riesgo.....	217
5.4.1.3	Fase 3: Caracterización del riesgo.....	474
5.4.2	Evaluación de Riesgo a la Salud Humana (ERSH)	503
5.4.2.1	Introducción	504
5.4.2.2	Metodología	505
5.4.2.3	Resultados	514
5.4.3	Integración del ERE y ERSH.....	606
5.5.	Objetivo Específico 4 (OE-4).....	608
5.5.1.	Identificación de medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo. 608	
5.5.2.	Propuesta de medidas de gestión idóneas.	609
5.5.3.	Recomendaciones y conclusiones.	609
5.5.4.	Elaboración de una cartera de proyectos	611
5.5.4.1.	Términos de referencia “Implementación de plataforma de gestión ambiental para la Bahía San Jorge, Antofagasta”	611
5.5.4.2.	Términos de referencia	621
5.5.4.3.	Presupuesto por objetivo.....	648
5.5.5.	Elaboración de una cartera de proyectos	661
5.5.5.1.	Diagnóstico.....	661
5.5.5.2.	Diagnóstico de la necesidad del programa	663
5.5.5.3.	Factores de riesgo	674
5.5.6.	Objetivos.....	674
5.5.6.1.	Fin	674
5.5.6.2.	Propósito	674
5.5.7.	Poblaciones.....	675
5.5.7.1.	Población de referencia	675
5.5.7.2.	Población potencial	675
5.5.7.3.	Población objetivo.....	681
5.5.8.	Beneficiarios	681
5.5.9.	Estrategia de intervención.....	682

5.5.9.1.	Componentes del programa	682
5.5.9.2.	Actividades por componente	683
5.5.9.3.	Estrategia de intervención del programa.....	686
5.5.9.4.	Articulaciones y complementariedades.....	687
5.5.9.5.	Incorporación de enfoque de derechos.....	687
5.5.10.	Indicadores	688
5.5.11.	Presupuesto del programa	690
5.5.12.	Carta Gantt	691
5.6	Objetivo Específico 05 (OE-05).....	692
5.6.1	Reuniones de coordinación	692
5.6.2	Reuniones de presentación del estudio	693
5.6.3	Reunión consulta de especies	694
5.6.4	Taller de expertos.....	694
5.6.5	Talleres de difusión.....	696
5.6.5.1	Taller de difusión N°1	696
5.6.5.2	Taller de difusión N°2	697
5.6.5.3	Taller de difusión N°3	698
5.6.6	Vídeo de difusión.....	698
5.6.7	Listas de asistencia.	698
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	699
7	GLOSARIO DE TÉRMINOS	711

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe Final asociado al estudio titulado “Análisis de Riesgo Ambiental en Bahía San Jorge, Antofagasta”, código BIP 30130908-0. El objetivo principal de este estudio es identificar niveles de impacto ambiental a consecuencia de la existencia de sustancias potencialmente contaminantes en la bahía San Jorge, Antofagasta, para luego realizar una evaluación de riesgo ecológico (ERE) y de riesgo para la salud humana (ERSH), y finalmente proponer medidas de mitigación del riesgo. La metodología está dirigida a diagnosticar ambientalmente la zona de estudio a través de una extensiva recopilación de información de la calidad ambiental de la bahía y de las emisiones hídricas existentes en la bahía. Cabe señalar que, dentro de las actividades de importancia, se realizó: un monitoreo de la calidad ambiental, complementando la información actual de la bahía; monitoreo de variables físicas mediante correntometría euleriana y lagrangiana, se creó un modelo hidrodinámico de costas; complementando la batimetría en zonas donde no existían datos y elaborando material de difusión didáctico para la comunidad. Luego de diagnosticar y evaluar el riesgo en la bahía, identificados los riesgos tanto para el ecosistema como para el ser humano, se proponen medidas de gestión futuras para el mejoramiento de la calidad ambiental con objeto de reducir el riesgo. Adicionalmente se deja propuesta una agenda de formación y capacitación, de forma tal de instalar capacidades en la región en temáticas ambientales.

Las actividades fueron categorizadas en base a los objetivos específicos del estudio de la propuesta del consultor: 1) Caracterización en base a estudios previos, 2) Conceptualización y diagnóstico de la situación de la bahía, 3) Evaluación del riesgo ecológico y para la salud humana, 4) Medidas de manejo 5) Difusión del estudio.

El presente informe da cuenta de los resultados en la identificación de peligros, evaluación de exposición y efecto, y la ejecución de los monitoreos realizados en invierno de 2018, verano de 2019, invierno de 2019 y verano de 2020. Resulta importante señalar que la caracterización de la bahía tomó en consideración la mayor parte de estudios científicos y técnicos desarrollados a la fecha, con especial énfasis en el estudio de Jorge Valdés “Estudio de levantamiento de información para el control ambiental en la bahía de San Jorge, código BIP 30059576”, lo cual permitió tener una fuerte base por cuanto esta bahía se encuentra muy bien estudiada en su caracterización en todos sus componentes ambientales. Además, se presentan las actas asociadas a las reuniones efectuadas tanto con la contraparte como con la comunidad, lo cual se asocia al objetivo específico 5, difusión del estudio.

2 ÁREA DE ESTUDIO

La zona que comprendió el estudio se localiza en la comuna de Antofagasta, específicamente en la bahía San Jorge, entre los sectores de Punta Jorge y Punta Coloso, entre las coordenadas 334.708 E y 7.399.428 N, y 349.927 E y 7.371.645 N. (Figura 2-1). El estudio cubre toda la bahía de San Jorge (cerca de 307 km²), incluyendo columna de agua, sedimentos y su biota.

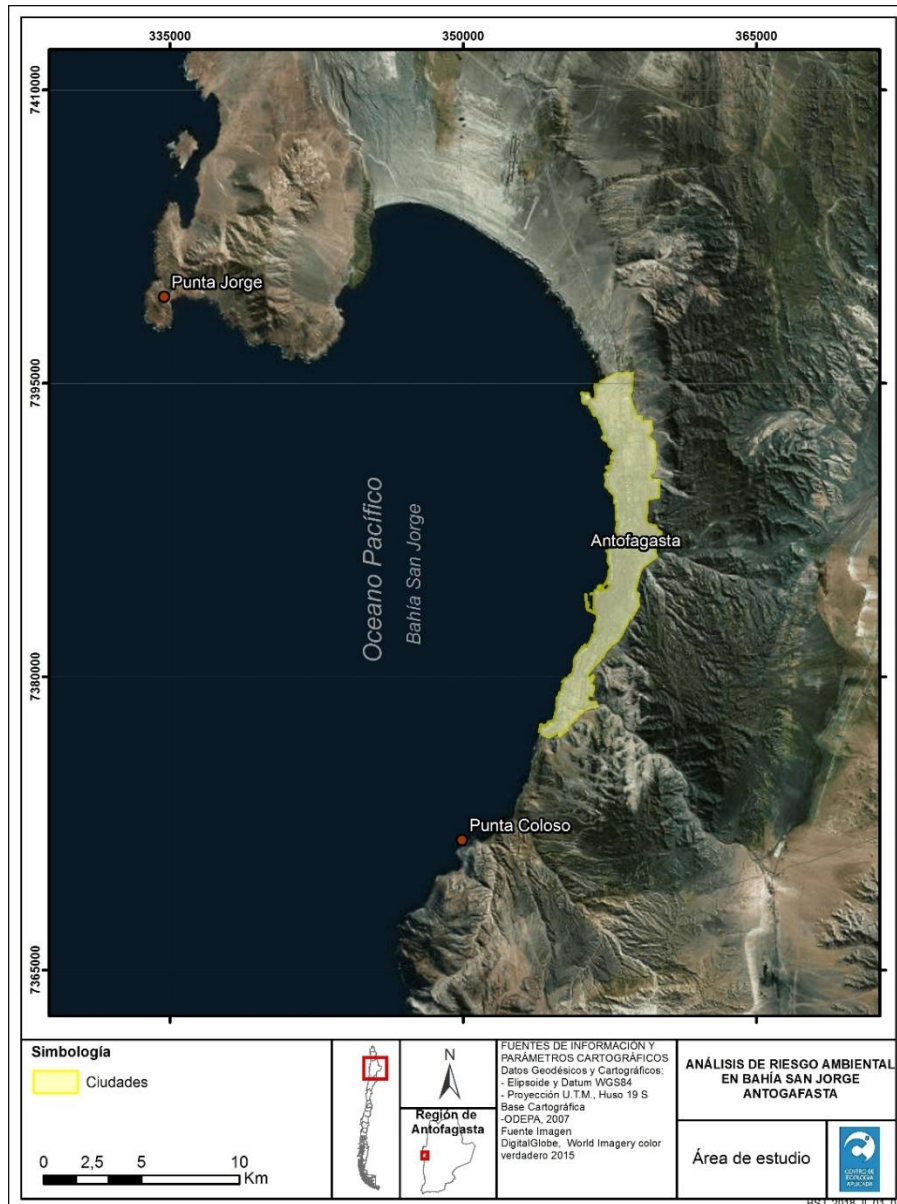


Figura 2-1 Ubicación geográfica de la bahía San Jorge, Región de Antofagasta.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Identificar los niveles de impacto ambiental por la presencia de sustancias contaminantes en la bahía San Jorge, con el fin de establecer el riesgo sobre la salud de las personas y el ecosistema marino, y de esa manera, proponer soluciones ambientalmente sustentables para minimizar el riesgo y los impactos detectados, difundiendo los resultados.

3.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos (OE) fueron los siguientes:

- OE1: Recolectar, sistematizar y analizar la información existente sobre la condición ambiental de la bahía San Jorge.
- OE2: Definir el modelo conceptual de las sustancias potencialmente contaminantes que puedan producir efectos negativos en las matrices ambientales agua, sedimento y biota.
- OE3: Realizar una evaluación de riesgo para la salud de las personas y evaluación de riesgo ecológico, para la Bahía San Jorge.
- OE4: Proponer medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo
- OE5: Difundir las actividades del estudio

4 METODOLOGÍA

Para cumplir con todos los objetivos propuestos, se identificó un total de 8 actividades principales según TDR:

- a) Recopilar y sistematizar toda la información existente
- b) Definir un modelo conceptual de los elementos potencialmente contaminantes en las matrices ambientales.
- c) Identificar del peligro: determinar los contaminantes que, atendiendo a sus propiedades puedan suponer un riesgo al ecosistema.
- d) Evaluar la exposición: determinar la concentración ambiental esperada (PEC). Establecer los mecanismos por los cuales los agentes pueden llegar a alcanzar a los receptores según su exposición.
- e) Evaluar el efecto: determinar la concentración sin efecto ecológico probable (PNEC) del xenobiótico presente en el ecosistema, con tal que no genere un efecto inaceptable sobre el sistema ecológico.
- f) Caracterizar el riesgo: con la determinación del PEC y PNEC se deberá caracterizar el riesgo, a través del cociente de riesgo (RQ). Esta caracterización de riesgo se realiza, de forma independiente, para la evaluación de riesgos a la salud humana (ERSH) y para la evaluación de riesgo ecológico (ERE).
- g) Proponer medidas de gestión: una vez determinado el nivel de riesgo al que están expuestos los habitantes del área de estudio y del ecosistema, se identificarán y propondrán medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo.
- h) Elaborar una cartera de proyectos de acuerdo con los resultados del estudio, con acciones destinadas a prevenir efectos ambientales adversos de origen antrópico y/o remediar sitios con presencia de contaminantes.

Estas actividades fueron reestructuradas a una serie de etapas o procesos, donde además se incorporaron un conjunto de nuevas actividades que complementaron el estudio y sus resultados. Las 8 actividades principales se pueden identificar en la columna 1 de la Figura 3.2-1 con su letra respectiva y en la segunda columna se indican las actividades propuestas.



Figura 3.2-1 Metodología propuesta para dar cumplimiento a los OE del proyecto. (Entre paréntesis se indica la actividad de acuerdo con las actividades identificadas en las bases técnicas).

De los cuatro objetivos específicos presentes en los términos de referencia, la presente propuesta estimó conveniente incorporar un quinto objetivo específico llamado Difusión. De esta forma se dio el realce que requiere el enfoque participativo e informativo a la comunidad, como un pilar importante para el éxito del estudio. Producto de lo anterior, las reuniones, talleres de difusión, capacitación a la comunidad y material de difusión, quedaron dentro de un objetivo específico independiente. A continuación, se presenta el proceso metodológico explicado a través de las actividades, categorizadas según los objetivos propuestos.

Para mayor detalle en cuanto a la metodología utilizada, se puede consultar Los Anexos Digitales, OE-0 asociado al Plan de trabajo del estudio.

5 RESULTADOS POR OBJETIVO

5.1 Objetivo específico 0 (OE-0)

OE-0: Ajuste metodológico y desarrollo de Plan de Trabajo y Metodología ajustada

Se denominó Etapa 0 a la primera actividad del estudio, que correspondió al ajuste metodológico y al desarrollo de un Plan de Trabajo definitivo, en acuerdo con la contraparte técnica. Esta etapa tuvo una duración máxima de 30 días, desde la fecha de inicio de la consultoría y como resultado se entregó el documento “2018_08_GOA003_INF_CO_V1_Plan_Trabajo” (disponible en Anexos digitales).

5.2 Objetivo Específico 1 (OE-1)

OE1: Recolectar, sistematizar y analizar la información existente sobre la condición ambiental de la bahía San Jorge.

El cumplimiento de este objetivo se llevó a cabo a través de la recopilación de toda la información ambiental disponible, así como los instrumentos normativos, considerando para el proceso a: los organismos públicos competentes, empresas privadas con actividad en la zona de estudio, centros académicos e investigación, etc. Información que fue sistematizada para su posterior análisis desde la perspectiva del objetivo general del estudio. Este OE responde directamente a la actividad (a) descrita en las bases técnicas del estudio.

Para la recopilación de Estudios de Impacto Ambiental, Declaraciones de Impacto Ambiental y Resoluciones de Calificación Ambiental que están presentes en la zona de estudio, se obtuvo la base de datos de las Unidades Fiscalizables del registro del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA), con actividad en las comunas de Antofagasta, Sierra Gorda y Mejillones, de las cuales se seleccionaron aquellas que se sitúan dentro de un POLIGONO de interés (Anexos digitales 02_OE1/2_Recopilacion) del estudio, definido en base a las subcuencas aportantes a la bahía como también la totalidad de estudios en la misma. De la totalidad de Unidades Fiscalizables presentes dentro del polígono, se realizó una búsqueda y descarga de información relevante en el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). En Anexos digitales se adjunta una tabla con la lista de Unidades Fiscalizables, las que suman un total de 199, indicando las que se presentan dentro del polígono (color verde).

Posteriormente a la revisión total de la data disponible del SEA, se solicitaron los Planes de Vigilancia Ambiental a la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) a través del Portal de Transparencia. Además, mediante el mismo conducto, se solicitaron a la SMA información disponible correspondiente a RILES. Las solicitudes realizadas son las siguientes:

- N° AW003T0002786 con fecha 03 de octubre de 2018

- N° AW003T0002796 con fecha 08 de octubre de 2018
- N° AW003T0002909 con fecha 31 de octubre de 2018
- N° AW003T0002913 con fecha 31 de octubre de 2018
- N° AW003T0002934 con fecha 09 de noviembre de 2018
- N° AW003T0003033 con fecha 05 de diciembre de 2018

En el Anexos digitales 02_OE1/2_Recopilacion se adjuntan las solicitudes realizadas a la SMA con sus respectivas planillas indicando las RCA correspondiente a cada proyecto. Debido a que la respuesta de la SMA a las solicitudes se consideró insuficiente, se gestionó la solicitud de información a nivel institucional mediante el Oficio N° 570/2018 directamente a todos los titulares de proyecto donde se identificaron instrumentos de fiscalización ambiental, pero que la SMA no tenía en su poder.

Paralelamente, se solicitó a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) la información que se dispone pertinente a RILES a través de las solicitudes N° AM011T0001969 con fecha el día 30 de octubre de 2018 y N° AM011T0002046 con fecha el día 05 de diciembre de 2018. Se adjuntan las solicitudes en el Anexo digital 02_OE1/2_Recopilacion.

Finalmente, con la información disponible se prosiguió a la sistematización de variables de interés priorizando matrices ambientales de columna de agua y sedimentos para su posterior análisis, la cual se encuentra disponible en el Anexos digitales 02_OE1/2_Recopilacion.

5.2.1 Caracterización del área de estudio

5.2.1.1 Introducción

Desde el origen del poblamiento de lo que hoy es la ciudad de Antofagasta, la principal actividad económica ha sido la explotación de yacimientos minerales de distinto tipo. Gran importancia para esta actividad y el desarrollo de la ciudad, fue la creación del Ferrocarril Antofagasta Bolivia (FCAB) llegando con el tendido de la línea férrea hasta la ciudad de Oruro, Bolivia en el año 1892, instalando las primeras cañerías para distribución de agua, formando una compañía de Bomberos, construyendo muelles marítimos para el establecimiento de la industria de la región y transportando cargas de distinto tipo desde los poblados y las faenas mineras, hacia los puertos costeros para su embarque.

La alta producción de salitre, a inicios del siglo XX, produjo un aumento en la demanda de transporte marítimo, dando como resultado la construcción de un nuevo recinto portuario, el Puerto de Antofagasta, inaugurado el año 1943, con capacidad para la atención de seis navíos simultáneamente. En el año 2006, como primera etapa del proyecto Puerto Nuevo, se inaugura Mall Plaza Antofagasta, uno de los principales centros comerciales de la ciudad. El sector sur de la Bahía San Jorge, específicamente en Caleta Coloso, la creación del nuevo Puerto de Antofagasta sumado a la crisis financiera internacional del año 1929 desencadenó el desmantelamiento de las instalaciones, donde se embarcaba principalmente salitre,

Llegando a ser el tercer puerto salitrero más importante del país después de Tocopilla y Taltal. Actualmente las actividades en Caleta Coloso son de embarque a través del puerto Coloso, propiedad de Minera Escondida Ltda. Dedicada a la extracción de cobre. Y también un sector de la población de la zona de Coloso se dedica a la pesca artesanal.

El desafío de abastecer de agua para la población, animales y la industria, promueve la instalación de plantas destiladoras de agua de mar. Desde la década de 1870 inicia la construcción de plantas procesadoras de aguas, llegando a un registro de diez plantas a lo largo del borde costero de la ciudad para suplir la demanda de agua de la población. Ya en 2003, bajo la etiqueta de un proceso de producción más sustentable, se instala una nueva planta desaladora a manos de la compañía de Aguas Antofagasta, implementando tecnología más limpia, que no produce emisión de gases ni ruidos.

Bajo este contexto, en el que la extracción y transporte de productos minerales tienen la mayor importancia como actividad industrial, se generan presiones de distinto tipo e intensidad hacia los recursos naturales, pudiendo provocar cambios irreversibles al ecosistema y al sistema vida de la población.

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 (Valdés et al. 2007).

En todo sentido, Antofagasta y su costa constituye un sistema ambiental con un fuerte componente antrópico, donde antiguamente se ha desarrollado una industria enfocada a la minería y a los procesos de transferencia de agentes potencialmente contaminantes, lo que conlleva a suponer la existencia de pasivos ambientales en el sedimento marino. Si bien en la actualidad se han incorporado nuevas tecnologías que permiten disminuir o eliminar la incorporación de materiales potencialmente contaminantes, siguen existiendo procesos antrópicos que no estarían siendo cuantificados desde el punto de vista del impacto ambiental, como son por ejemplo las descargas puntuales a través de emisarios submarinos. El “Desarrollo Sustentable” implica por definición disminuir los impactos presentes y futuros del ser humano, por lo cual la lógica habla de la labor de disminuir en lo posible los flujos de origen humano que puedan provocar efectos adversos al ecosistema.

A continuación, se hace una revisión bibliográfica basada en la recopilación de datos históricos de estudios desarrollados en la bahía de San Jorge. Además de ello, se hace un

análisis de la información de calidad ambiental que se logró recopilar a la fecha de entrega de este informe.

5.2.1.2 *Procesos Oceanográficos de gran escala*

5.2.1.2.1 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 5.2-1 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 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 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 Costera Chilena 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 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 5.2-1): 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).

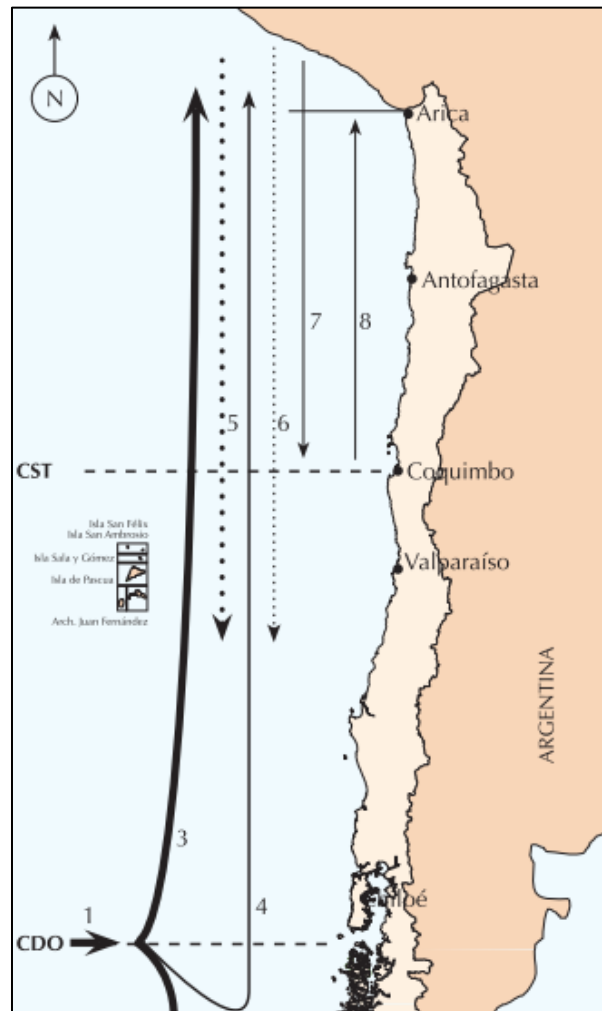


Figura 5.2-1: Síntesis de las principales corrientes marinas que ocurren en la costa de Chile. CST: Convergencia Subtropical. CDO: Convergencia de Deriva del Oeste. 1). Corriente superficial de Deriva de los Vientos del Oeste (superficial). 3). Rama oceánica de Humboldt (superficial). 4). Rama costera 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: Ministerio del Medio Ambiente. 2018. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Tercera Edición. Tomo II. Santiago de Chile. Pág.50 Figura 1. “Principales corrientes marinas de nuestra Zona Económica Exclusiva”

5.2.1.2.2 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 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 5.2-2). 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.

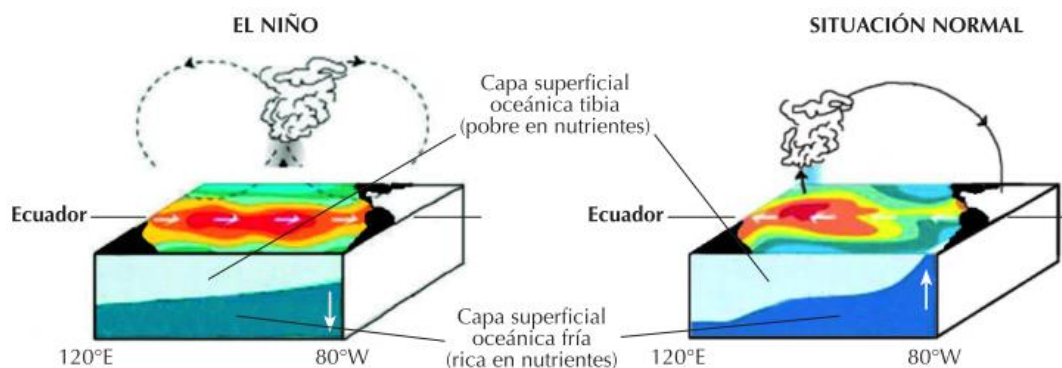
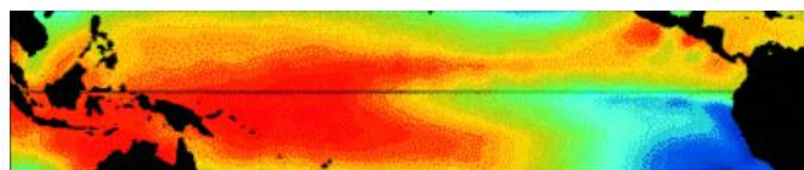
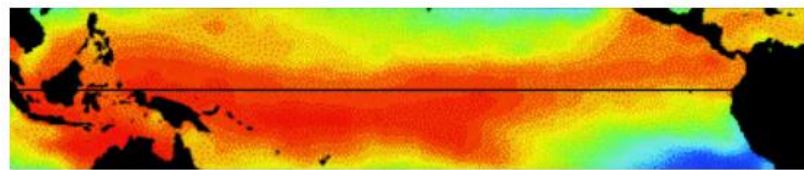


Figura 5.2-2: Cambios en la circulación atmosférica inducidos por El Niño. Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008)

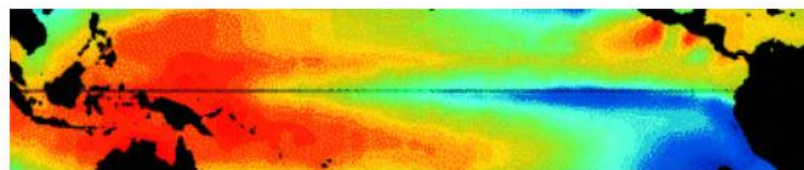
Por otra parte, “La Niña” es el término que se utiliza para denominar la fase fría del fenómeno ENOS. La Niña se caracteriza por temperaturas oceánicas extraordinariamente frías en el Pacífico Ecuatorial. Las anomalías del clima global asociadas con La Niña tienden a ser opuestas a las de El Niño, por 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).



Año habitual



Año de El Niño



Año de La Niña

Figura 5.2-3: Cambios en la temperatura superficial del mar durante eventos El Niño y La Niña. Modificado de Comisión Nacional del Medio Ambiente (2008).

5.2.1.2.3 Zona mínima de Oxígeno

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 5.2-4). 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 5.2-5(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.

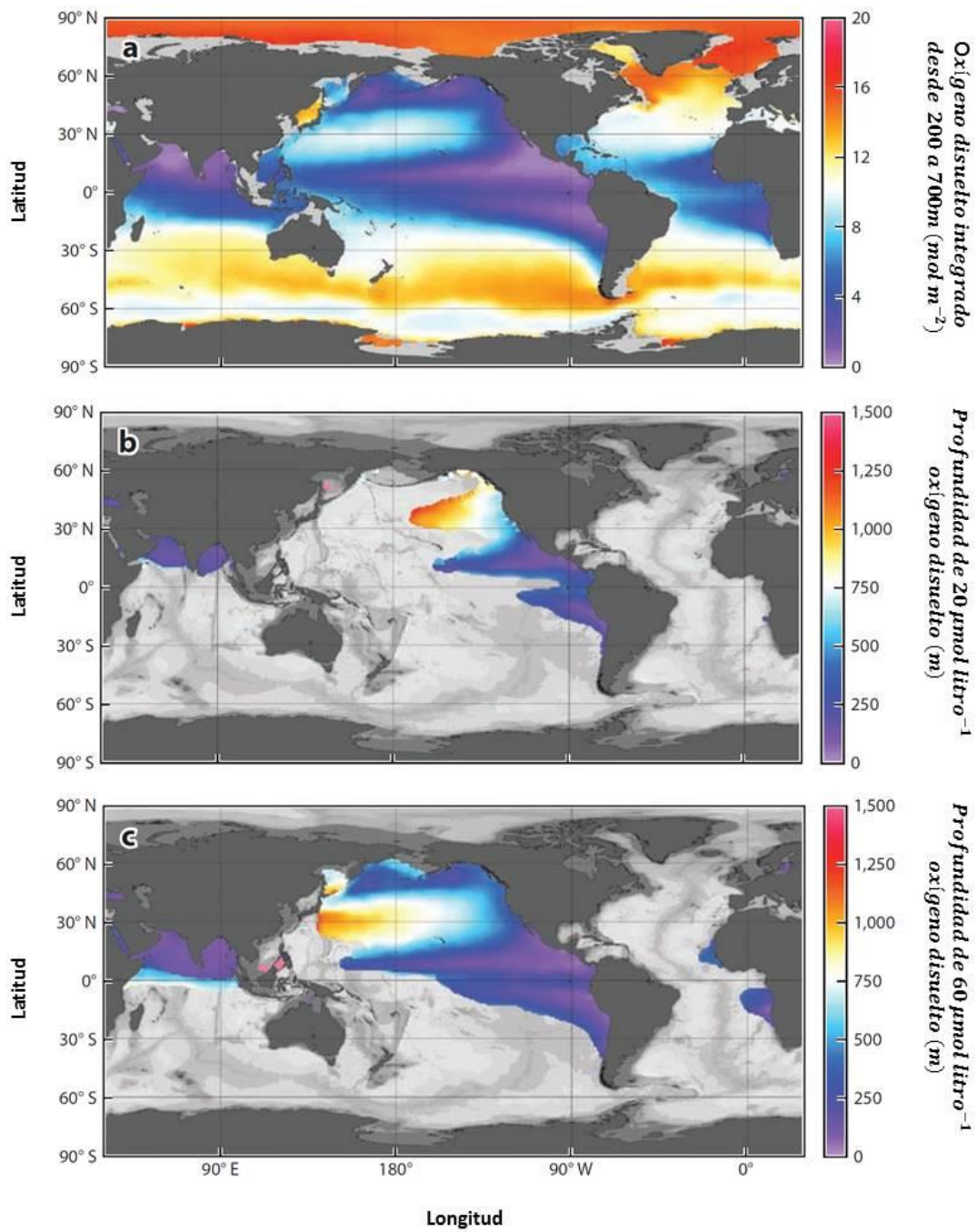


Figura 5.2-4: Patrones espaciales a escala global de niveles de oxígeno en los océanos, Modificado de Gilly et al (2013).

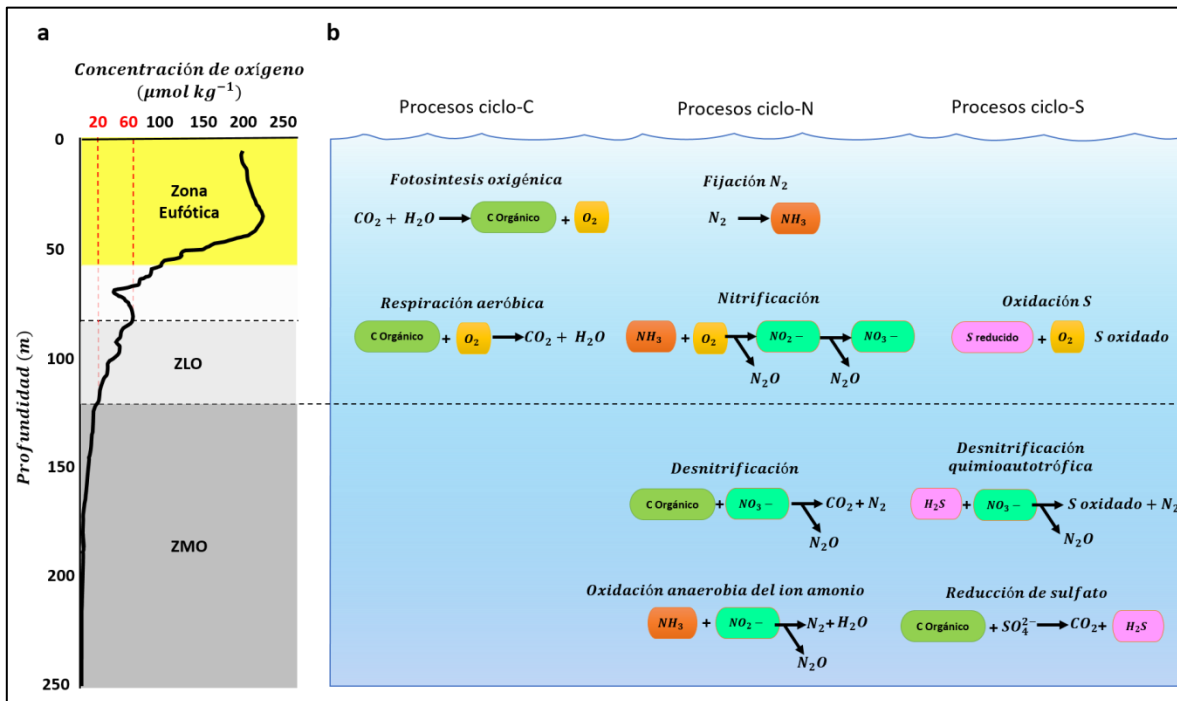


Figura 5.2-5: Procesos biogeoquímicos microbianos activos en zonas mínimas de oxígeno (ZMOs) y el océano oxigenado. A) Perfil característico de profundidad para el oxígeno disuelto en el Pacífico Norte Oriental, indicando las profundidades de la zona eufótica (amarilla), zona limitada de oxígeno (OLZ, 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).

Para observar el comportamiento de la ZMO en bahía San Jorge, es necesario analizar las mediciones de oxígeno disuelto en profundidad. Escribano & Hidalgo (2001) realizaron una caracterización de la hidrodinámica de la bahía ligada al viento, con un análisis de la columna vertical mediante mediciones con CTD, determinando la existencia de zonas con bajo contenido de oxígeno entre los 40 a 60 m de profundidad (isolínea de 0,5 ml/l), para mediciones realizadas el 16 de agosto de 1999, o sea en invierno. Por otro lado, el estudio base desarrollado por el equipo de Valdés (2012), realizó un muestreo en toda la bahía con mediciones CTD, con un número mayor de estaciones y campañas de monitoreo, particularmente durante el 20 de enero y 6 de abril de 2011, o sea en verano-otoño. Tales registros indican que las condiciones anóxicas en la bahía se alcanzarían con seguridad por sobre los 30 m de profundidad, con concentraciones menores a 0,5 ml/l (Valdés, 2012).

5.2.1.2.4 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 5.2-6). 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.

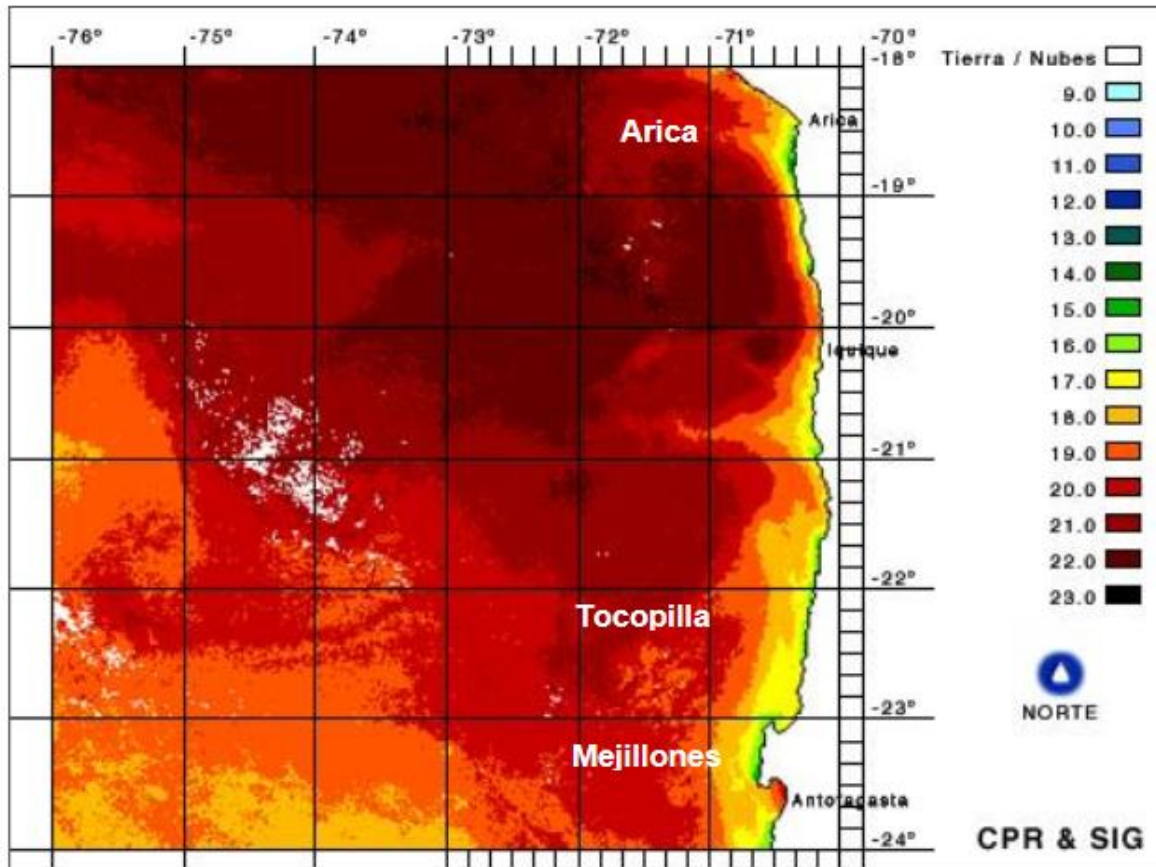


Figura 5.2-6: Temperatura superficial del mar desde Mejillones a Arica. Se registran temperaturas más bajas en la costa debido a la surgencia costera (Fuente: DIA Planta Desaladora Tocopilla)

5.2.1.3 Estructura y funcionamiento ecosistémico en bahía San Jorge

5.2.1.3.1 Modelos Ecosistémicos de bahía San Jorge

Los estudios realizados en la bahía San Jorge en términos de un enfoque ecosistémico han sido centrados en las relaciones tróficas basados en biomasa y energía. Los modelos desarrollados están orientados a los ecosistemas intermareales y submareales, destacando en la modelación, los componentes biológicos bentónicos. Así, en la Bahía San Jorge se han elaborado distintos modelos para los sectores indicados en Figura 5.2-7. Los modelos tróficos desarrollados muestran una gran variedad de situaciones ecológicas, con diferentes complejidades de los ecosistemas conformados en los distintos sectores. Un ejemplo de esos modelos basado en la aproximación indicadas se muestra en la Figura 5.2-8 describen las relaciones tróficas de los sectores La Chimba-Acapulco Caleta Coloso (Valdés et al 2012).

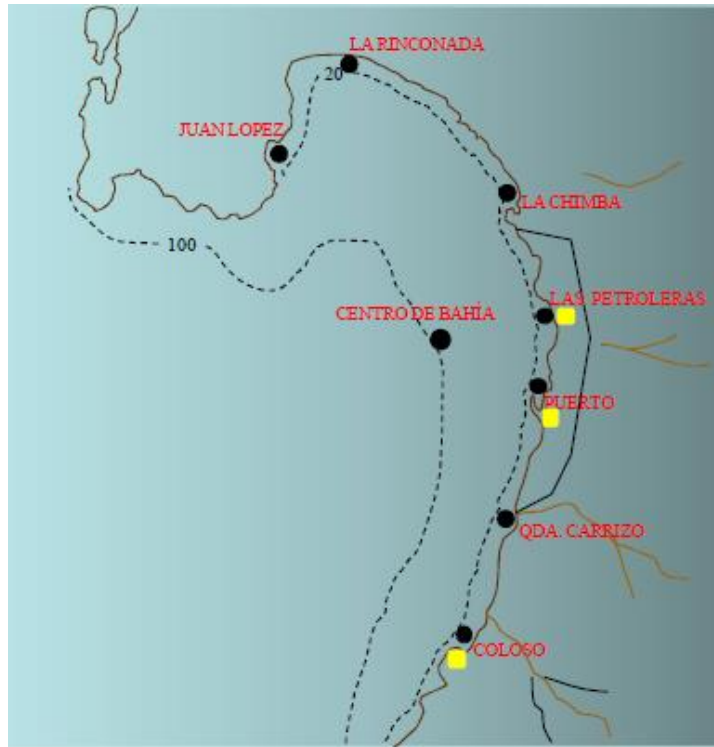


Figura 5.2-7. Localización de sectores de muestreo para el análisis ecosistémico en Valdés *et.al* 2012.

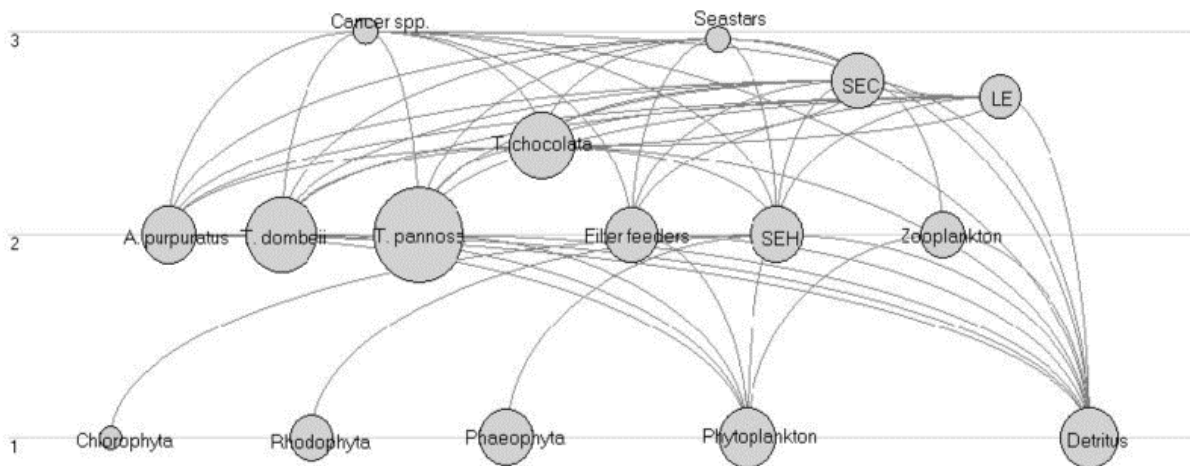


Figura 5.2-8. Modelo Trófico La Chimba-Acapulco-Caleta Coloso (Valdés et al 2012)

5.2.1.3.2 Grado de desarrollo de los Ecosistemas

De acuerdo con el estudio de Valdés et al (2012), y basados en la teoría de la Ascendency de Ulanowicz (1986, 1997), los ecosistemas localizados en Las Petroleras, Puerto Antofagasta, y Quebrada Carrizo presentan un grado de crecimiento y desarrollo que sería *inmaduro*. Este resultado indicaría que son altamente resistentes a perturbaciones. No obstante, el grado de inmadurez podría ser resultante de las intervenciones o perturbaciones humanas en los ecosistemas. Por otra parte, los ecosistemas localizados en los sectores de la Chimba, Acapulco y Caleta Coloso presentarían grados mayores de crecimiento y desarrollo, es decir mayor maduración. Esta mayor maduración podría ser el resultado de una menor perturbación humana. El ecosistema localizado en La Rinconada presentaría un grado de maduración intermedio.

Modelo Trófico Global

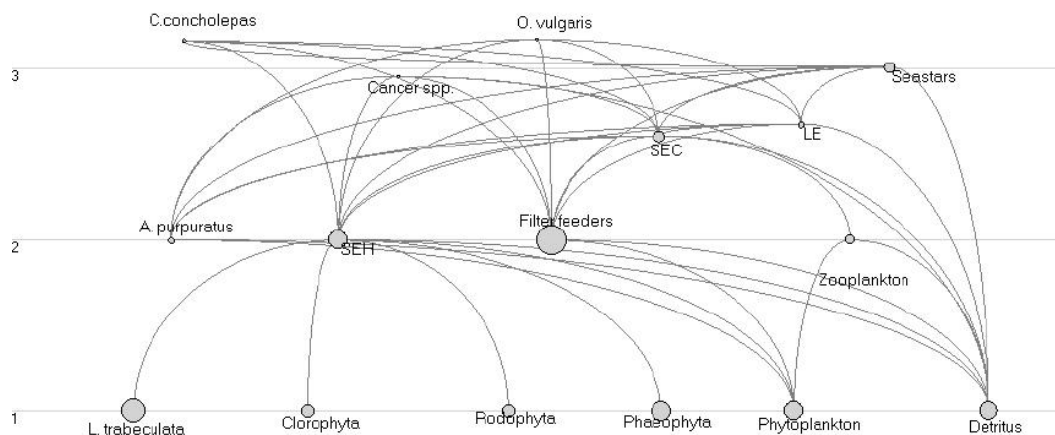


Figura 5.2-9 Modelo trófico global para la Bahía San Jorge, Antofagasta (Valdez et al 2012.)

5.2.1.3.3 Tipos de Comunidades en bahía San Jorge

Desde el punto de vista comunitario en bahía San Jorge se pueden diferenciar tres tipos i) Un grupo conformado por el sector La Rinconada; ii) un segundo grupo formado por La Chimba, Acapulco y Caleta Coloso; y iii) un tercer grupo por los sectores Las Petroleras, Puerto Antofagasta y Quebrada Carrizo (Valdés et al 2012).

5.2.1.3.4 Salud de los Ecosistemas

Desde una perspectiva de salud de los ecosistemas, basados en la abundancia de grupos funcionales y organismos, y métricas definidas en estudio de Valdés et al (2012), el orden desde mayor a menor salud sería el siguiente: Quebrada Carrizo > Puerto Antofagasta > Las

Petroleras > La Chimba > Acapulco > La Rinconada > Caleta Coloso. Es importante destacar que Puerto Antofagasta aparece en el segundo lugar de mejor salud, seguido de Las Petroleras en el tercer lugar. Las explicaciones de estos resultados podrían estar dados por perturbaciones asociadas principalmente a las actividades pesqueras del borde costero, que son distintas en los sectores estudiados y que el análisis se basa en la abundancia de grupos funcionales y especies. El Puerto Antofagasta, que se puede pensar como un lugar más perturbado debido a la actividad del puerto, aparece sorprendentemente en el segundo lugar, es decir entre las localidades más saludables.

Los modelos ecosistémicos desarrollados por Valdez *et.al* (2012), representan perspectivas muy interesantes que permiten observar los ecosistemas, basadas en flujos de energía y materiales, en un estudio intensivo en el tiempo y espacio. Sin embargo, hay que destacar que estas responden a distintas aproximaciones, que se han formulado dentro del estudio, que contribuyen a la comprensión de la organización de los ecosistemas y la complejidad que estos presentan, que se debe tener en consideración en el análisis ambiental de la Bahía San Jorge.

El uso de esas aproximaciones descritas por Valdez *et.al* (2012) requiere de una elaboración especial para servir de base en la interpretación de los resultados que se obtendrán en el presente estudio e integrar la información obtenida por distintos programas de seguimiento ambiental de largo plazo, como son el POAL y los PVA de distintos proyectos en operación, entre otros.

5.2.1.4 *Caracterización física de los componentes abióticos*

Se recopiló información de diversos estudios tanto científicos como técnicos, a modo de describir la física de bahía San Jorge. Se estructuró en cuatro acápite para sintetizar la información: Masas de agua y procesos de mezcla, meteorología, estructura vertical de la columna de agua e Hidrodinámica costera.

5.2.1.4.1 Meteorología

Los valores de temperatura que corresponden a los valores medios de las máximas, mínimas y medias del aire, presentan poca variabilidad. En el caso de las máximas, oscilan entre los 19°C y 22°C. En cambio, las medias varían entre los 16°C y 18°C. Las temperaturas mínimas medias oscilan entre 12°C y 14°C. Los datos existentes muestran una dinámica de las temperaturas para la ciudad de Antofagasta que pueden ser definidas como de gran estabilidad (I. Municipalidad de Antofagasta, 2000).

Los vientos predominantes que se han registrado en la ciudad de Antofagasta corresponden a vientos Sur en un 76%, los que registran mayor intensidad en las estaciones de primavera y verano. Los vientos que soplan en otras direcciones casi no tienen representación, pues corresponden a menos del 5% (datos de Search Ltda. 1997, en el sector costero central de la ciudad).

En el sector centro de la ciudad de Antofagasta, en los meses de primavera y verano, se registran los vientos de mayor intensidad con dirección Sur, con una frecuencia de ocurrencia del 70%, con rangos de velocidad típicos de 10 a 15 nudos. Sobre la base de 7 años de investigación (Marine Consultant & Surveyors), se estimó una intensidad máxima de 36 nudos.

5.2.1.4.2 Masas de agua y procesos de mezcla

Existen diversos estudios, tanto científicos como de la industria, que explican la hidrodinámica existente en bahía San Jorge. Entre los hallazgos importantes, se ha descrito la predominancia de 3 masas de agua que dominan la hidrodinámica y los procesos de surgencia que ocurren en bahía San Jorge. Las aguas superficiales subtropicales (ASST) y las aguas ecuatoriales subsuperficiales (AESS) se enfrentarían a las aguas superficiales subantárticas (ASSA), lo cual se sumaría la contracorriente costera de Chile que, producto del viento SW, generarían procesos de surgencia en Punta Angamos y Punta Coloso (Dávila, 2015). Además, se menciona una cuarta masa de agua, las aguas ecuatoriales subsuperficiales (AESS) desde el norte la cual estaría ingresando en la estación de invierno hacia bahía San Jorge, producto de eventos de mezcla vertical al romperse la termoclina. La Figura 5.2-10 muestra las masas de agua existentes a lo largo de Chile, con la ubicación latitudinal de bahía San Jorge.

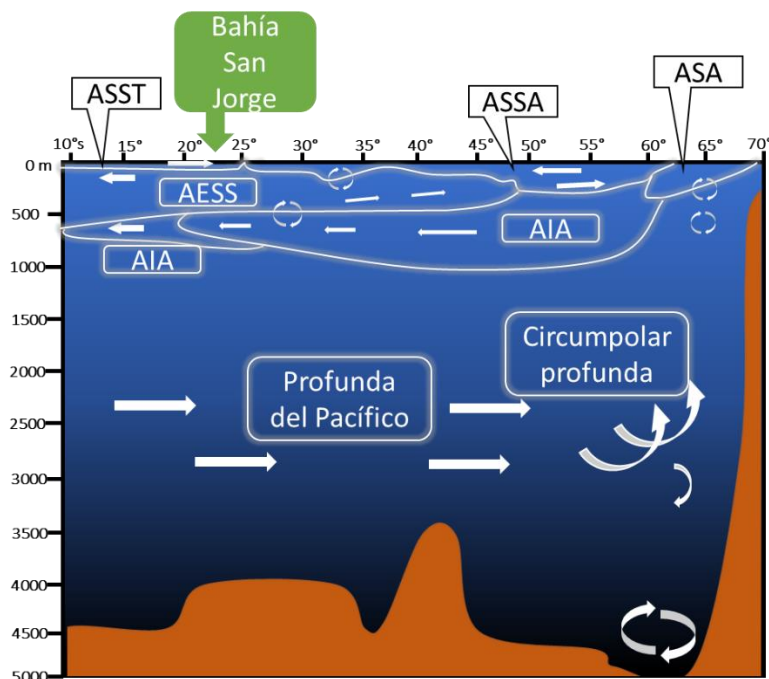


Figura 5.2-10 Masas oceánicas existentes en el mar de Chile, de norte a sur. Se indica la ubicación latitudinal de bahía San Jorge. **ASST**: Agua Subsuperficial Tropical. **AESS**: Agua Ecuatorial Subsuperficial, **ASSA**: Agua subsuperficial Antártica, **ASA**: Agua Superficial Antártica, **AIA**: Agua Intermedia Antártica. Fuente: Modificado de Balcells. F, 2005. Chile País Oceánico

Se han identificado procesos de mezcla en invierno y estratificación en verano, esto entre los primeros 20 m de profundidad debido a las variaciones estacionales que modulan la temperatura superficial del agua. Por otro lado, los procesos de surgencia se encontrarían preferentemente identificados en primavera verano, modulado principalmente por el viento proveniente del SW, tales zonas de surgencia se encontrarían espacialmente en Punta Angamos y Punta Coloso (Dávila, 2015).

5.2.1.4.3 Estructura vertical de la columna de agua

Bahía San Jorge durante la estación de verano se caracteriza por una gran influencia de aguas subtropicales (ASST), con temperaturas superiores a 19°C, asociadas a salinidades mayores a 35 PSU, mientras que la zona costera dentro de los 20 m presenta una situación térmica más fría y salinidad entre 34,7 y 34,8 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 (ASST), de elevada temperatura y salinidad, que entran en contacto con las aguas frías de la surgencia costera (AESS). En tanto, el período invernal se caracteriza por una mayor uniformidad de los componentes térmicos y salinos. La temperatura fluctúa entre 14°C y 15°C y la salinidad entre 34,5 y 34,9 PSU. Comparativamente, la influencia de origen subantártico es más acentuada en esta época. (Aquamambiente, 2007).

5.2.1.4.4 Hidrodinámica costera

La hidrodinámica costera en bahía San Jorge está caracterizada como un sistema fuertemente influenciado por el viento, y en menor medida de las mareas. La variabilidad de las condiciones dinámicas de la bahía ha sido descrita por Escribano et al (2001), postulando un modelo de circulación general de una capa, el cual está condicionado por el régimen de vientos a escala diurna y por eventos de surgencia activos originados al sur de la Bahía (Punta Coloso), siendo el efecto de la marea débil (Escribano et al, 2001)

Más cercano a la línea de costa las corrientes son paralelas a ella y de baja magnitud, registrándose una circulación de dos capas: mientras la corriente reinante superficial es predominantemente hacia el S o SW, la corriente de fondo, fluctúa básicamente entre los cuadrantes segundo y cuarto, es decir, entre las direcciones S-SE y N-NW, no obstante, a pesar de esta variabilidad, se registra un transporte residual hacia el Norte, en la capa de agua de fondo (SEMAR, 2001). En el sector de la Chimba, la dinámica costera del estrato superficial de la columna de agua está dominada principalmente por la acción del viento y dentro de éste se distingue a la brisa marina como el componente más importante en determinar la circulación marítima. La marea sería un factor dinámico menos importante con relación al forzamiento del viento (SEMAR, 2001).

A nivel general, el régimen oceanográfico de la zona norte de Chile está dominado por procesos de surgencias costeras causado por los vientos predominantes del Suroeste, en particular bahía San Jorge presenta este fenómeno en el sector sur, cercano a Punta Coloso,

lo que incide directamente en la hidrodinámica en las zonas menos abrigadas a la península. Este foco de surgencia ha sido descrito en tres fases dinámicas: (i) fase inicial con intensificación del viento sur que induce surgencia en Punta Coloso, pulsando la pluma de agua fría hacia el norte y llenando la bahía, (II) fase intermedia de relajación de vientos y reflujos del cuerpo de agua hacia el sur, (III) desarrollo de una zona frontal induciendo una zona de retención interior y un giro ciclónico de la corriente al interior de la bahía (Escribano *et.al*, 2001).

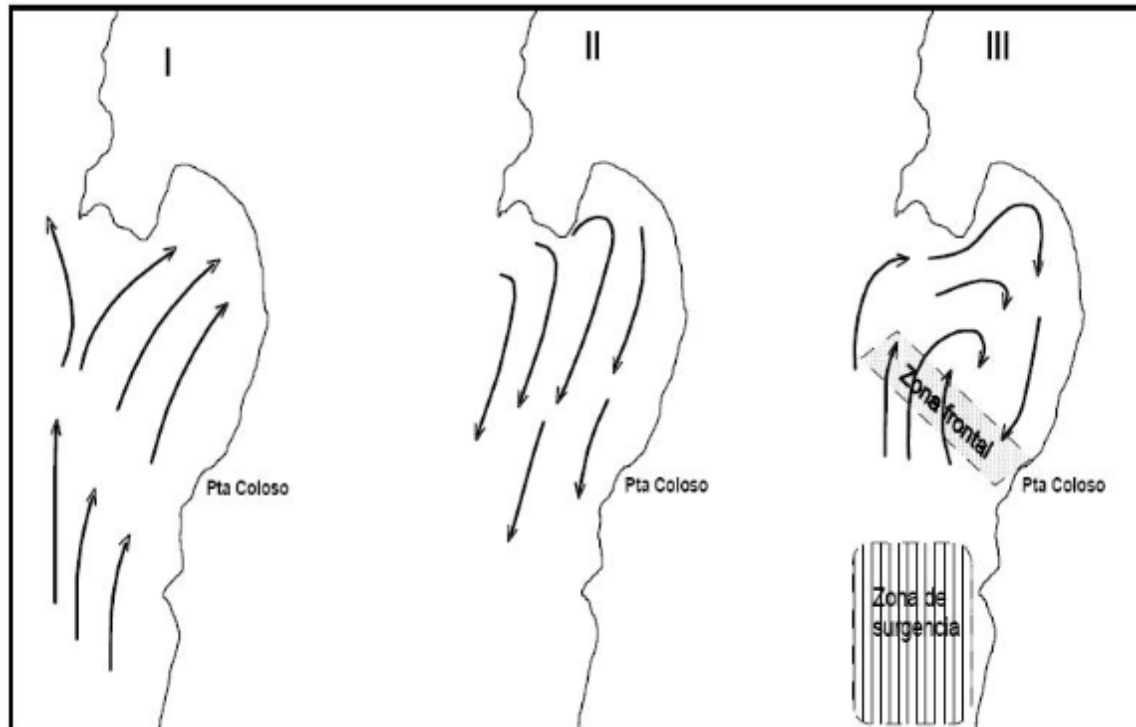


Figura 5.2-11: Modelo conceptual de circulación forzada por el viento y la surgencia de bahía de Antofagasta. (Fuente: Escribano *et al*, 2001).

En cuanto al régimen de mareas, de acuerdo con el SHOA, la marea en el sector de Antofagasta tiene un régimen mixto semidiurno, con dos pleamares y dos bajamares en un día lunar, pero con una desigualdad diurna entre las dos pleamares de cada día. La hidrodinámica se ve influenciada en la marea netamente en los fenómenos llenante y vaciante intradiario, sin embargo, el forzante principal de la circulación son los vientos y la forma de la costa, generando surgencias

5.2.1.5 Caracterización fisicoquímica de los componentes abióticos

Para caracterizar fisicoquímicamente los componentes abióticos de bahía San Jorge, en específico los presentes en la columna de agua y sedimento, 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 monitoreo POAL.

El procedimiento de obtención de datos del Sistema de Evaluación de Impacto ambiental (SEIA), tomó en consideración la totalidad de los proyectos insertos dentro de la cuenca hidrográfica que guarda relación con la bahía, de forma tal de poder abordar descargas tanto superficiales como subterráneas, que puedan llegar de forma indirecta a la bahía de San Jorge. Luego, se trazó un polígono que delimitó la totalidad de proyectos dentro de tal cuenca. De un total de 480 proyectos de la base de datos del SEIA en la región de Antofagasta, solo 199 entidades se ubican dentro del polígono definido y 168 cuentan con información. El listado completo puede se adjunta en (Anexos digitales, 03_Anexos_digitales, 02_OE1, 2_Recopilacion). La Figura 5.2-12 muestra la delimitación del polígono en base a la cuenca hidrográfica y los proyectos dentro de éste. De estos 168 proyectos, se listó un total de 5.581 fuentes de información, los cuales fueron revisados de forma individual a modo de verificar la existencia de datos de calidad ambiental para agua y sedimento. La Tabla 5.2-1 y Tabla 5.2-2 muestran un listado de las fuentes que finalmente cuentan con información de la calidad ambiental del agua y sedimento respectivamente.

Asimismo, se recopiló toda la información recopilada del estudio base “Estudio levantamiento de información para el control ambiental de la bahía de San Jorge”, código BIP 30059576, desarrollado por la Universidad de Antofagasta, la cual cuenta con información a lo largo de toda la bahía, durante los años 2008 al 2011.

Es necesario dejar explícito, que la fuente de información “Minera Escondida Limitada” considera sólo un conjunto reducido de datos y no la totalidad informada en los PVA respectivos. Lo anterior, debido a que la forma de presentar la información no permite la obtención de coordenadas de los puntos de muestreo, y tampoco permite la obtención de fechas de muestreo.

Tabla 5.2-1 Listado de fuentes con información de la calidad ambiental de las aguas en bahía San Jorge y el número de datos utilizados en el análisis.

Fuentes con información Titular/Proyecto Número de datos utilizados	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	Total general	
Aguas de Antofagasta S.A.																												
Planta desaladora Norte de Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1195	1195
Planta Desaladora Sur Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	373	366	-	27	228	-	-	-	-	-	-	-	-	994
Antofagasta Terminal Internacional S.A.																												
Mejoramiento Sitio 4 y 5, Antofagasta Terminal Internacional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	194	864	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1058
Puerto de Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	180	120	120	120	-	740	
DIRECTEMAR																												
Antepuerto	14	-	30	45	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	92	92	92	92	92	-	29	59	52	55	58	-	1082	
Balneario Municipal	14	45	30	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	134
Cuadra Calle Calama	14	45	30	45	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	92	92	92	92	92	-	29	59	52	55	58	-	1127	
Estación Control La Rinconada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	52	56	58	-	225	
Frente Cervecería	14	90	30	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	179	
Frente Puerto Antiguo de Antofagasta	14	45	30	45	-	-	-	-	26	28	28	28	28	28	92	92	92	92	92	-	29	28	52	55	58	-	982	
Playa Amarilla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	58	-	86	
ECONS S.A. CHILE																												
Aumento de la capacidad de manejo de las aguas servidas de Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	366	1073	-	-	-	-	-	-	1439
Ilustre Municipalidad de Antofagasta																												
Construcción y Habilitación de Playas y Piscinas Artificiales, Sector Centro, Antofagasta II Región	-	-	-	-	-	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76
Jorge Valdés																												
Estudio levantamiento de información para el control ambiental de la bahía de San Jorge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6328	2852	3181	1553	-	-	-	-	-	-	-	-	13914
MINERA ESCONDIDA LIMITADA																												

Fuentes con información Titular/Proyecto Número de datos utilizados	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	Total general
Suministro Complementario de Agua Desalinizada para Minera Escondida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	231	-	-	-	-	-	270	270	270	-	-	1053
Puerto de Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	76	52	32	70	58	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	406
Proyecto de lixiviación de sulfuros, planta desaladora industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	-	-	684	880	-	224	-	-	-	-	-	-	-	1844
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS																											
Proyecto construcción playa la chimba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
EMPRESA PORTUARIA ANTOFAGASTA																											
Puerto de Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	88	52	88	70	289	993	1097	217	441	-	-	634	550	571	217	217	5556

Tabla 5.2-2 Listado de fuentes con información de la calidad ambiental del sedimento marino en bahía San Jorge y el número de datos utilizados en el análisis.

Fuentes con información Titular/Proyecto Número de datos utilizados	1993	1994	1995	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total general	
Aguas de Antofagasta S.A.																									
Planta desaladora norte de Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	54
Planta desaladora sur Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	42	-	96	42	-	-	-	-	-	-	-	-	216
Antofagasta Terminal Internacional S.A.																									
Mejoramiento Sitio 4 y 5, Antofagasta Terminal Internacional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115
PUERTO DE ANTOFAGASTA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	54	60	60	60	-	-	294
DIRECTEMAR																									
Antepuerto	9	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
Balneario Municipal	-	-	-	-	-	-	-	18	22	22	11	27	24	-	22	22	-	22	44	40	34	38	-	-	346

Fuentes con información Titular/Proyecto Número de datos utilizados	1993	1994	1995	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total general	
Club de yates	-	18	18	27	-	-	-	20	24	24	12	25	25	-	22	22	-	22	44	26	34	38	-	401	
Cuadra Calle Calama	-	-	-	-	-	-	-	18	22	22	11	27	24	-	22	22	-	16	44	40	34	38	-	340	
Estación Control la Rinconada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	40	34	38	-	156	
Frente Cervecería CCU	-	-	-	-	-	-	-	18	22	22	11	27	24	-	22	22	-	22	44	40	17	-	-	291	
Playa Amarilla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	38	-	55	
Playa El Tatio	-	-	-	-	-	-	-	18	22	22	11	27	24	-	22	22	-	16	44	40	34	38	-	340	
Poza Puerto	-	-	-	-	-	-	-	20	24	24	12	26	24	-	22	22	-	22	44	40	34	38	-	352	
Roca Abel	8	9	-	-	-	-	-	18	22	22	11	26	24	-	22	22	-	22	44	40	17	-	-	307	
ECONS S.A. CHILE																									
Aumento de la capacidad de manejo de las aguas servidas de Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	237	185	-	-	-	-	-	-	422
Ilustre Municipalidad de Antofagasta																									
Construcción y Habilitación de Playas y Piscinas Artificiales, Sector Centro, Antofagasta II Región	-	-	-	-	-	324	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	324
Jorge Valdés																									
Estudio levantamiento de información para el control ambiental de la bahía de San Jorge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	539	549	330	391	300	-	-	-	-	-	-	-	2109
MINERA ESCONDIDA LIMITADA																									
Suministro Complementario de Agua Desalinizada para Minera Escondida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63
Proyecto de lixiviación de sulfuros, planta desaladora industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	1320	-	544	-	-	-	-	-	-	-	-	2464
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS																									
Proyecto construcción playa la chimba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
EMPRESA PORTUARIA ANTOFAGASTA																									
Puerto de Antofagasta					42		49			49	49	95	46	45	45	46			92	46	46	46	46		742

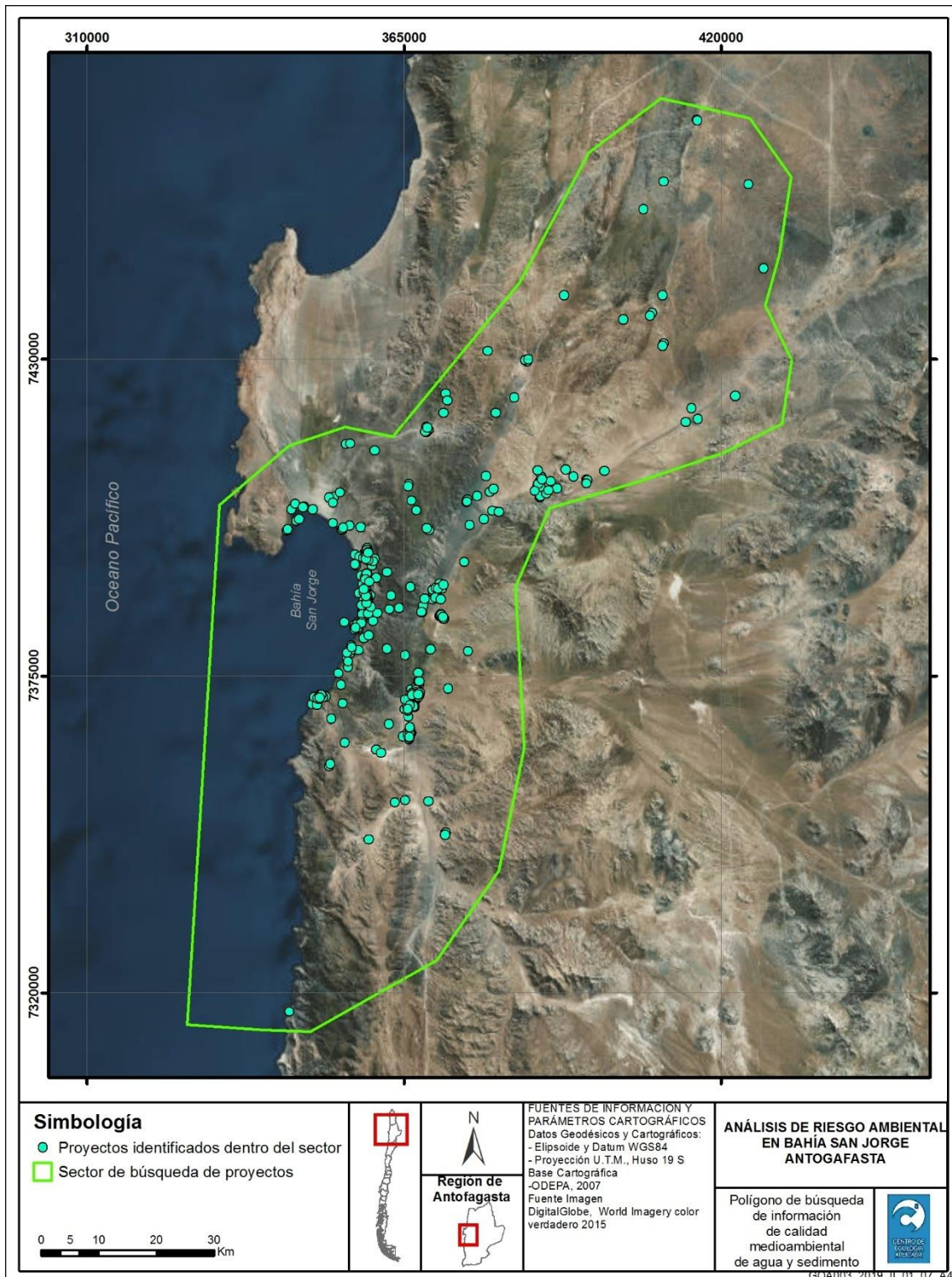


Figura 5.2-12 Ubicación geográfica del polígono definido en base a la cuenca hidrográfica que guarda relación con bahía San Jorge, y los proyectos identificados dentro del sector. Se contabiliza un total de 199 entidades fiscalizables dentro del polígono.

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 interés en bahía San Jorge, coincidentes con las denominadas por POAL y sectores de importancia. Estas figuras, permiten identificar de forma general el estado de bahía San Jorge 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.

La Tabla 5.2-3 muestra la ubicación geográfica de sectores, los que serán utilizados en la referenciación espacial de la información para el análisis de cada parámetro. Asimismo, la Figura 5.2-13 y Figura 5.2-14 dan cuenta de la ubicación en el mapa de tales sectores, tanto para los datos de calidad históricos de agua y sedimento, respectivamente.

Tabla 5.2-3 Sectores de interés para la referenciación espacial de los datos históricos en las figuras

Coordenadas UTM (m)		Nombre	ID
Norte	Este		
7372529.68	351266.34	1 -Coloso	COL
7378324.07	354044.47	2 -Quebrada Carrizo	CAR
7385229.71	356663.85	3 -Puerto	ATI
7388404.72	351742.59	4 -Centro de Bahía	CEN
7388722.22	357219.48	5 -Las Petroleras	PET
7395548.48	356108.23	6 -La Chimba	CHIM
7403486.00	348646.96	7 -La Rinconada	RIN

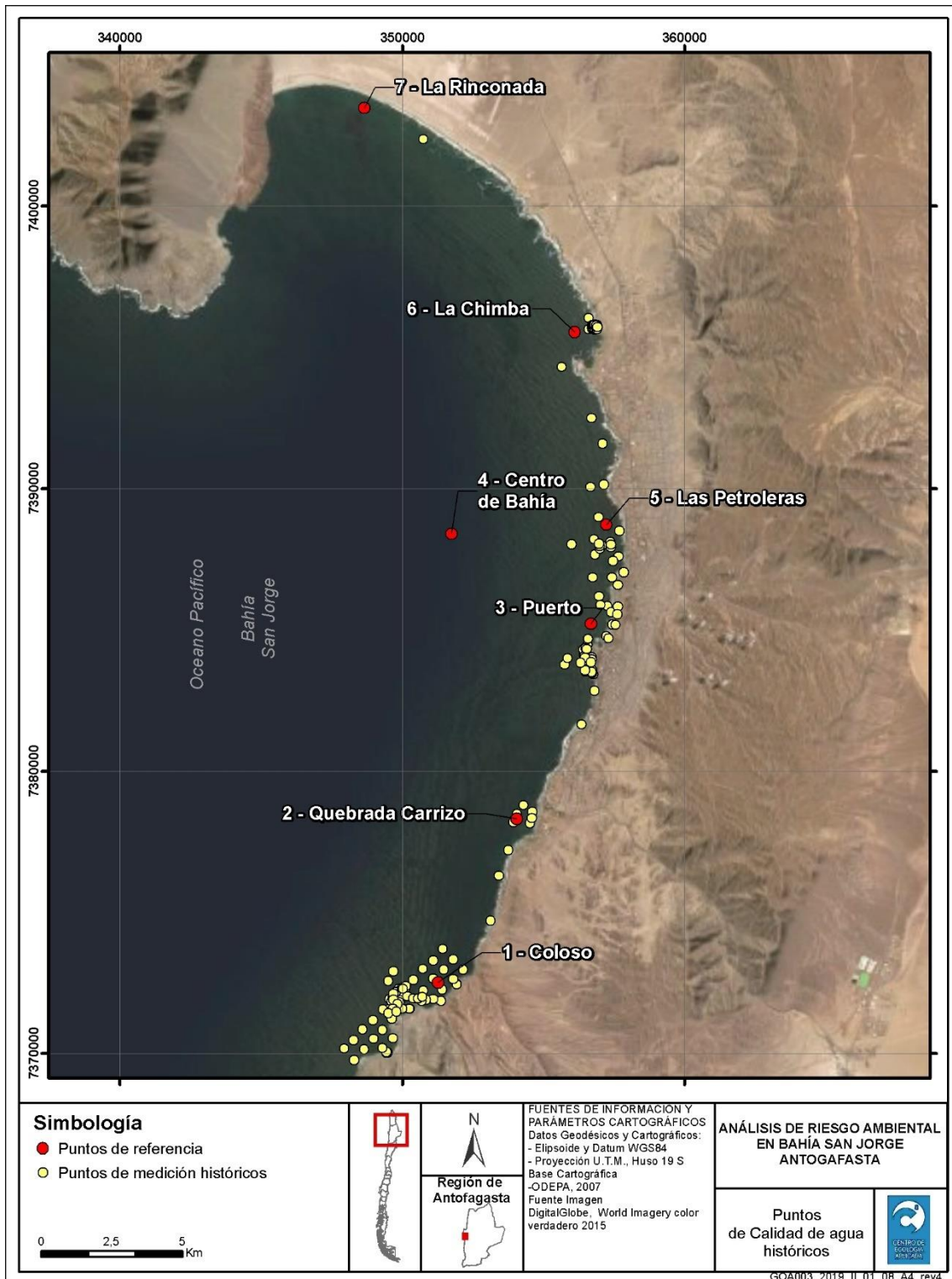


Figura 5.2-13 Sectores de interés para la referenciación espacial de los datos históricos de calidad de agua

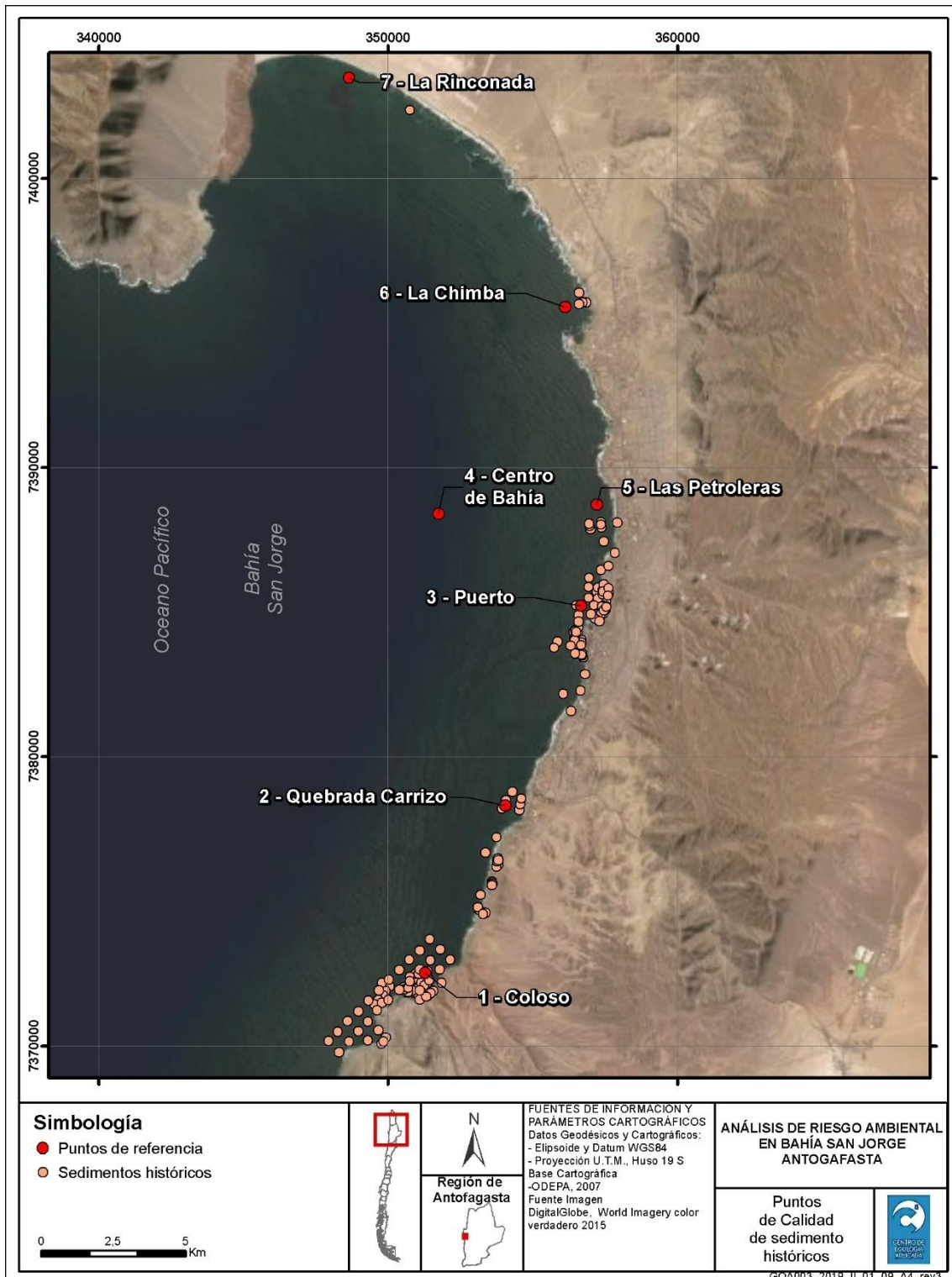


Figura 5.2-14 Sectores de interés para la referenciación espacial de los datos históricos de calidad de sedimento

5.2.1.5.1 Columna de agua

Para la caracterización de los datos históricos de calidad de agua se utilizaron un total de 4 normativas. Los valores 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:
 - 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 5.2-4 muestra los valores referenciales utilizados para comparar los parámetros de calidad ambiental del agua marina.

Tabla 5.2-4 Normativa nacional e internacional utilizada para contrastar los parámetros de calidad ambiental del agua marina en bahía San Jorge

Parámetro	Unidad	DS N°144/2009	EPA WQG/2009 CMC	EPA WQG/2009 CCC	CCME/2007	Australia y Nueva Zelanda 2000
Arsénico disuelto	µg/L		69,00	36,00	12,50	
Arsénico total	µg/L	110,00				
Cadmio disuelto	µg/L		40,00	8,80	0,12	0,70
Cadmio total	µg/L	33,00				
Cobre disuelto	µg/L		4,80	3,10		0,30
Coliformes fecales	NMP 100mL ⁻¹	1000,00				
Cromo total	µg/L	550,00				
Mercurio disuelto	µg/L		1,80	0,94		
Mercurio total	µg/L	11,00				
Nitrato	µg/L				16,00	
Plomo disuelto	µg/L		210,00	8,10		2,20
Plomo total	µg/L	110,00				
Vanadio	µg/L					50,00
Zinc disuelto	µg/L		90,00	81,00		7,00
pH	-	8,50		8,50	8,70	

De tales normativas, la Tabla 5.2-5 muestra un resumen de los % de superación con los datos recopilados para calidad de agua.

Tabla 5.2-5 Porcentajes de superación de la normativa citada, respecto a los parámetros de calidad ambiental recopilados en bahía San Jorge.

Normativa	DS N°144/2009		EPA WQG/2009 CMC		EPA WQG/2009 CCC		CCME/2007		Australia y Nueva Zelanda 2000	
	Limite	% Sup.	Limite	% Sup.	Limite	% Sup.	Limite	% Sup.	Limite	% Sup.
Arsénico disuelto			69,00	0,00	36,00	0,00	12,50	0,00		
Arsénico total	110,00	0,46								
Cadmio disuelto			40,00	0,00	8,80	0,00	0,12	12,47	0,70	0,00
Cadmio total	33,00	0,00								
Cianuro	770,00	0,00							2,00	0,00
Cobre disuelto			4,80	2,84	3,10	5,46			0,30	98,16
Coliformes fecales	1000,00	1,45								
Cromo total	550,00	0,00								
Mercurio disuelto			1,80	0,00	0,94	11,35				
Mercurio total	11,00	0,00								
Niquel disuelto			74,00	0,00	8,20	11,35			7,00	
Nitrato							16,00	1,41		
Plomo disuelto			210,00	0,00	8,10	0,00			2,20	0,55
Plomo total	110,00	0,00								
Vanadio									50,00	0,00
Zinc disuelto			90,00	0,00	81,00	0,00			7,00	0,68
pH	8,50	3,74			8,50	3,74	8,70	0,56		

i. Parámetros de condición instantánea

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

Este parámetro indicativo de la actividad biológica en la columna de agua ha fluctuado históricamente entre valores bajo el límite de detección (<2,0 mg/L) registrado durante los años 2012 y 2013, y un registro máximo de 8,0 mg/L medido en el sector Quebrada Carrizo en el año 2008.

En términos de la variabilidad temporal los valores de DBO₅ no presentan una tendencia clara, se observa que las concentraciones medidas en la superficie registran valores mayores que las medidas en el estrato fondo (Figura 5.2-15, arriba).

En relación con la distribución espacial de los registros en la bahía, se observa que los valores más elevados se presentan en el punto de referencia 2, es decir, en el sector Quebrada Carrizo (Figura 5.2-15, abajo), sin embargo tampoco existe homogeneidad espacial en la información, siendo Quebrada Carrizo y entre Puerto y Petroleras, donde se concentra la información disponible.

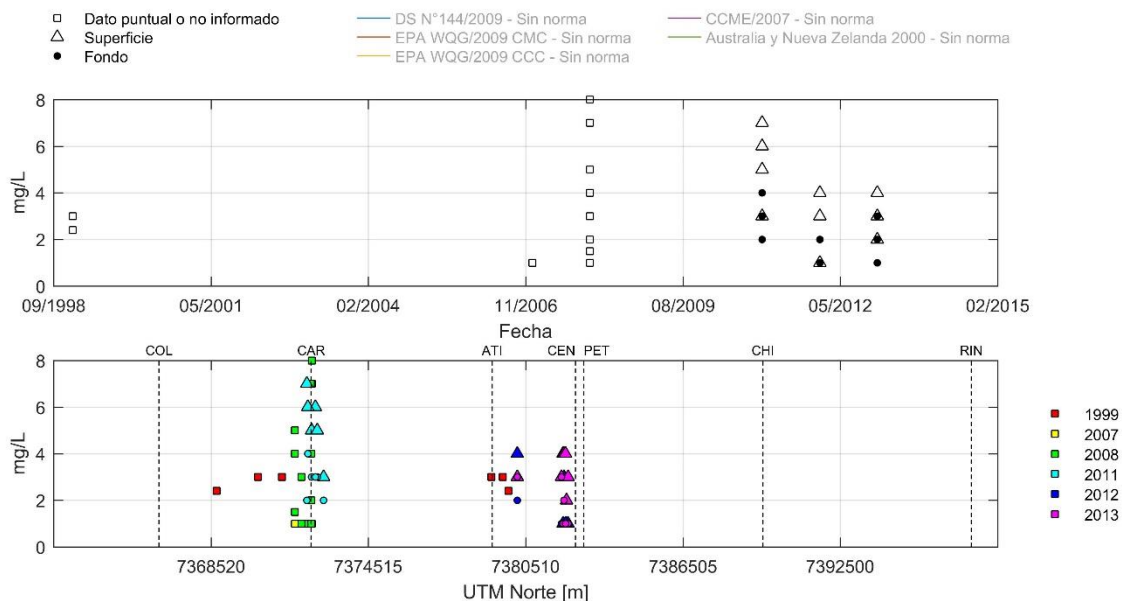


Figura 5.2-15 Demanda Bioquímica de Oxígeno en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado

En lo que respecta a los valores máximos de concentración permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso de la DBO₅ no se registran valores en la legislación revisada (Figura 5.2-16).

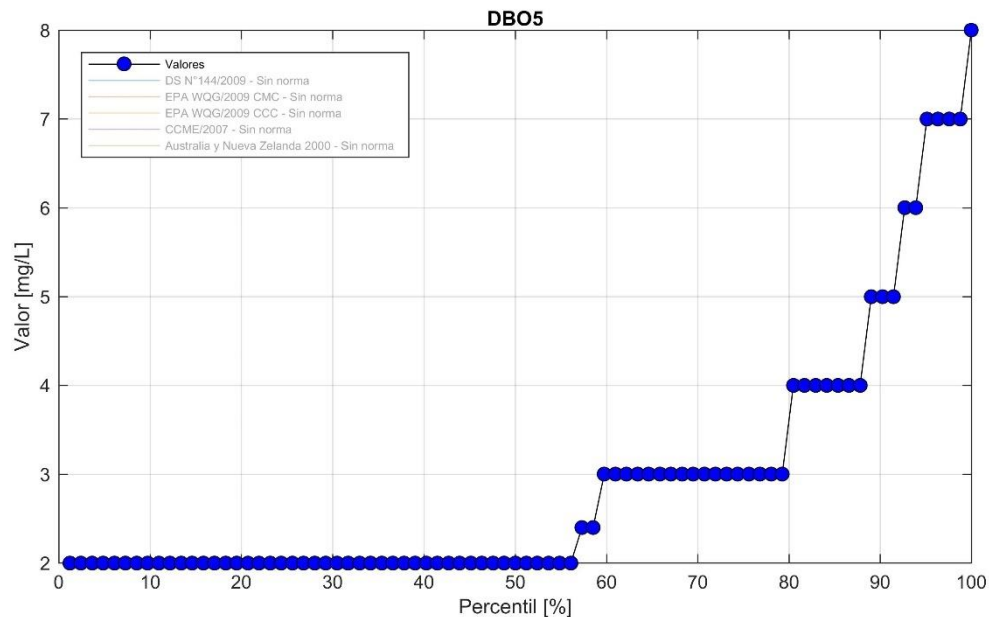


Figura 5.2-16 Demanda Bioquímica de Oxígeno en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua

b) Oxígeno Disuelto

La concentración de Oxígeno Disuelto presente en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente ha fluctuado entre un valor mínimo de 0,02 mg/L en profundidad y una concentración máxima histórica de 13,44 mg/L. Asimismo, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones de oxígeno han variado entre un valor mínimo de 0,02 mg/L a 2 mg/L, mientras que en superficie los valores oscilan entre los 8 a 9 mg/L en promedio.

En términos de la variabilidad temporal las concentraciones se mantienen estables entre los años 2007 y 2017, se observan registros más elevados en los años 2004 y 2013 (Figura 5.2-17 arriba), pero sin una tendencia.

Considerando la variación espacial de los registros, se observa una distribución relativamente constante a lo largo de la bahía. (Figura 5.2-17, abajo).

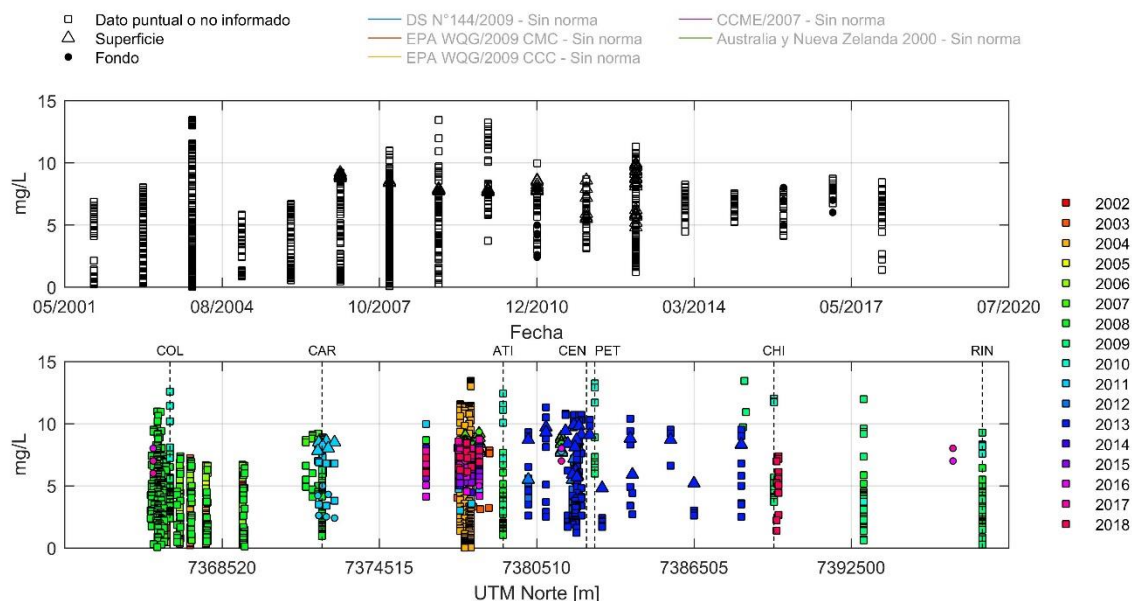


Figura 5.2-17 Concentración de Oxígeno Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que se refiere a los valores máximos de concentración permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso del Oxígeno Disuelto no se registran valores en la legislación revisada (Figura 5.2-18).

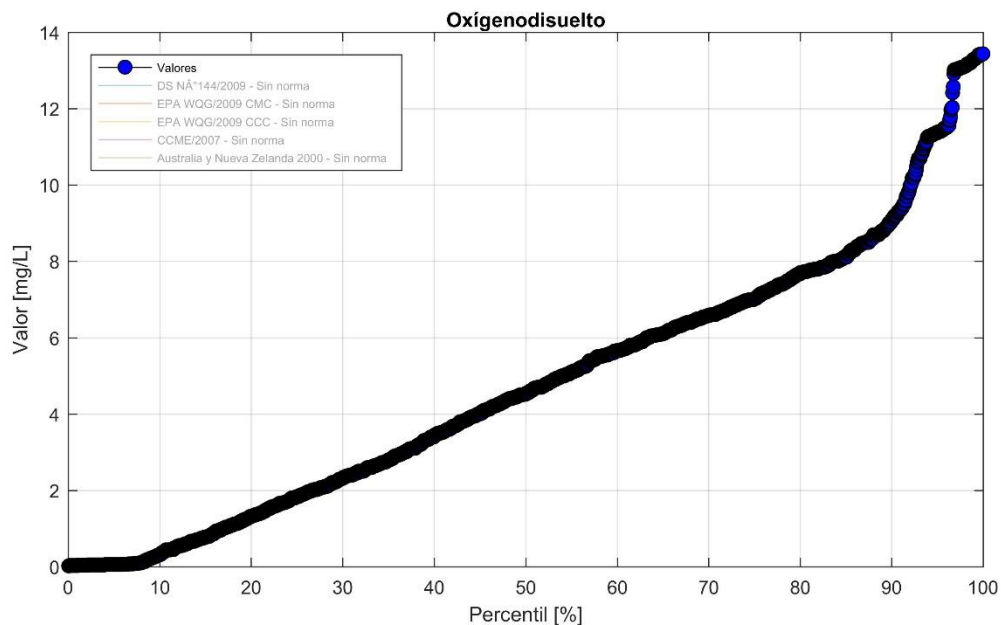


Figura 5.2-18 Concentración de Oxígeno Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

c) 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 entre un valor mínimo de 7,38 medido en E4 durante 2013 y un máximo de 8,22 unidades medidas durante 2013 en puntos en las cercanías del sector Las Petroleras.

La variación temporal de pH en la columna de agua no registra una tendencia central, se puede observar valores levemente mayores para los registros medidos en superficie (Figura 5.2-19, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los registros, se observa que los valores se mantienen constante a lo largo de bahía San Jorge, entre los puntos de referencia 1 y 6, es decir, entre Coloso y La Chimba, respectivamente (Figura 5.2-19, abajo).

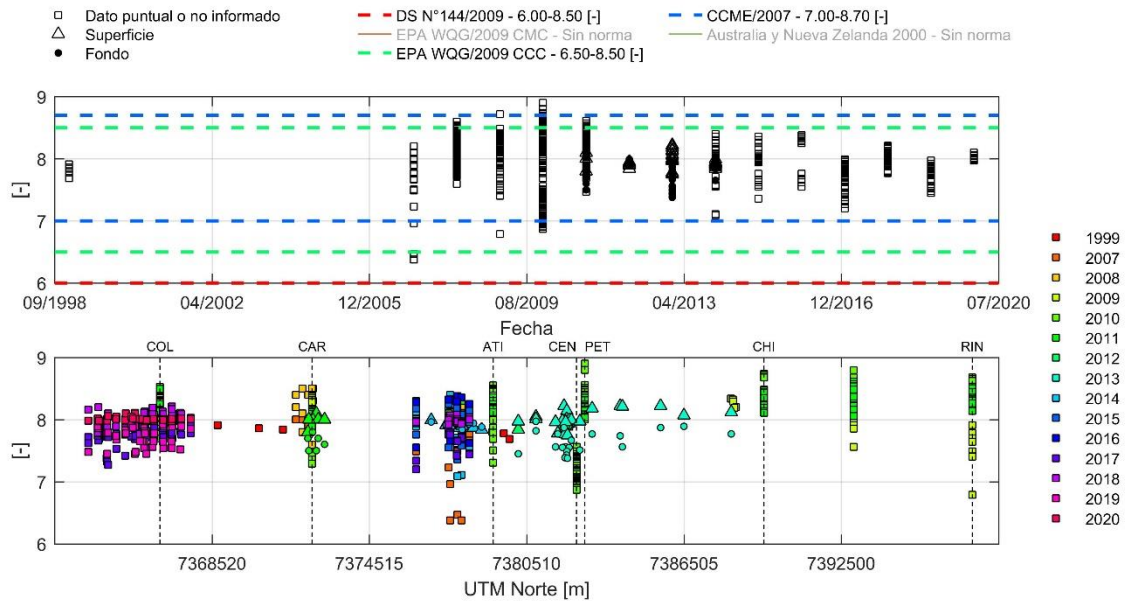


Figura 5.2-19 pH en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presentan los umbrales establecidos por las normas estudiadas.

Con respecto a la normativa nacional e internacional que establece valores máximos de pH, tienen un porcentaje de superación de 3,74% para la norma DS N°144/2009 y EPA WQG/2009 CCC, mientras que un 0,56% según la norma CCME/2007 (Figura 5.2-20).

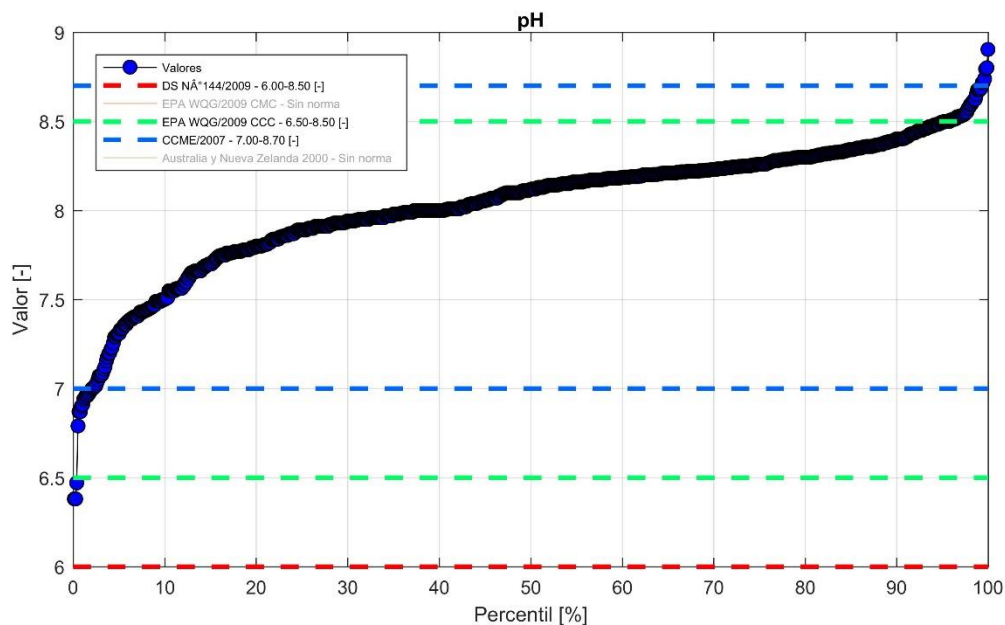


Figura 5.2-20 pH en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144/2009, EPA WQG/2009 CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CCME/2007 (*Canadian Council of Ministers of the Environment*).

d) *Potencial Redox (ORP)*

Los registros del Potencial Redox en la sección transversal de la columna de agua de la bahía San Jorge son solo reportados mediante una campaña realizada durante 2011. Todos los puntos de muestreo presentaron valores promedio positivos (oxidantes), el que presentó un mayor potencial oxidante es E1 (sector Quebrada Carrizo) con 257 mV.

La variación temporal refleja la existencia de un total de 6 campañas de muestreo, donde se puede inferir que en el año 2009 y principios del 2010 hubo una disminución significativa del potencial redox en el agua, con niveles reductores importantes. Luego, los niveles comienzan a mejorar durante el año 2011 (Figura 5.2-21, arriba).

A nivel espacial, se observa una homogeneidad de los valores, con niveles entre los -50 a 250 mV a lo largo de toda la bahía aproximadamente. (Figura 5.2-21, abajo).

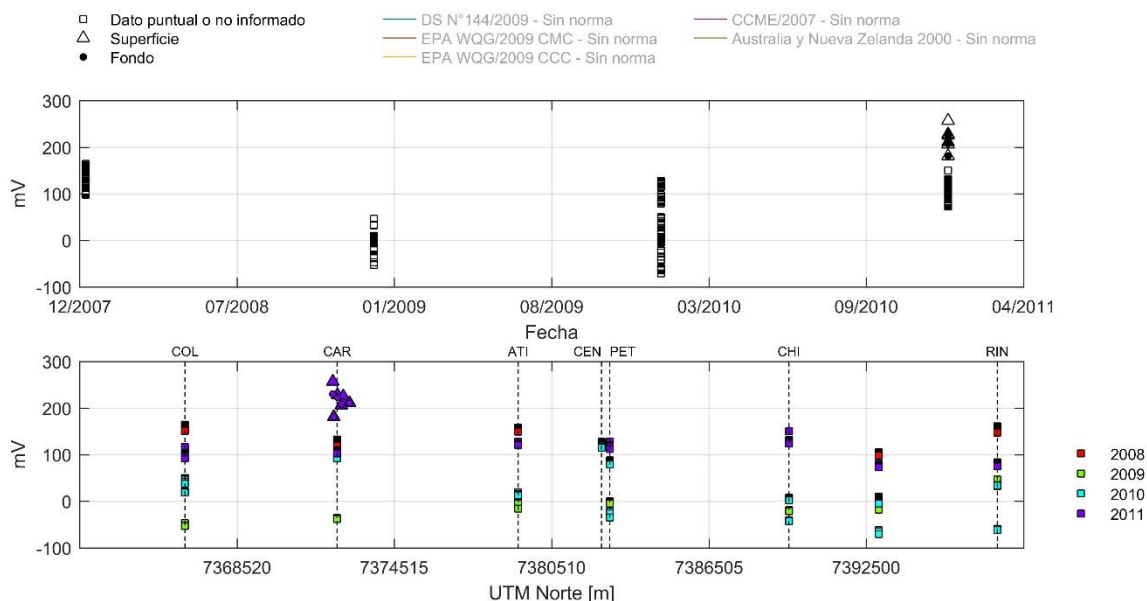


Figura 5.2-21 Potencial Redox en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a los límites máximos permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso del Potencial Redox en agua marina no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-22).

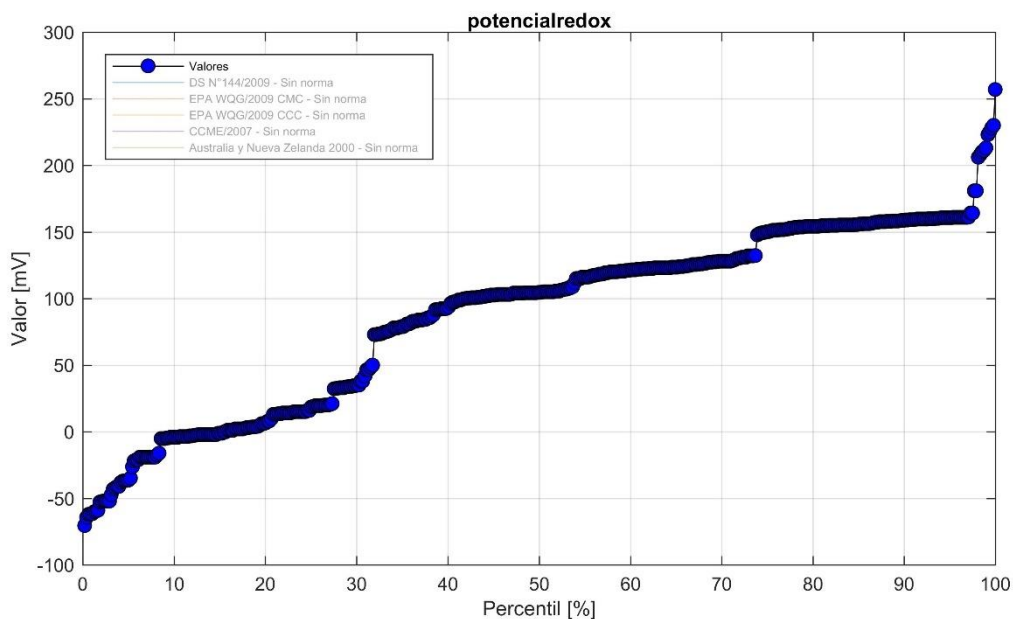


Figura 5.2-22 Valores de Potencial Redox en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

e) Temperatura

La temperatura del agua en la columna de la bahía históricamente ha variado entre un valor mínimo de 12,67°C y un máximo de 23,46°C, en Puerto y Petroleras respectivamente en el año 2010.

En términos de la variabilidad temporal la Temperatura en la columna de agua no registra una tendencia central, con una variabilidad media entre los 12 y 23 °C (Figura 5.2-23, arriba).

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que los valores se mantienen uniformes a lo largo de la bahía (Figura 5.2-23, abajo).

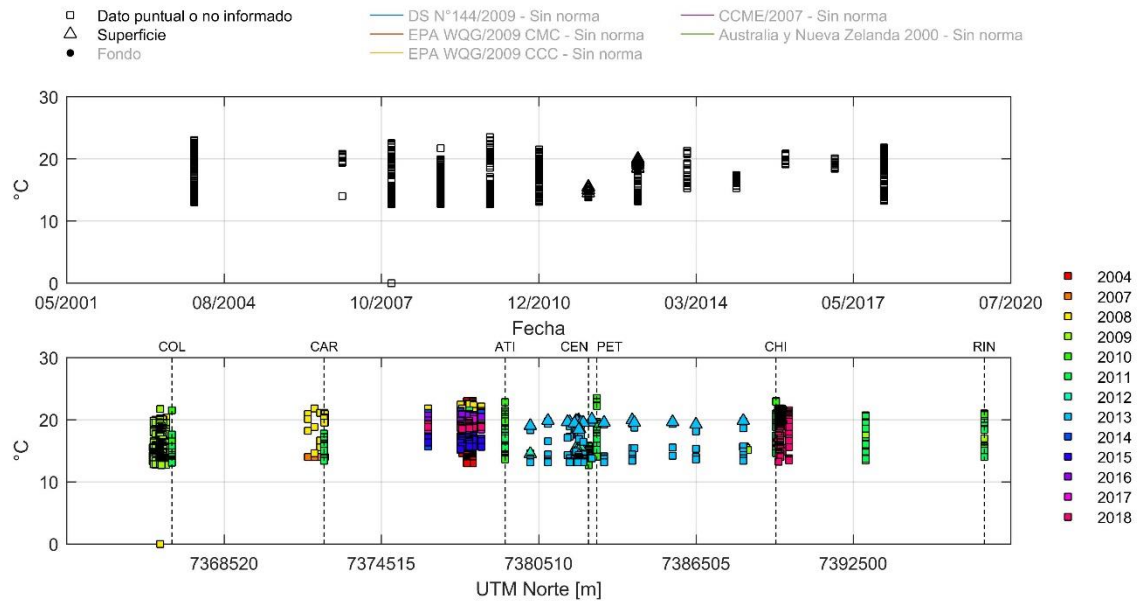


Figura 5.2-23 Temperatura en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

Con respecto a los umbrales de Temperatura permitidos por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-24).

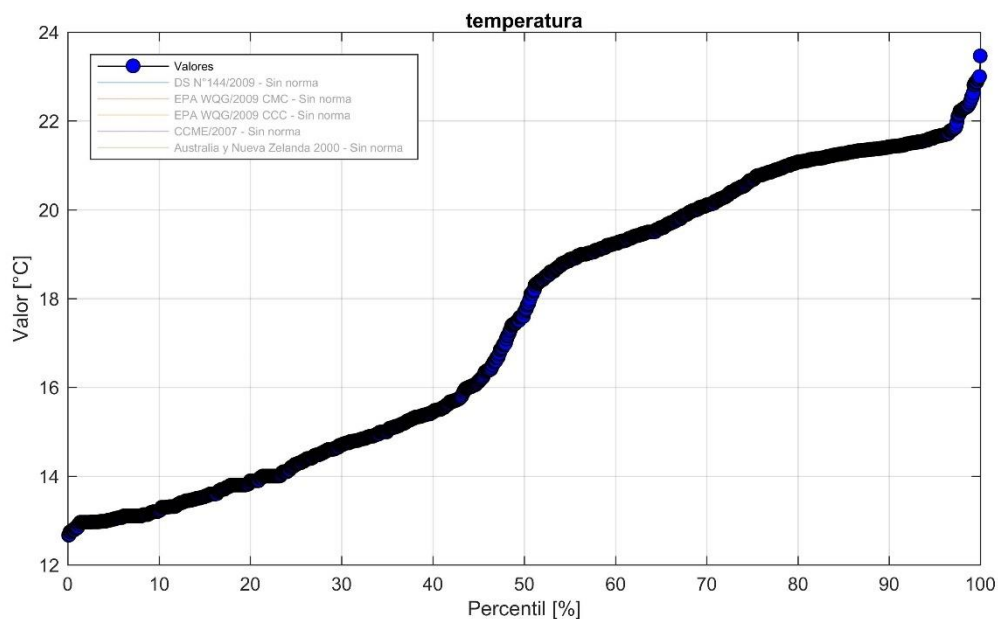


Figura 5.2-24 Temperatura en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

ii. Otros parámetros de interés ambiental

a) Aceites y Grasas

La concentración de Aceites y Grasas en la columna de agua en la bahía históricamente ha variado entre valores bajo el límite de detección (<0,1 mg/L y <10 mg/L según distintos análisis) y una concentración máxima de 18,4 mg/L en el sector Puerto registrado durante el año 1997.

La variación temporal muestra que los primeros años de medición no seguían un patrón de comportamiento determinado, con un peak en el año 1997. A partir del 2002 los valores se mantienen constante hasta el año 2007 donde se observa una disminución de la concentración que se mantuvo hasta el año 2011 (Figura 5.2-25, arriba).

En cuanto a la variación espacial dentro de los sectores de la bahía, si bien no existe un patrón del todo claro, se aprecian cifras de entre 5 a 10 mg/L, sin embargo estas cifras se encuentran asociadas nuevamente a límites de detección elevados (Figura 5.2-25, abajo).

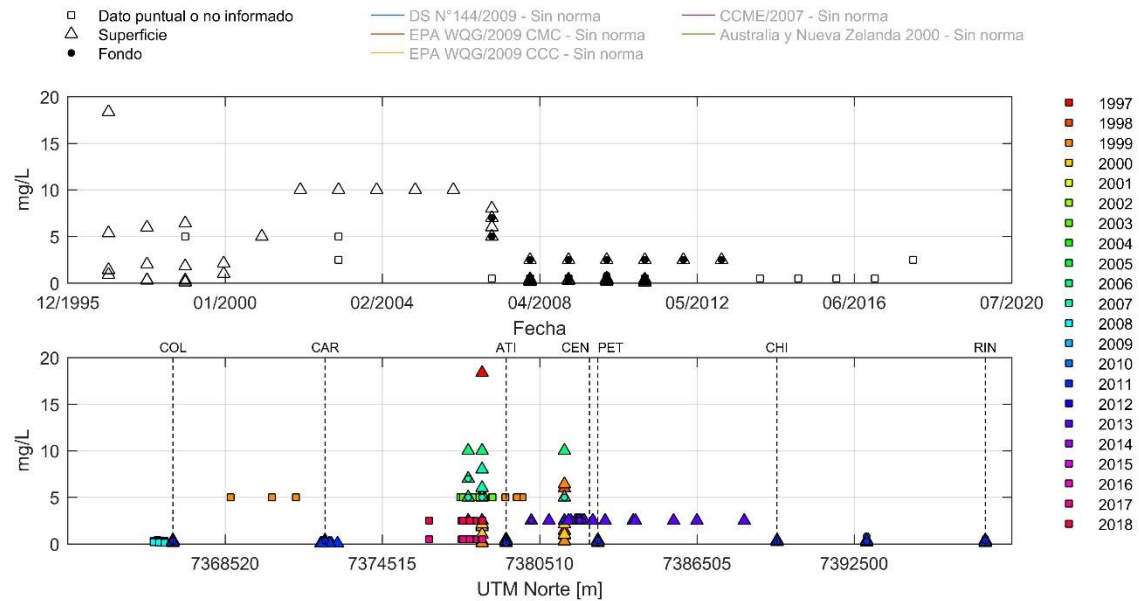


Figura 5.2-25 Concentración de Aceites y Grasas en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que se refiere a los valores máximos de concentración permitidos por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso de las Grasas y Aceites no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-26).

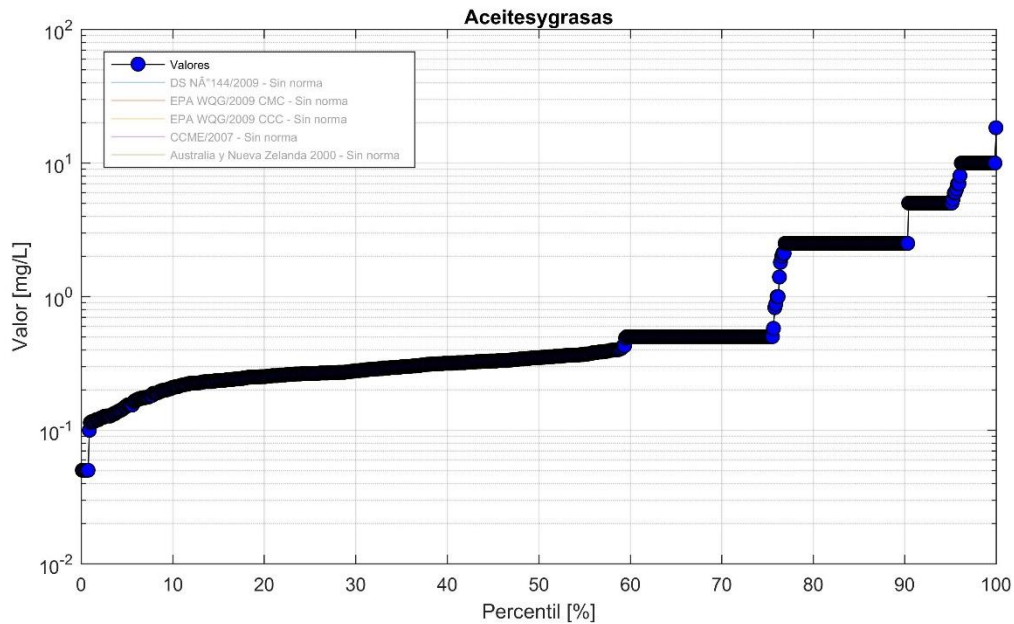


Figura 5.2-26 Concentración de Aceites y Grasas en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

b) Sólidos Suspendidos Totales

En la bahía San Jorge la concentración de Sólidos Suspendidos Totales en la sección transversal de la columna de agua históricamente han variado entre valores < 1,00 mg/L y una concentración máxima de 53,0 mg/L en el sector Puerto, ambos registrados durante el año 2011.

Considerando la variación temporal podemos observar que las mayores concentraciones se presentan en el año 1999, y en el período 2015-2016, mostrando un patrón de disminución hacia el 2017 (Figura 5.2-27, arriba).

En términos de la variación espacial de los registros, se observa que las mayores concentraciones se encuentran en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-27, abajo). Adicionalmente se aprecian registros puntuales en Carrizo y Rinconada, con cifras del orden de lo detectado en el Puerto.

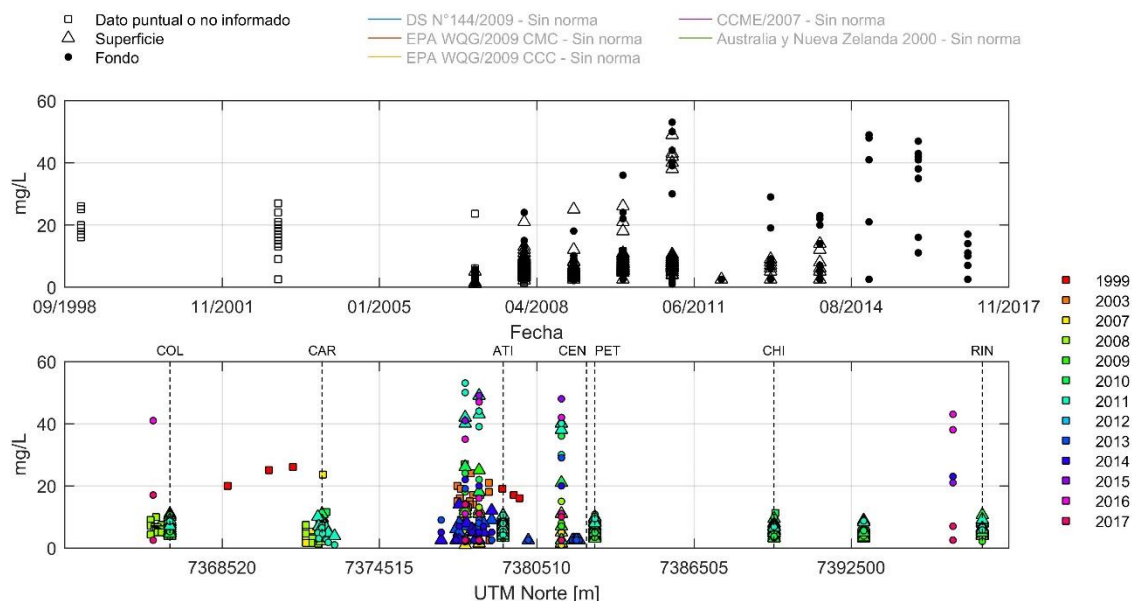


Figura 5.2-27 Concentración de Sólidos Suspendedos Totales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que concierne a los umbrales de concentración permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso de los Sólidos Suspendedos Totales no se registran valores en la legislación revisada (Figura 5.2-28).

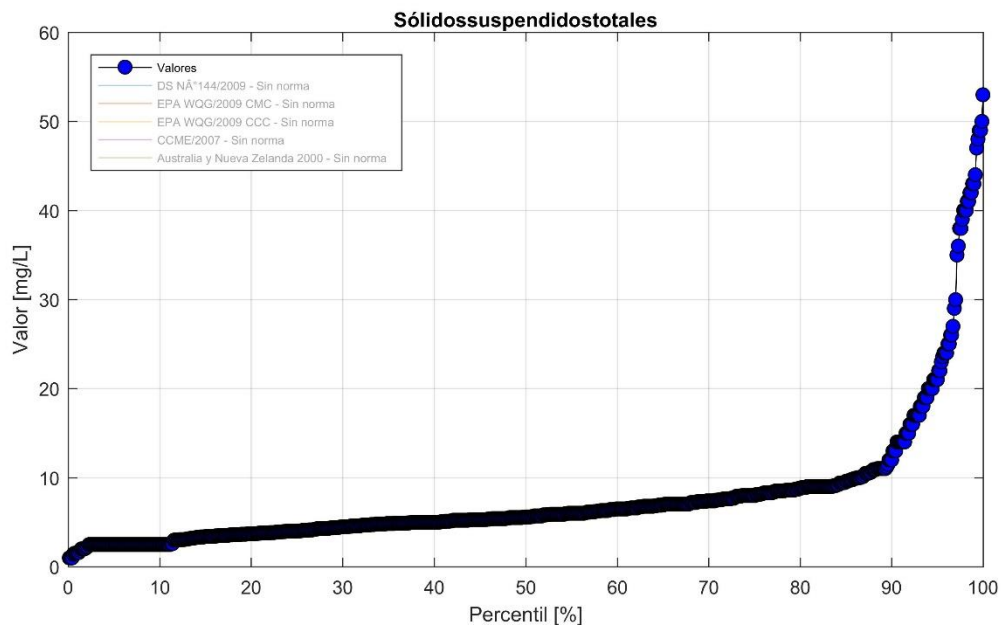


Figura 5.2-28 Concentración de Sólidos Suspendidos Totales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

c) Sólidos Disueltos Totales

La concentración de Sólidos Disueltos Totales en la sección transversal de la columna de agua históricamente ha oscilado entre un valor mínimo de 31,0 mg/L durante el año 2013 y un valor máximo de 45.320 mg/L registrado el año 2008, ambos registros fueron medidos en el sector Puerto.

En términos de la variabilidad temporal, se puede observar que la concentración se mantuvo constante entre los años 2007 y 2014, con un mínimo histórico durante el 2013 y registros levemente menores en el último año de monitoreo (Figura 5.2-29, arriba).

En relación con la distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, se observa que todas las cifras medidas corresponderían al sector puerto, por lo que no es posible analizar espacialmente los datos. (Figura 5.2-29, abajo).

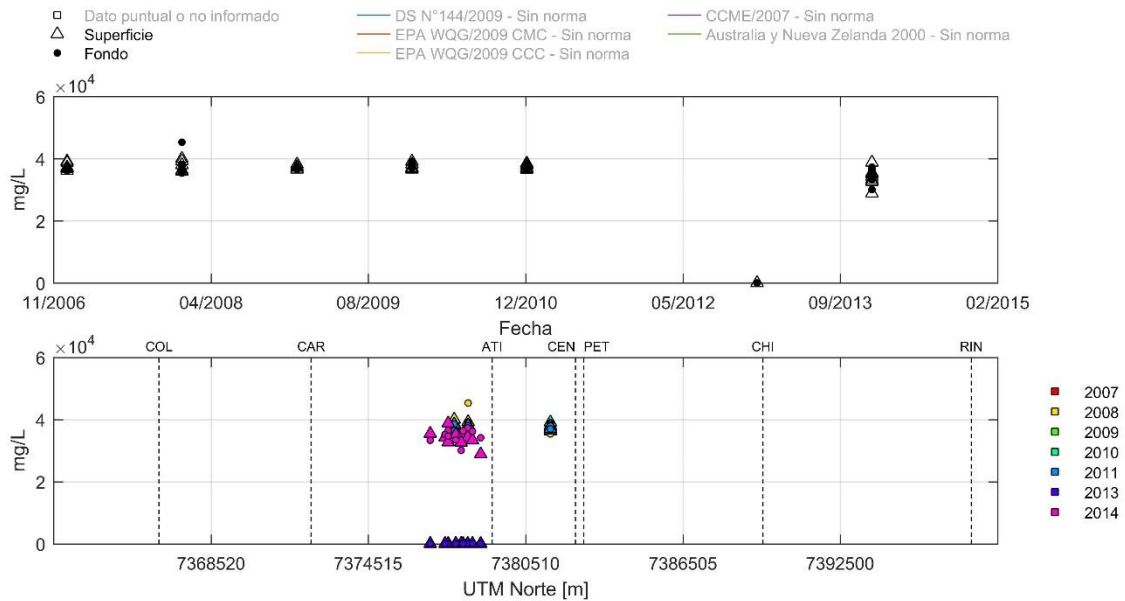


Figura 5.2-29 Concentración de Sólidos Disueltos Totales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En relación con los umbrales de concentración permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso de los Sólidos Disueltos Totales no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-30).

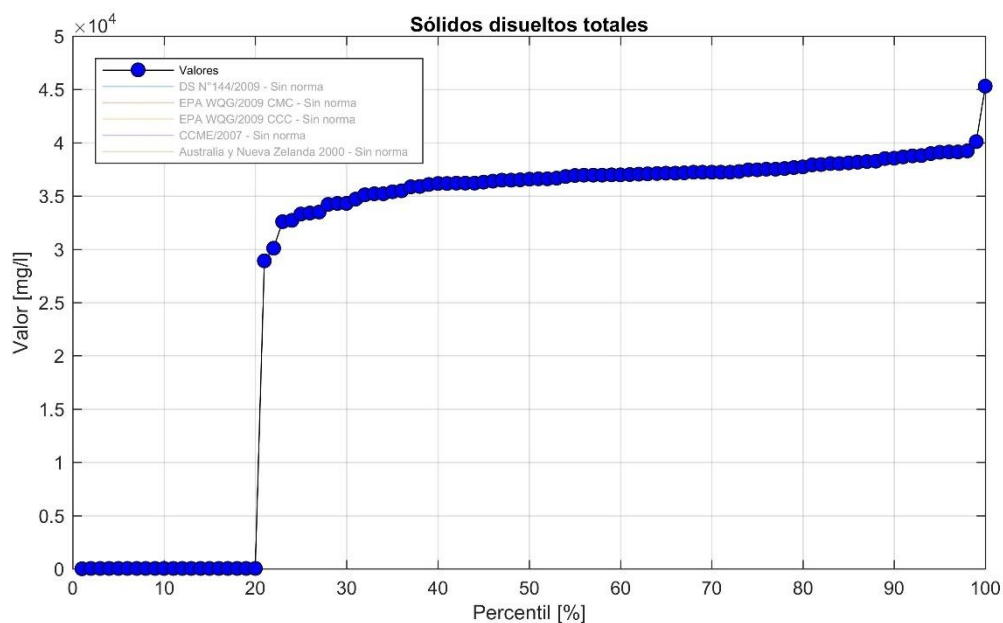


Figura 5.2-30 Concentración de Sólidos Disueltos Totales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

d) Turbidez

Los registros de turbidez en la sección transversal de la columna de agua de la bahía San Jorge si bien reportan pocos datos estos son relativamente uniformes y bajos tanto temporal como espacialmente.

Se aprecia que temporalmente es muy poca información por lo tanto no es posible analizar en el tiempo la turbidez (Figura 5.2-31, arriba).

Considerando la variación espacial de los registros, se aprecia una uniformidad de los datos, con cifras entre 0 a 50 NTU, indicando que la bahía no presentaría cambios asociados a esta cifra. Solo que Rinconada se detectó una mayor cantidad, llegando hasta 160 NTU (Figura 5.2-31, abajo).

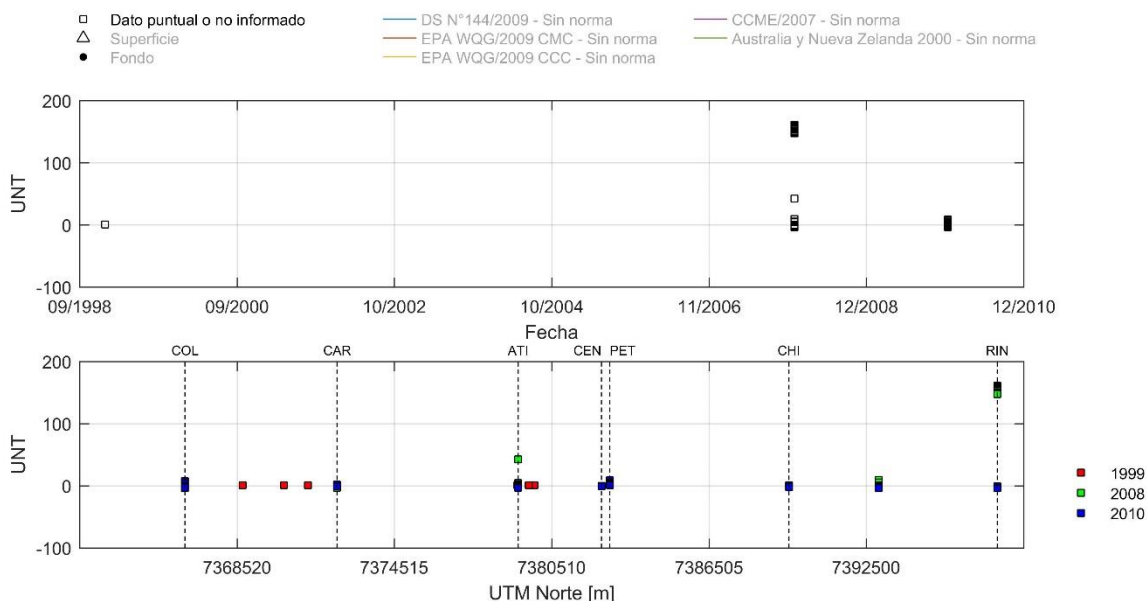


Figura 5.2-31 Turbidez en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que concierne a los valores máximos de concentración permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso de la Turbidez no se registran valores en la legislación revisada (Figura 5.2-32).

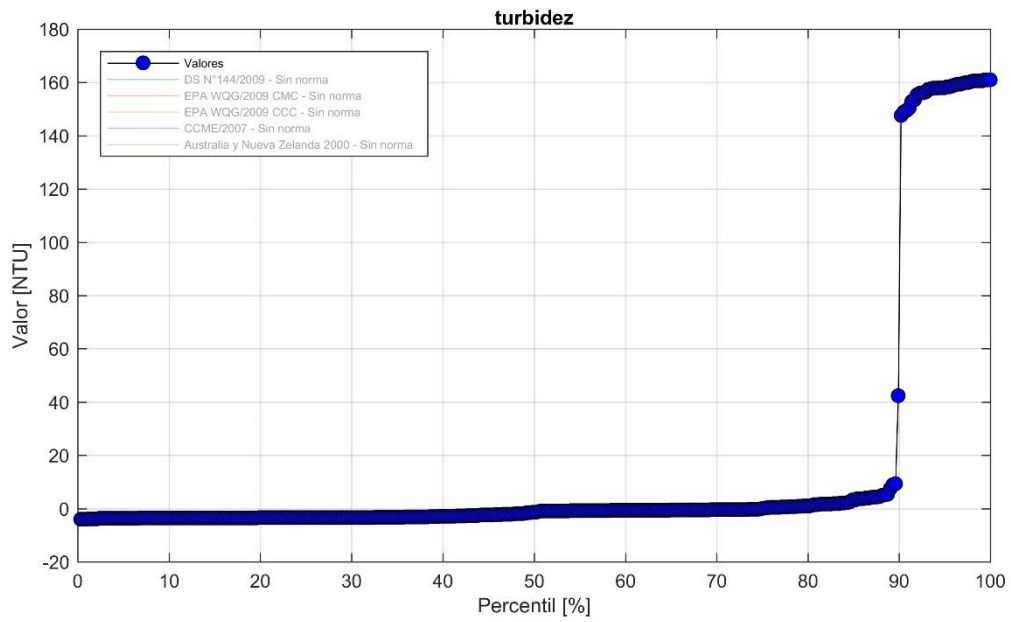


Figura 5.2-32 Turbidez en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

iii. Agentes contaminantes no metálicos

a) Nitrógeno Amoniacal o Amonio

La concentración del ion Amonio en la columna de agua históricamente ha oscilado entre <math><0,002 \text{ mg/L}</math> en el sector puerto durante el año 1999 y valor máximo de 16,1 mg/L en Carrizo registrado en el año 2008.

En relación con la variación temporal se puede observar un aumento temporal entre el año 2008 y 2011, lo cual se asocia a las campañas desarrolladas en el estudio de Valdés (Figura 5.2-33, arriba).

Estos mismos registros a nivel espacial dan cuenta de una variabilidad uniforme en los 6 sectores de interés a lo largo de la bahía. Solo en carrizo existieron cifras mayores a 10 mg/L, pero no se logra reflejar una tendencia espacial diferente en términos de la media (Figura 5.2-33, abajo).

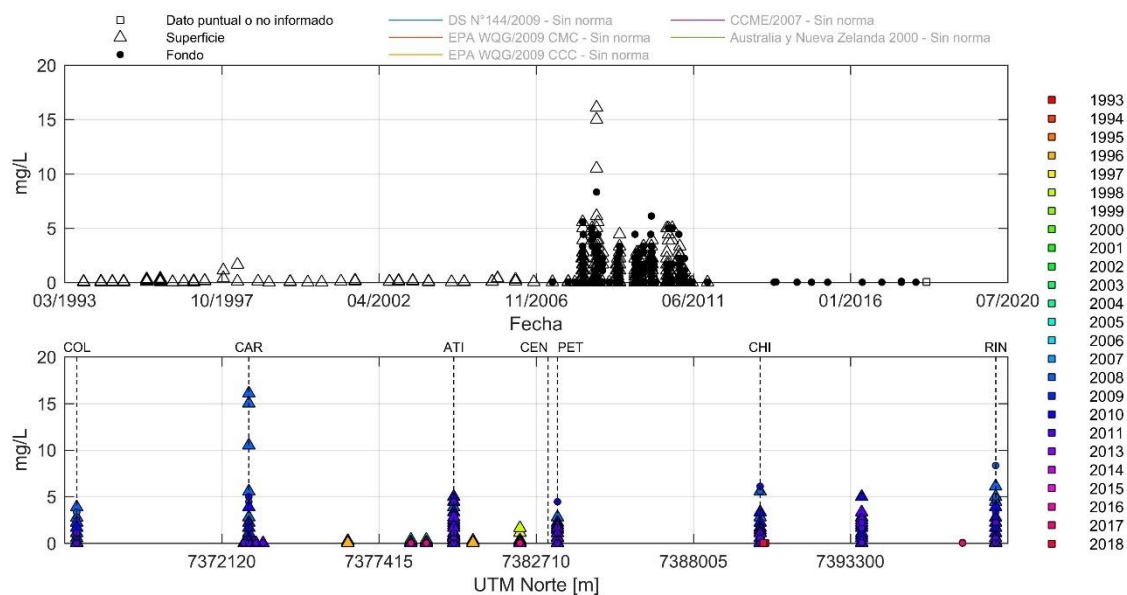


Figura 5.2-33 Concentración de Amonio en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a los límites máximos de concentración permitidos por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del Amonio no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-34).

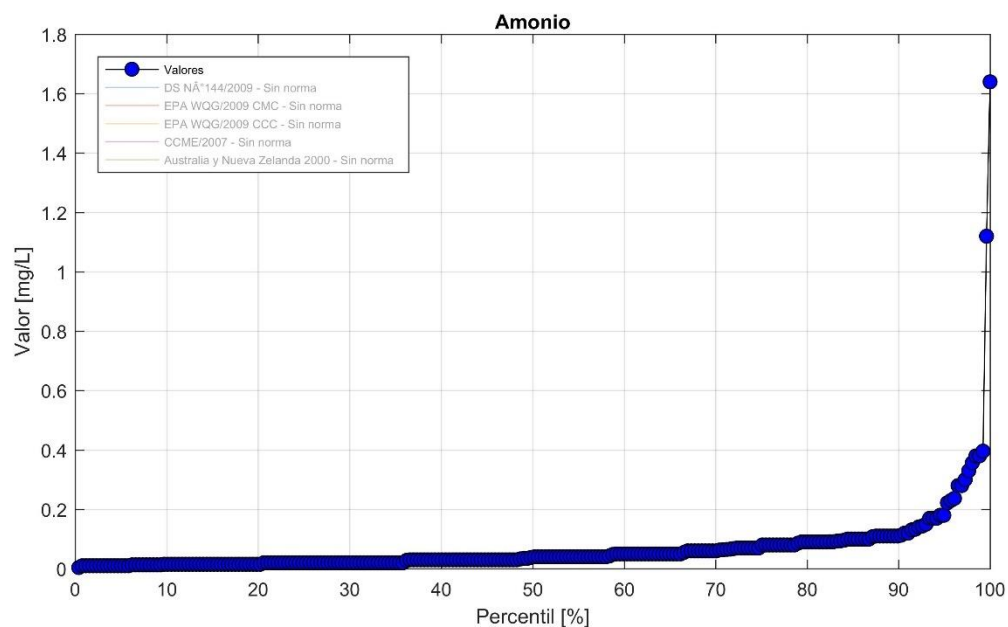


Figura 5.2-34 Concentración de Amonio en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

b) Hidrocarburos totales

En la bahía San Jorge la concentración de Hidrocarburos Totales en la sección transversal de la columna de agua no presenta valores que superen los diversos límites de detección dentro del rango (<1,0 y <10 mg/L) durante los años registrados.

Como se mencionó anteriormente, debido a que todos los registros están por debajo del límite de detección, no se puede analizar variación temporal (Figura 5.2-35, arriba).

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-35, abajo).

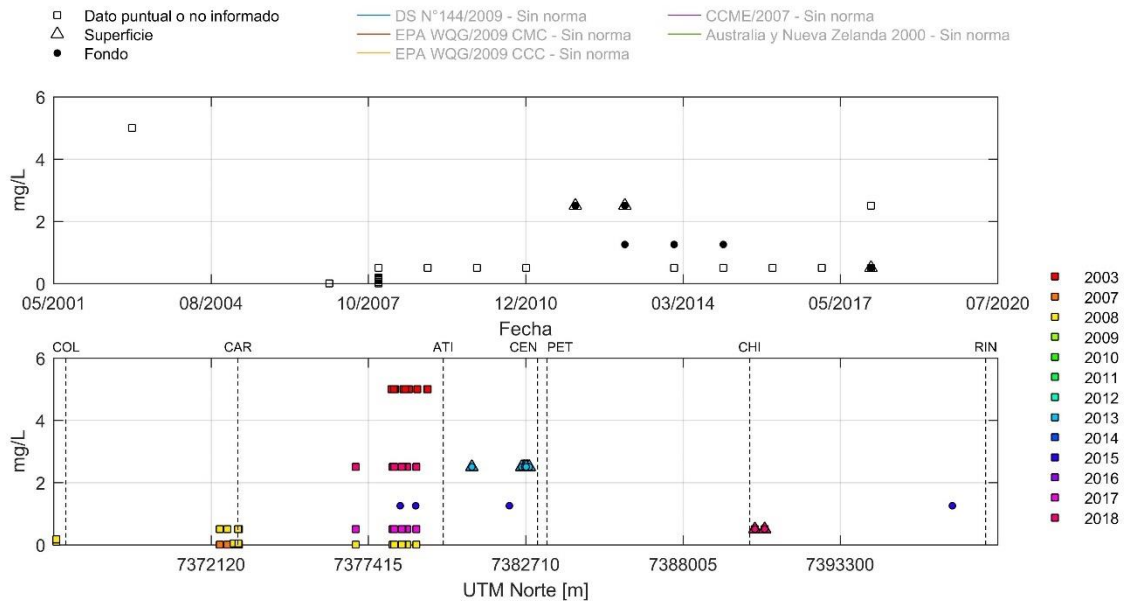


Figura 5.2-35 Concentración de Hidrocarburos Totales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que se respecta a las concentraciones máximas permitidas por las normas nacionales e internacionales, para el caso de los Hidrocarburos en su fracción total no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-36).

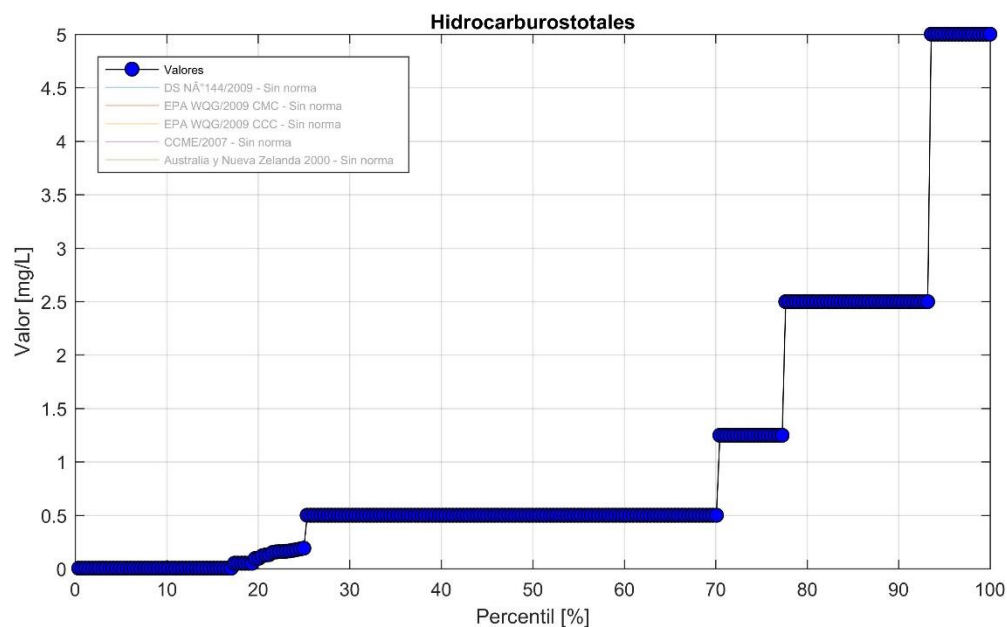


Figura 5.2-36 Concentración de Hidrocarburos Totales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

c) Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

La concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en la sección superficial de la columna de agua de la bahía San Jorge presentó fluctuaciones entre un valor mínimo de 0,0003 $\mu\text{g/L}$ durante el año 2001 en los puntos de muestreo 030-A-An (sector Las Petroleras) y 100-A-An (sector Puerto), y un máximo de 10,0 $\mu\text{g/L}$ durante el período 2002-2006 en los puntos 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua todos los registros han estado por debajo del límite de detección (0,1 $\mu\text{g/L}$). Cabe destacar que el mínimo histórico presenta un valor menor a los 0,1 $\mu\text{g/L}$ probablemente por haber sido medido con otra sensibilidad analítica.

En lo que se refiere a la variación temporal no se observa una tendencia clara, cabe destacar un período con concentraciones elevadas entre los años 2002 y 2006 (Figura 5.2-37, arriba).

Considerando la distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones se presentan en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-37, abajo).

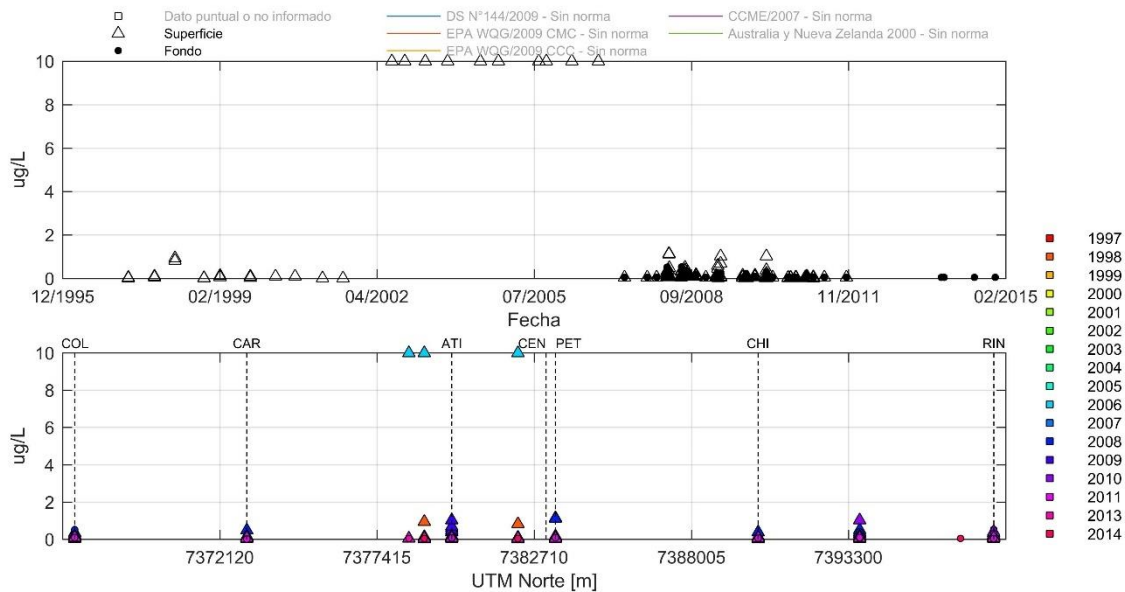


Figura 5.2-37 Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados 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 se respecta a las concentraciones máximas permitidas por las normas nacionales e internacionales, para el caso de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-38).

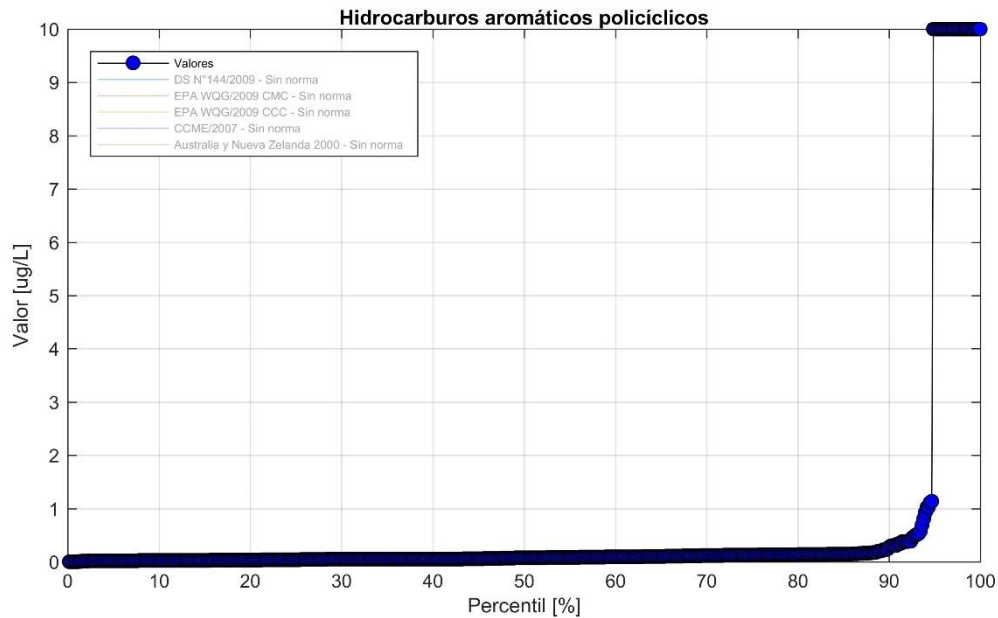


Figura 5.2-38 Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

iv. Metales y metaloides

a) Arsénico Disuelto

La concentración de arsénico disuelto en el estrato fondo de la columna de agua de la bahía San Jorge históricamente ha variado entre valores bajo el límite de detección ($<0,5 \mu\text{g/L}$) en los puntos de muestreo 030-A-An (sector Las Petroleras) y 220-A-An (sector Coloso) durante el año 2017 y un valor máximo de $3,8 \mu\text{g/L}$ en el punto 100-A-An (sector Puerto) registrado en el año 2016.

La variación temporal muestra que no existe un patrón histórico definido, las concentraciones se mantienen estables en el tiempo (Figura 5.2-39, arriba).

En cuanto a la distribución espacial dentro de los sectores de la bahía, se observa que las mayores concentraciones se han registrado en las cercanías del punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-39, abajo).

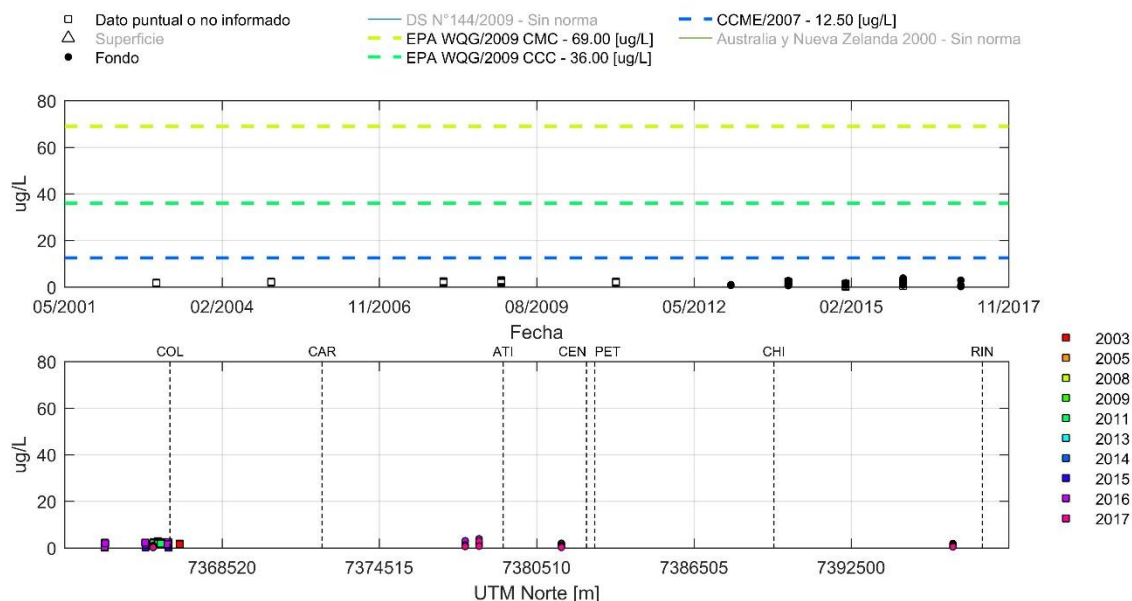


Figura 5.2-39 Concentración de Arsénico Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que la totalidad de los registros de Arsénico Disuelto en la columna de agua han estado bajo los límites máximos sugeridos por dichas normas (Figura 5.2-40).

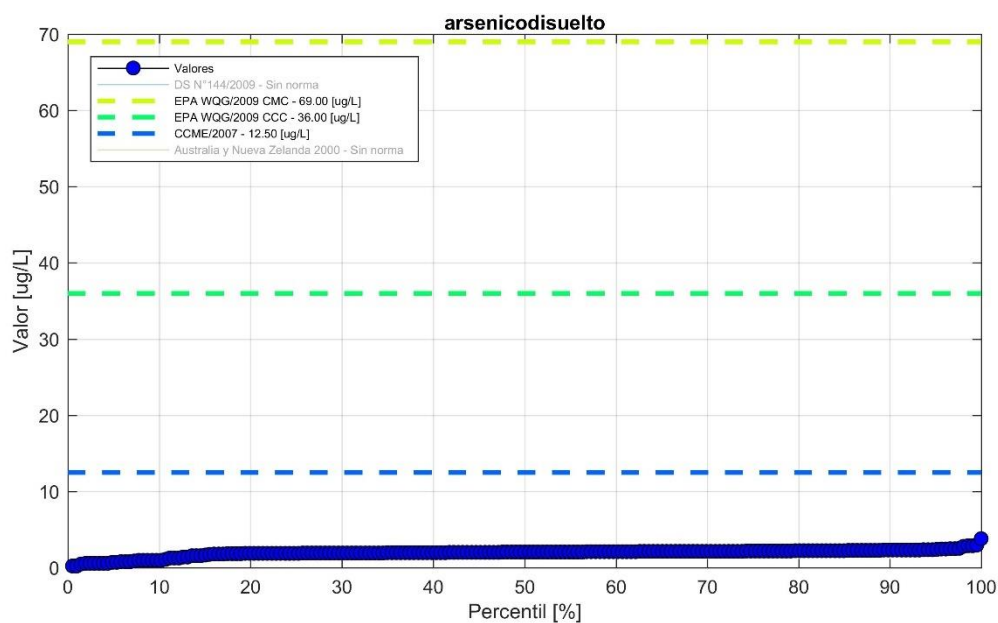


Figura 5.2-40 Concentración de Arsénico Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos EPA WQG/2009 CMC (Criteria Maximum Concentration), EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration) y CCME/2007 (Canadian Council of Ministers of the Environment). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

b) Arsénico Total

En la bahía San Jorge las concentraciones de arsénico en su fracción total en la sección superficial de la columna de agua históricamente han fluctuado entre un valor mínimo de 0,65 µg/L registrado en el año 2015 y un valor máximo de 195 µg/L durante el 2014. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado entre 0,65 µg/L en el punto 50-MMM-57080 durante el 2015 y un máximo de 38,0 µg/L registrado en el punto 104-CMM-57079 durante el 2014. Todos los puntos fueron medidos en el sector Puerto.

En términos de variabilidad temporal no existe una tendencia clara de evolución, se registra un peak de concentración durante el año 2014 (Figura 5.2-41, arriba).

En relación con la variación espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, se observa que las mayores concentraciones se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-41, abajo).

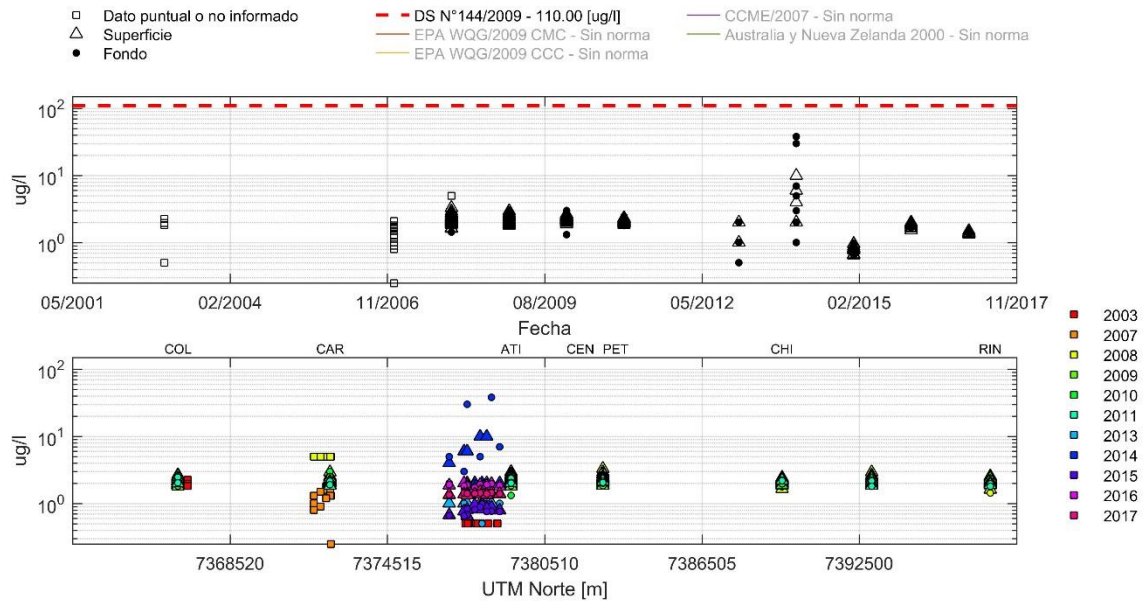


Figura 5.2-41 Concentración de Arsénico Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presenta los máximos de concentración establecidos por la norma estudiada.

En lo que se refiere a las concentraciones máximas permitidas por la normativa analizada, se observa que el 0,09% de los registros históricos de Arsénico Total han estado por sobre el valor máximo establecido en la normativa nacional por el DS N°144/2009 (Figura 5.2-42), esto corresponde a solo 1 valor, asociado al máximo de 195 ug/L detectado el año 2014.

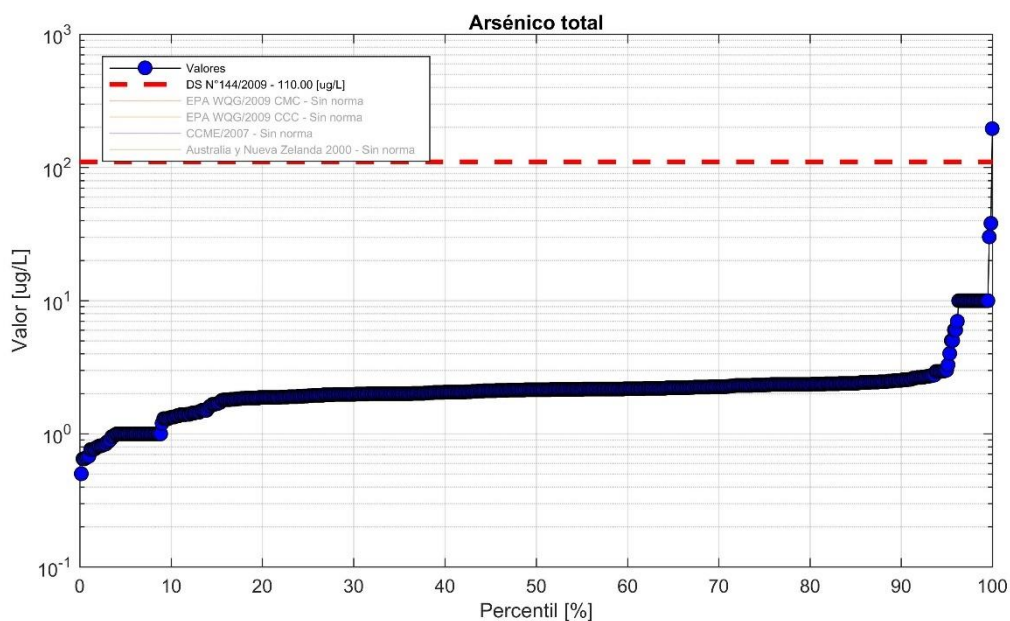


Figura 5.2-42 Concentración de Arsénico Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en el DS N°144/2009.

c) Cadmio Disuelto

La concentración de Cadmio Disuelto presenta valores bajo el límite de detección ($<0,05 \mu\text{g/L}$) durante el período 2009-2011 en los puntos de muestreo 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An para ambas secciones de la columna de agua (superficie y fondo). En el estrato superficial se registró un valor máximo cuantificado de $0,22 \mu\text{g/L}$ en el punto 120-A-An (sector Puerto) para el año 2009. Se aprecian límites de detección altos de $< 1,00 \mu\text{g/L}$ para los registros del POAL en los años 2016 y 2017.

En cuanto a la variación temporal las concentraciones no registran un patrón de variación claro, con las menores concentraciones en los años 2009-2011 y las mayores durante 2014-2017 (Figura 5.2-43, arriba).

Considerando la variación espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, se observa que las mayores concentraciones se encuentran a lo largo de Carrizo y Puerto. Se aprecia además concentraciones menores a $0,1 \mu\text{g/L}$ en el sector de Coloso (Figura 5.2-43, abajo).

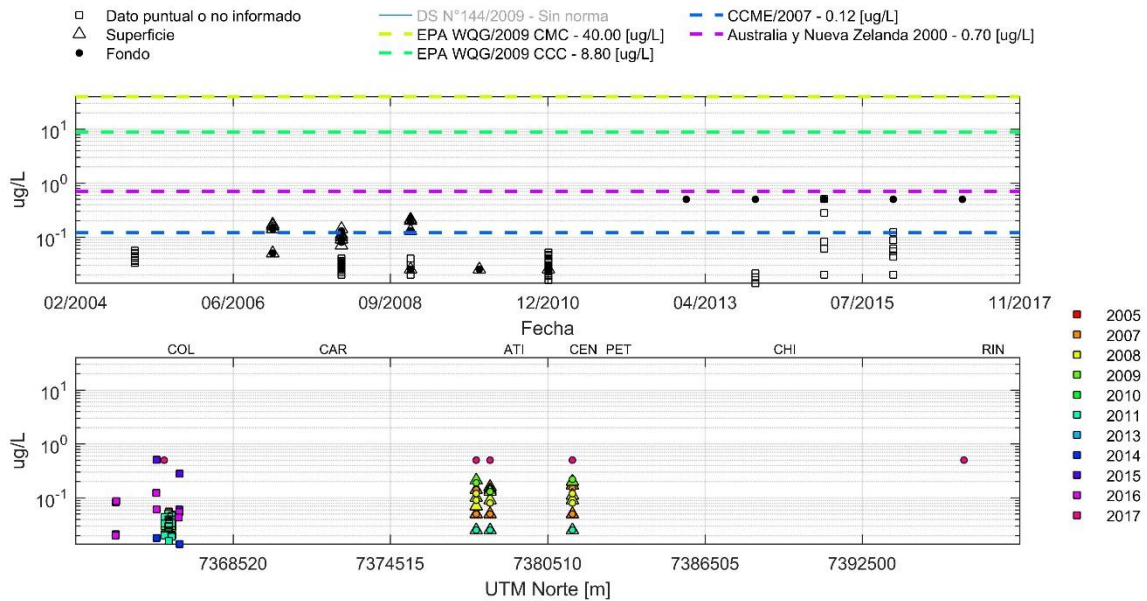


Figura 5.2-43 Concentración de Cadmio Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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. Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el 12,47% de los registros históricos superan el límite máximo de la normativa canadiense CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007), el que se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Cadmio Disuelto en agua marina (Figura 5.2-44).

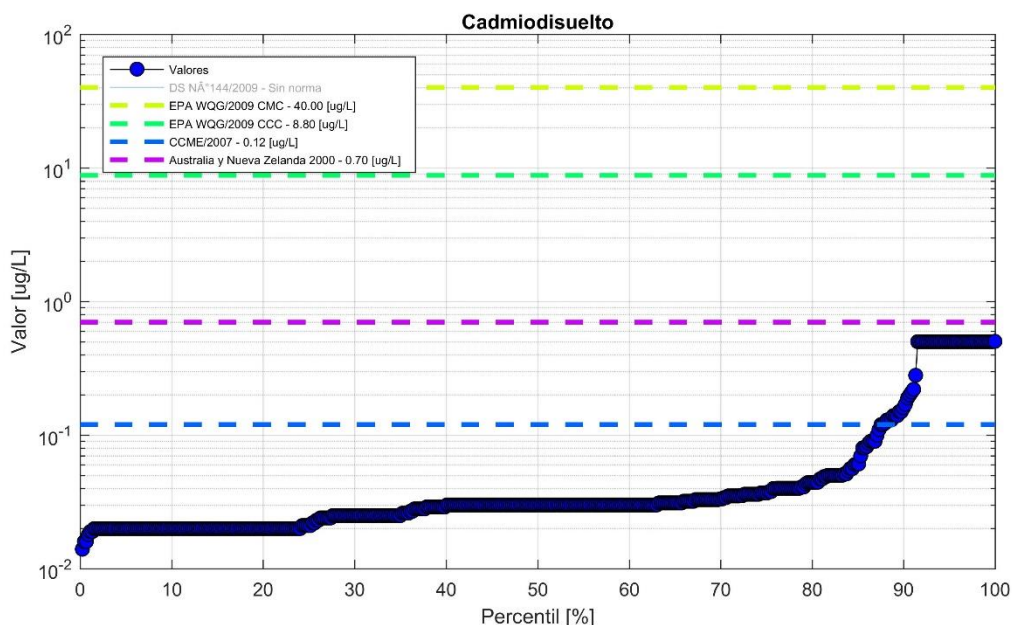


Figura 5.2-44 Concentración de Cadmio Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos EPA WQG/2009 CMC (Criteria Maximum Concentration), EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration), CCME/2007 (Canadian Council of Ministers of the Environment) y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

d) Cadmio Total

Históricamente las concentraciones de Cadmio Total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía han variado entre un valor mínimo de 0,01 µg/L durante el año 2008, y un valor <10 µg/L en los años 2002 y 2003, ambos valores registrados en el sector Puerto.

En términos de variabilidad temporal, las cifras dan cuenta de valores menores a 1,00 µg/L la mayor parte del tiempo, donde solo durante los años 2000 a 2003 se detectaron cifras entre 1 a 10 µg/L (Figura 5.2-45, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los valores dentro de la bahía, se observa que las mayores concentraciones se presentan en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-45, abajo), sin embargo, nuevamente estas cifras se encuentran asociadas a límites de detección elevados.

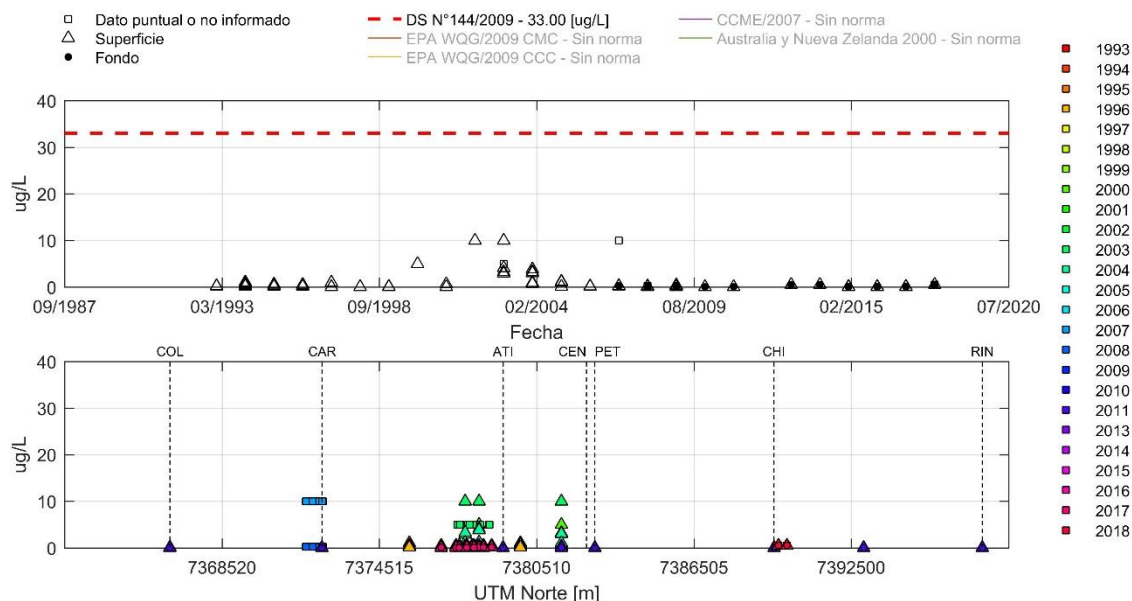


Figura 5.2-45 Concentración de Cadmio Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. En líneas punteadas se presenta los máximos de concentración establecidos por la norma estudiada.

En lo que concierne a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), se observa que la totalidad de los registros para el caso del Cadmio Total en la columna de agua han estado bajo los límites máximos sugeridos en la normativa nacional por el DS N°144/2009 (Figura 5.2-46).

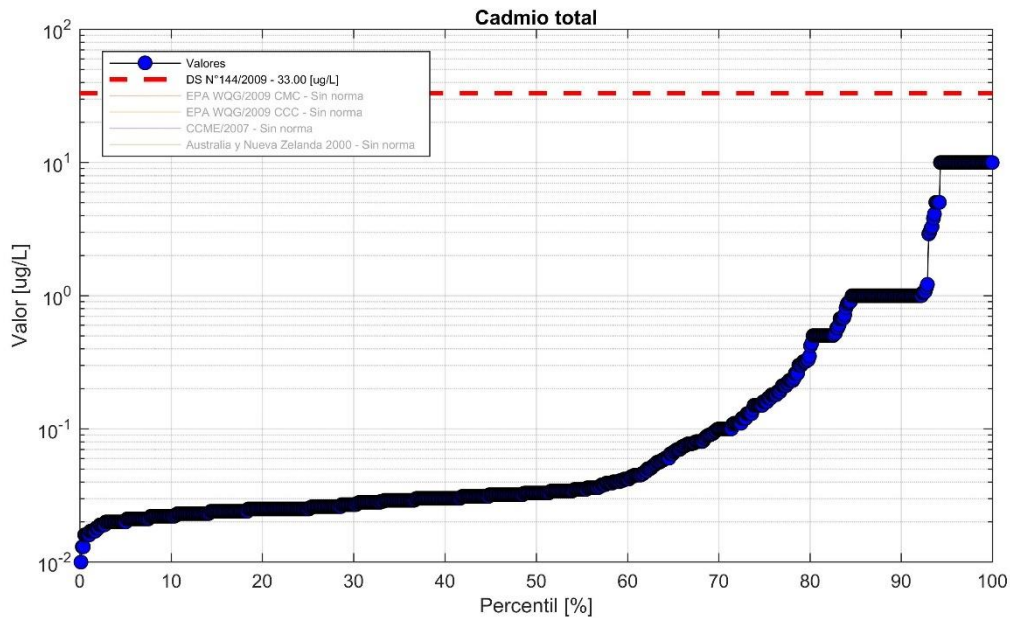


Figura 5.2-46 Concentración de Cadmio Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en el DS N°144/2009.

e) *Cobre Disuelto*

En la bahía San Jorge la concentración de Cobre Disuelto en la sección superficial de la columna de agua históricamente han fluctuado entre un valor bajo el límite de detección ($<0,05 \mu\text{g/L}$) en distintos sectores y un valor máximo de $16,4 \mu\text{g/L}$ registrado en el sector puerto el año 2015. Por otro lado, en la zona profunda de la columna de agua la concentración ha variado entre un valor mínimo de $0,05 \mu\text{g/L}$ registrado en los puntos 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An en el año 2007 y una concentración máxima de $16,4 \mu\text{g/L}$ durante 2015 en la estación 120-A-An (Frente a puerto antiguo de Antofagasta).

En relación con la variabilidad temporal se observa un aumento de las concentraciones desde el año 2014. Cabe destacar que durante el año 2015 se registran las mayores concentraciones (Figura 5.2-47, arriba).

En lo referido a la distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, no es posible inferir ciertas tendencias debido a que los registros se concentran en Puerto y el Centro de la bahía, y solo algunos registros cercanos a Rinconada (Figura 5.2-47, abajo).

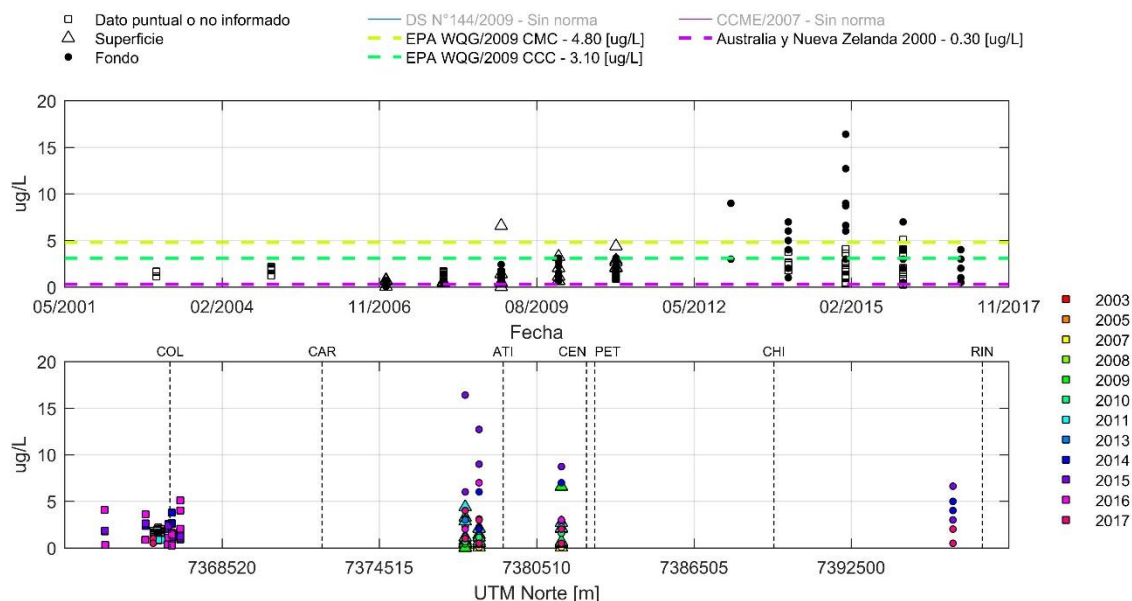


Figura 5.2-47 Concentración de Cobre Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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.

En lo que concierne a las concentraciones máximas permitidas por la normativa analizada, se observa que el 98,16% de los registros históricos de Cobre Disuelto han estado por sobre el valor máximo establecido por la norma de Australia y Nueva Zelanda (2000), el cual se constituye como el umbral más restrictivo. Por otro lado, el 5,46% supera el criterio EPA WQG/2009 CCC (concentración más alta ante la cual en una comunidad acuática puede estar expuesta indefinidamente sin que ello resulte en un efecto inaceptable) y un 2,84% sobrepasa el criterio EPA WQG/2009 CMC (concentración más alta ante la cual una comunidad acuática puede ser expuesta brevemente sin que ello resulte en un efecto inaceptable) (Figura 5.2-48).

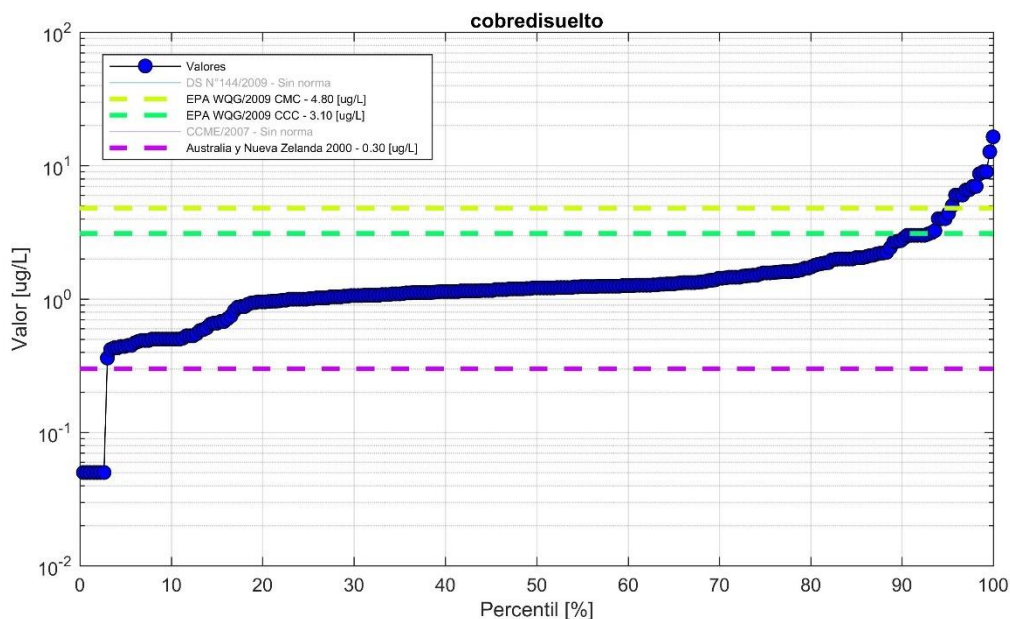


Figura 5.2-48 Concentración de Cobre Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos EPA WQG/2009 CMC (Criteria Maximum Concentration), EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration) y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

f) *Cobre Total*

La concentración de Cobre Total en el estrato superficial de la columna de agua de la bahía históricamente ha oscilado entre un valor mínimo de 0,18 µg/L registrado en el punto 10-PVA-62333 durante el 2017 y un valor máximo de 142 µg/L en el punto 100-A-An en 1999, sin embargo es el único valor que se encuentra sobre los 100 µg/L. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua la concentración ha variado entre un mínimo de 0,26 µg/L en la estación 8-PVA-62333 durante el año 2017 y un máximo de 24,1 µg/L registrado en el punto de monitoreo 44-CMM-57079 en el 2014. Todos los puntos mencionados anteriormente fueron medidos en el sector Puerto.

La variación temporal muestra un patrón de disminución, donde las mayores concentraciones se registraron al comienzo de la medición, entre los años 1999 y 2001. Destaca un peak en el año 1999 (Figura 5.2-49, arriba).

En lo que respecta a la variación espacial de los registros en la bahía, las mayores concentraciones se presentan en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-49, abajo).

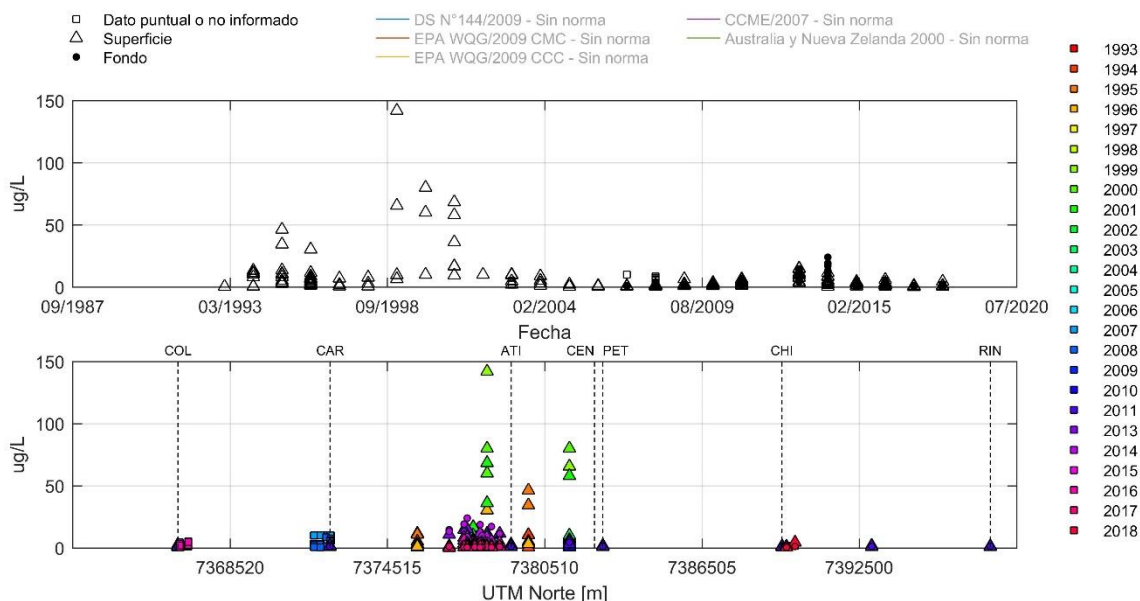


Figura 5.2-49 Concentración de Cobre Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del Cobre Total no existen valores en la legislación revisada para agua marina (Figura 5.2-50).

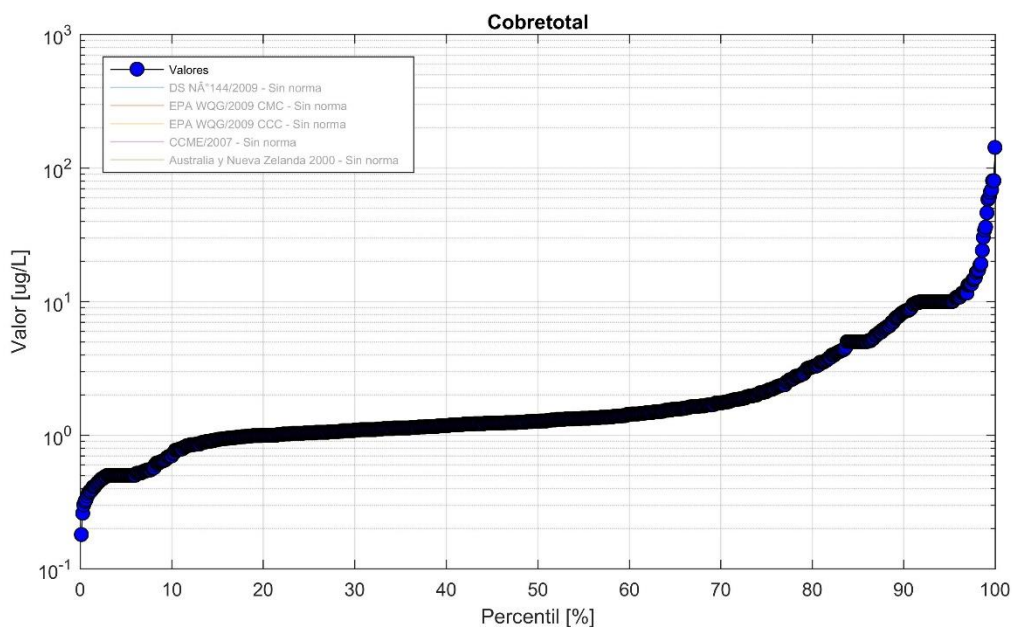


Figura 5.2-50 Concentración de Cobre Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

g) Cromo Disuelto

Históricamente las concentraciones de Cromo Disuelto han presentado valores bajo el límite de detección ($<0,05 \mu\text{g/L}$) durante el período 2009-2011 en los puntos de muestreo 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An para ambas secciones de la columna de agua (superficie y fondo). En cuanto a los valores máximos, en la sección superficial se registró una concentración de $0,73 \mu\text{g/L}$ y en la zona profunda de $0,62 \mu\text{g/L}$, ambos muestreados en el punto 100-A-An (Sector Puerto) durante el año 2007.

En términos de variación temporal histórica existe un claro patrón de disminución. Las concentraciones más elevadas se registraron al comienzo del período de medición entre los años 2007 y 2008, para disminuir hacia el 2009 y mantener constante esta tendencia (Figura 5.2-51, arriba).

La distribución espacial dentro de los sectores en la bahía muestra que las mayores concentraciones se han registrado en las cercanías del punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-51, abajo).

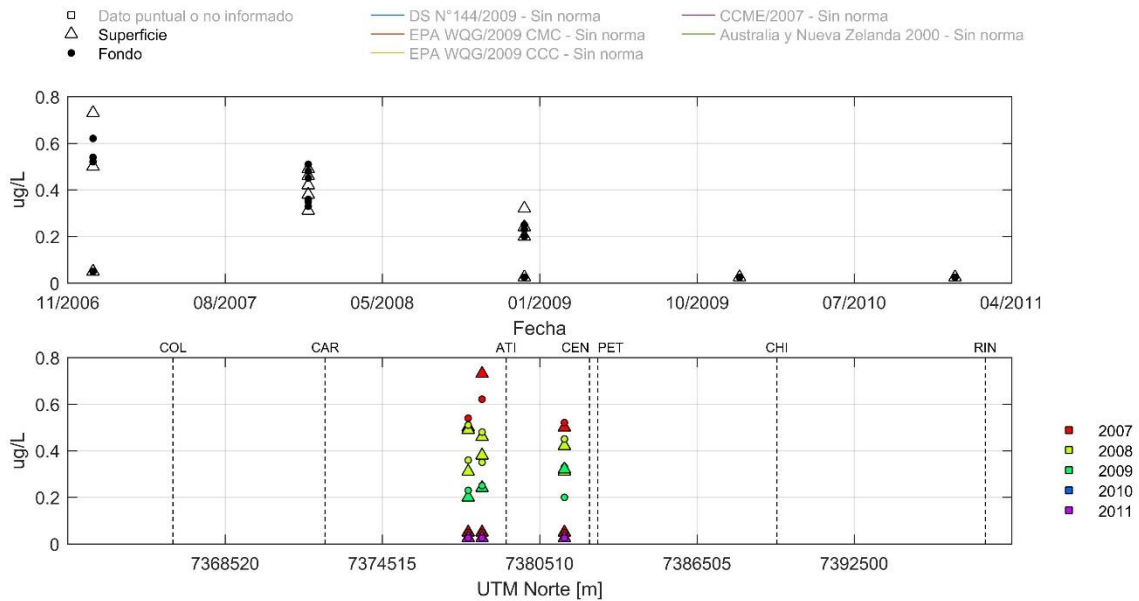


Figura 5.2-51 Concentración de Cromo Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del Cromo Disuelto no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-52).

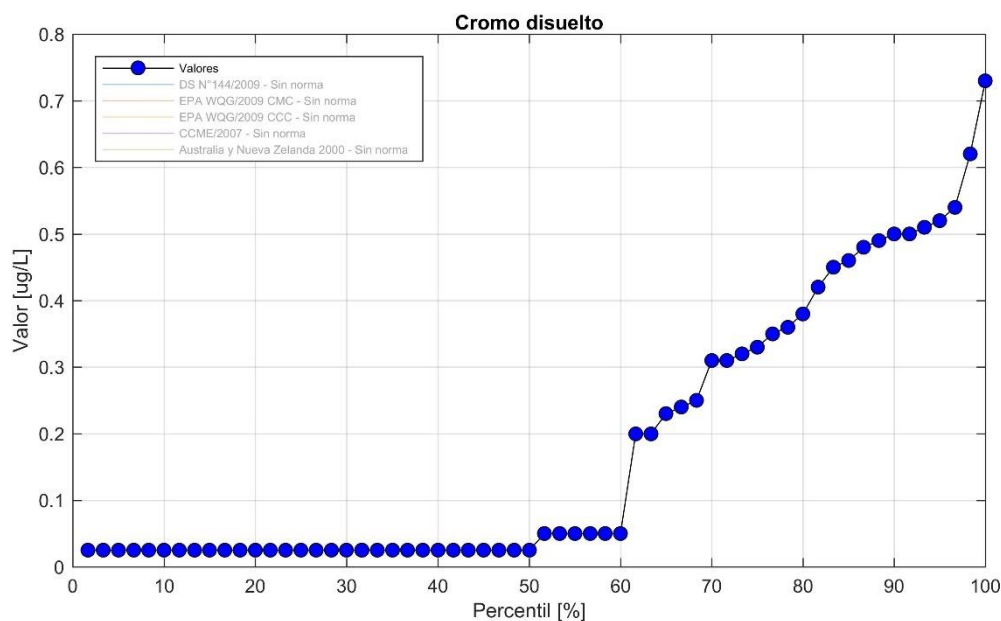


Figura 5.2-52 Concentración de Cromo Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

h) Cromo Total

La concentración de Cromo Total registra valores bajo el límite de detección ($<0,05 \mu\text{g/L}$) durante el período 2009-2011 en los puntos de muestreo 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An para ambas secciones de la columna de agua (superficie y fondo). En el estrato superficial se registró un valor máximo de $97 \mu\text{g/L}$ en el punto 60-A-An (sector Puerto) para el año 1993. Asimismo, para la zona profunda el valor máximo es de $1,21 \mu\text{g/L}$ en el punto 30-MMM-57082 (sector Puerto) durante el año 2016.

En cuanto a la variación temporal se observa que las concentraciones más elevadas se registraron durante la primera década de medición, entre los años 1993 y 2003. En términos del período completo se observa un patrón de disminución (Figura 5.2-53, arriba).

En relación con la distribución espacial dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones se registran en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-53, abajo).

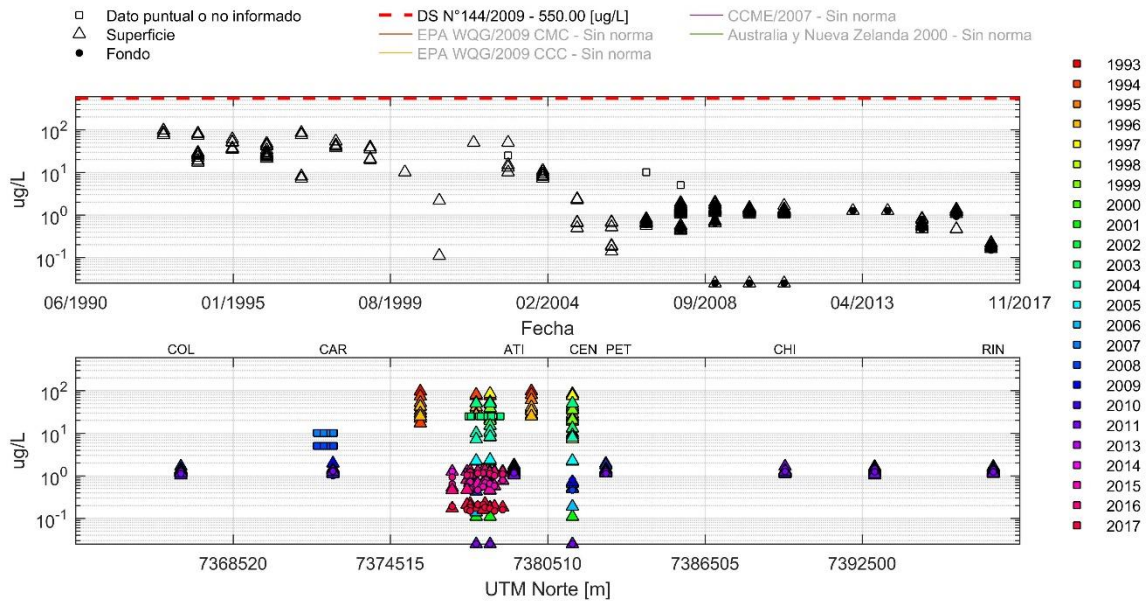


Figura 5.2-53 Concentración de Cromo Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas 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. Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que la totalidad de los registros de Cromo Total en la columna de agua han estado bajo los límites máximos sugeridos en la normativa nacional e internacional citada (Figura 5.2-54).

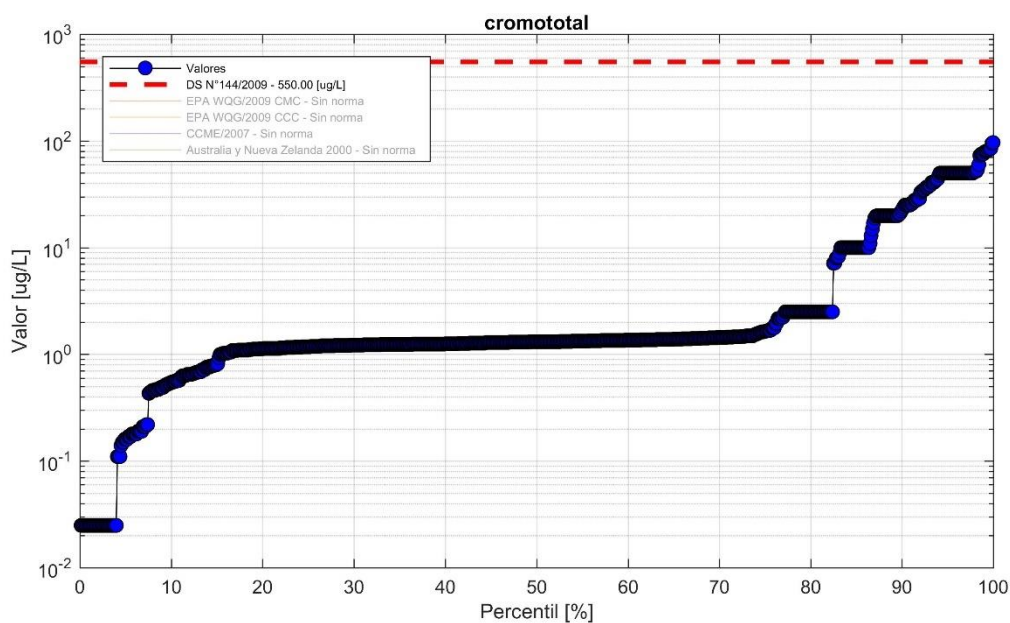


Figura 5.2-54 Concentración de Cromo Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en el DS N°144/2009.

i) Hierro Total

En la bahía San Jorge las concentraciones de Hierro Total en el estrato superficial de la columna de agua históricamente han oscilado entre un valor mínimo de 1,84 $\mu\text{g/L}$ registrado en el punto 10-PVA-62333 durante el año 2017 y un valor máximo de 34,5 $\mu\text{g/L}$ en el punto 41-CMM-57020 en el año 2013. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado entre valores bajo el límite de detección ($<2,50 \mu\text{g/L}$) en la estación 6-CMM-57020 durante el año 2013 y un máximo de 77,1 $\mu\text{g/L}$ registrado en el punto de monitoreo 1-CMM-57079 en el año 2014. Todos los puntos mencionados anteriormente fueron registrados en el sector Puerto.

La variabilidad temporal muestra peak de concentración en los años 2014 y 2016, hacia el 2017 se observa una disminución de los valores. Los registros pertenecientes al estrato fondo presentan mayores concentraciones que los datos de superficie (Figura 5.2-55, arriba).

En lo que se refiere a la variación espacial dentro de los sectores en la bahía, se observa que las mayores concentraciones se han registrado en las cercanías del punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-55, abajo).

Cabe destacar que la recopilación histórica de datos registrados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, no existen mediciones de concentración de Hierro Disuelto en la columna de agua.

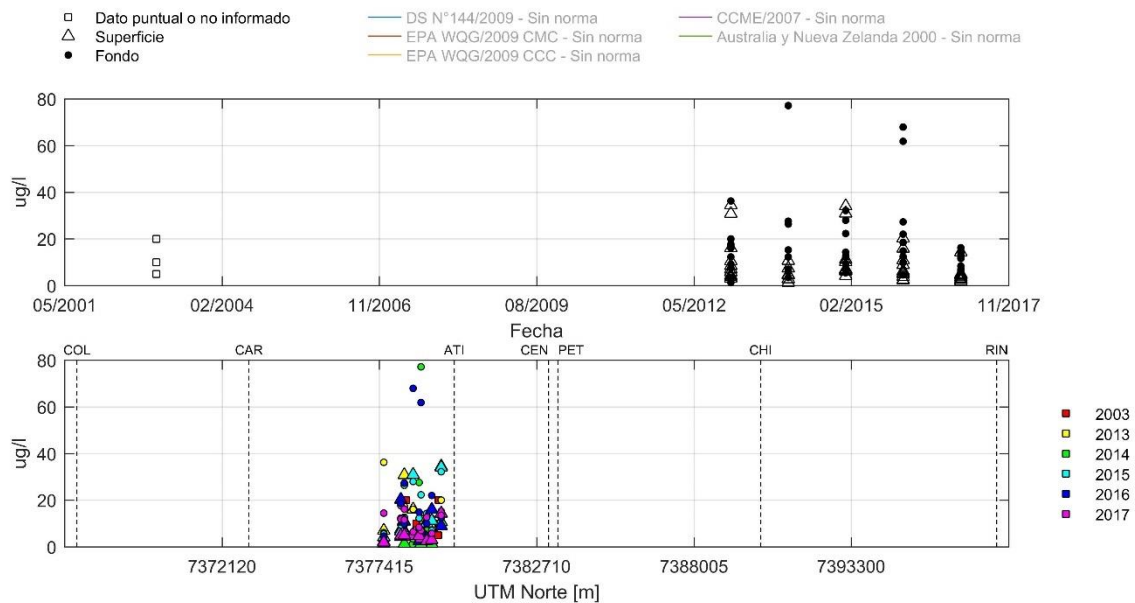


Figura 5.2-55 Concentración de Hierro Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del Hierro Total no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-56).

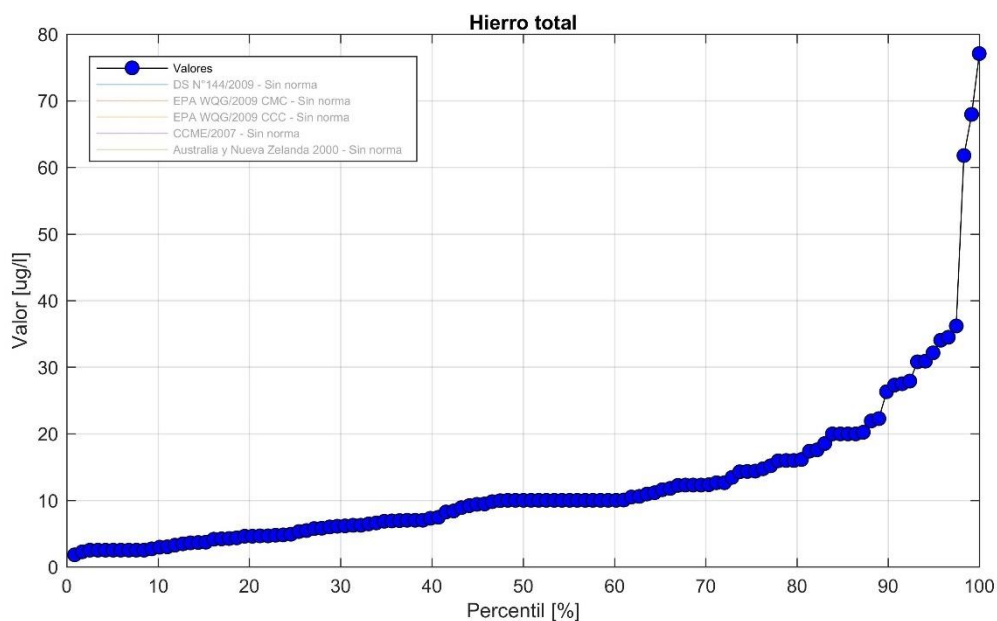


Figura 5.2-56 Concentración de Hierro Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

j) 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 entre valores bajo el límite de detección analítico durante el período 2008-2011 ($<1,0 \mu\text{g/L}$) y 2014-2017 ($<0,0005 \mu\text{g/L}$), y un valor máximo de $1,0 \mu\text{g/L}$ registrado durante el año 2007 en los puntos de muestreo 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An. El punto 030-A-An fue registrado en el sector Las Petroleras y los puntos 100-A-An y 120-A-An en el sector Puerto.

En lo referido a la variación temporal se observa que las concentraciones se mantienen constantes, levemente superiores durante el año 2007 (Figura 5.2-57, arriba).

Considerando la distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones se presentan en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-58, abajo).

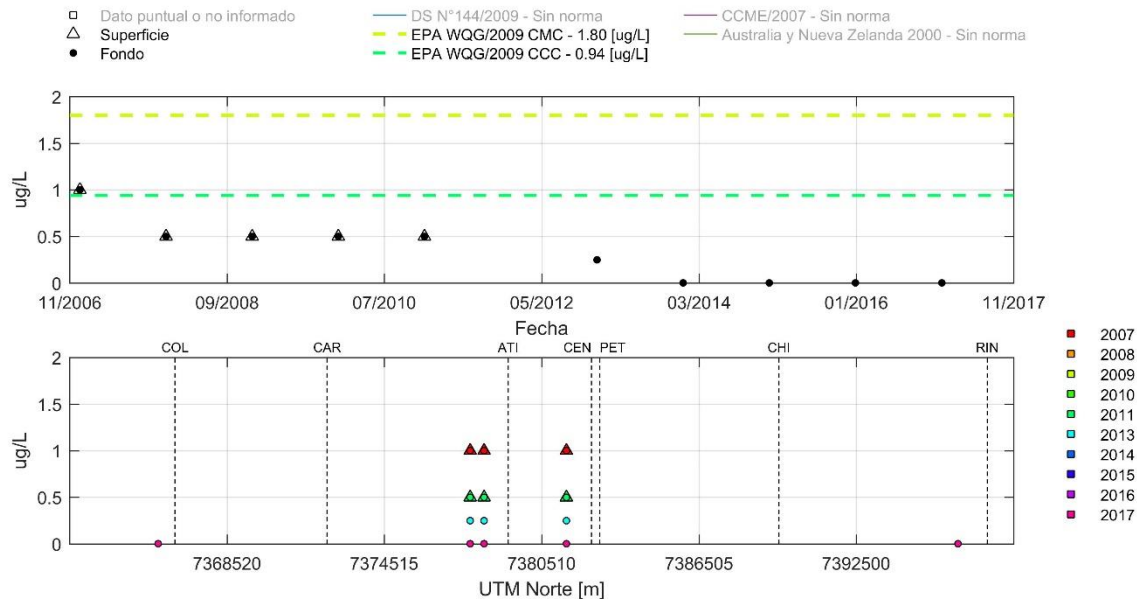


Figura 5.2-57 Concentración de Mercurio Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el 11,0% de los registros históricos superan el criterio EPA WQG/2009 CCC (concentración más alta ante la cual en una comunidad acuática puede estar expuesta indefinidamente sin que ello resulte en un efecto inaceptable), el que se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Mercurio Disuelto en agua marina (Figura 5.2-58). Cabe mencionar que en el caso del ordenamiento de los percentiles, estos dan cuenta de una constante, lo que es indicativo de valores en el límite de detección, por ende los valores pueden ser menores a lo reportado.

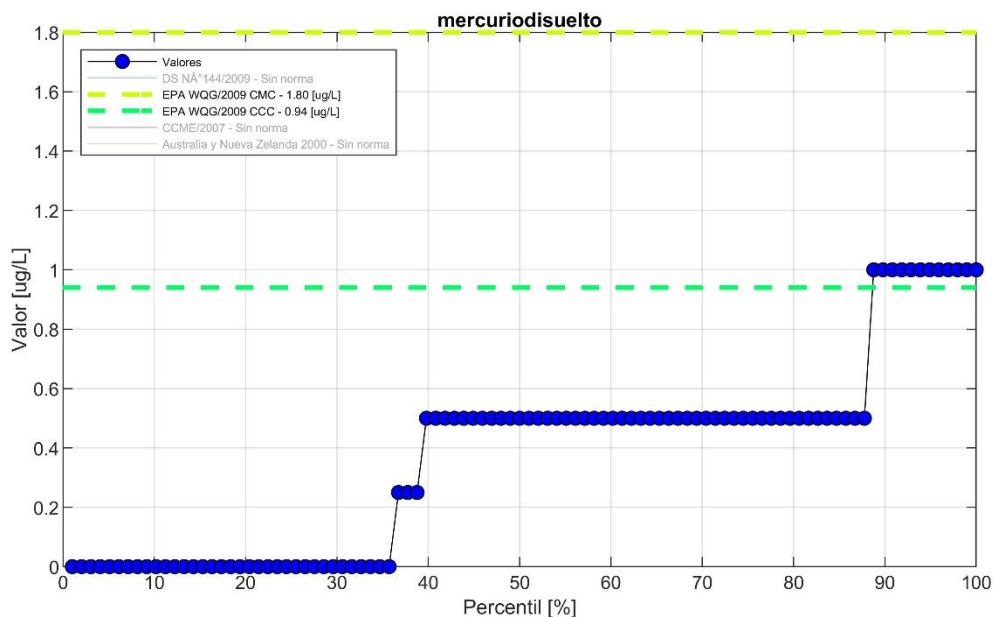


Figura 5.2-58 Concentración de Mercurio Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos EPA WQG/2009 CMC (Criteria Maximum Concentration) y EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration).

k) Mercurio Total

La concentración de Mercurio en su fracción total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente ha variado entre un valor mínimo bajo el límite de detección (0,016 µg/L) en el sector de la Chimba el año 2008, y un valor máximo de 8,00 µg/L registrado en el punto de muestreo del sector de la desaladora sur de Aguas de Antofagasta, el mismo año. Por otra parte, en la zona del fondo de la columna de agua la concentración ha fluctuado entre valores bajo el límite de detección (<1,0 µg/L) durante el período 2008-2011 y un valor máximo de 1,0 µg/L en el año 2007, ambos registrados en los puntos de muestreo cercanos al Puerto.

La variación temporal no muestra una tendencia clara, por cuanto existen muchos valores con límites de detección elevados. Durante el 2008 al 2009 se aprecia un muestreo extensivo, el cual da cuenta de valores cuantificables de mercurio total por debajo de los 0,1 µg/L (Figura 5.2-59, arriba).

En lo que se refiere a la variación espacial dentro de los sectores en la bahía, se puede observar que las mayores concentraciones se han registrado en la zona cercana al sector de quebrada Carrizo, Puerto y Centro de la Bahía. Los demás sectores muestran todos registros por debajo de los 0,1 µg/L (Figura 5.2-59, abajo).

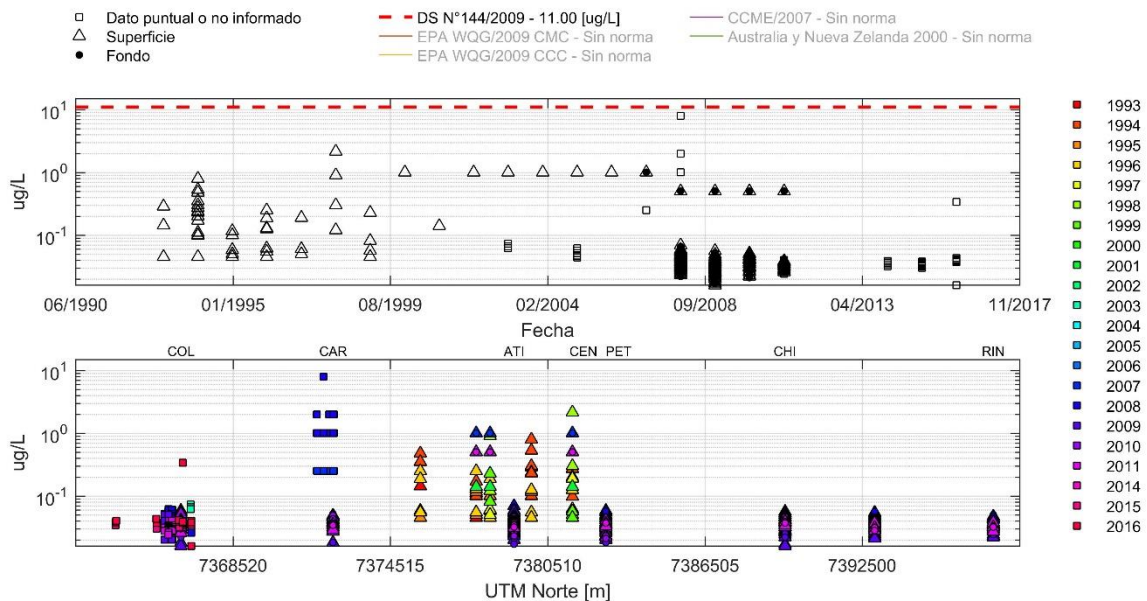


Figura 5.2-59 Concentración de Mercurio Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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.

En lo que se refiere a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), se observa que la totalidad de los registros de Mercurio Total en la columna de agua han estado bajo los límites máximos sugeridos en la normativa nacional por el DS N°144/2009 (Figura 5.2-60).

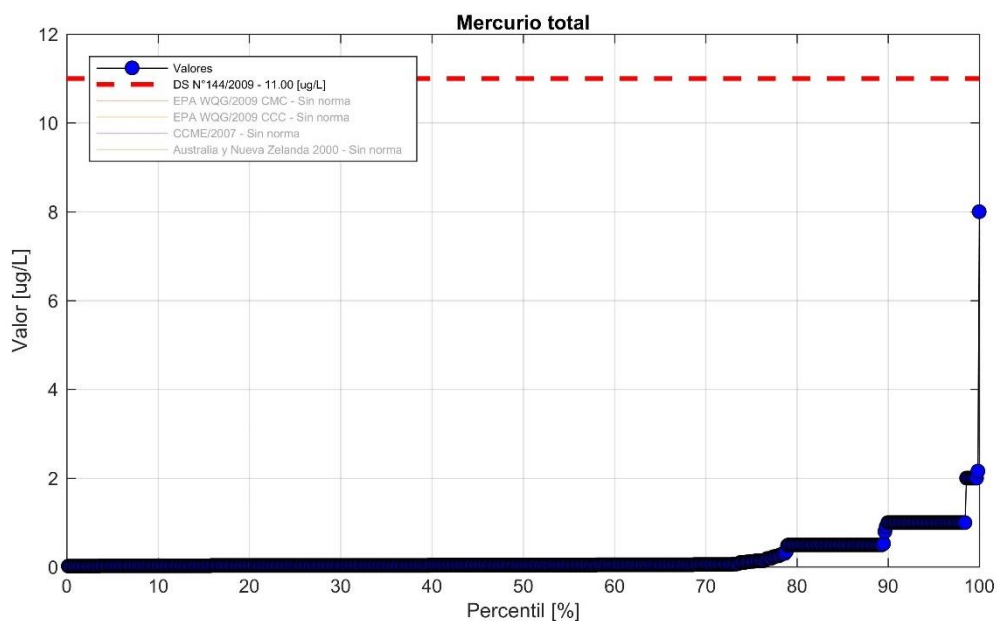


Figura 5.2-60 Concentración de Mercurio Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en el DS N°144/2009.

1) Níquel Total

Las concentraciones de Níquel Total en la sección transversal de la columna de agua de la bahía San Jorge son solo reportadas mediante una campaña realizada durante 2013 y ninguno de los registros superan el límite de detección (<1,0 µg/L).

Como se mencionó anteriormente, al tener registro de una única campaña, no se puede analizar variación temporal (Figura 5.2-61, arriba).

Considerando la homogeneidad de los registros no se puede analizar variación espacial (Figura 5.2-61, abajo).

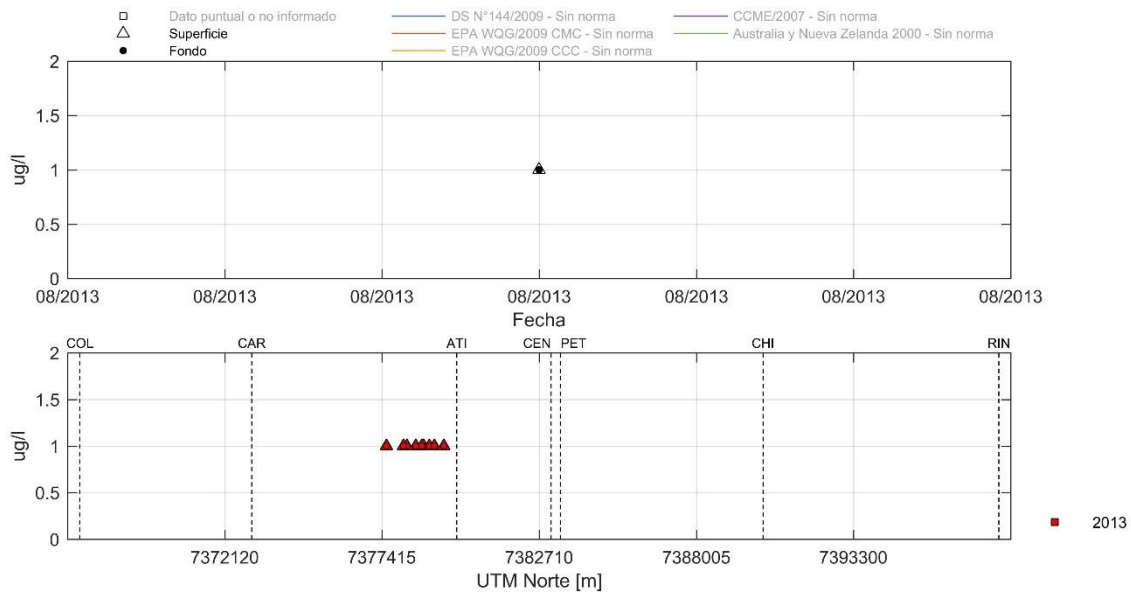


Figura 5.2-61 Concentración de Níquel Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del Níquel Total no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-62).

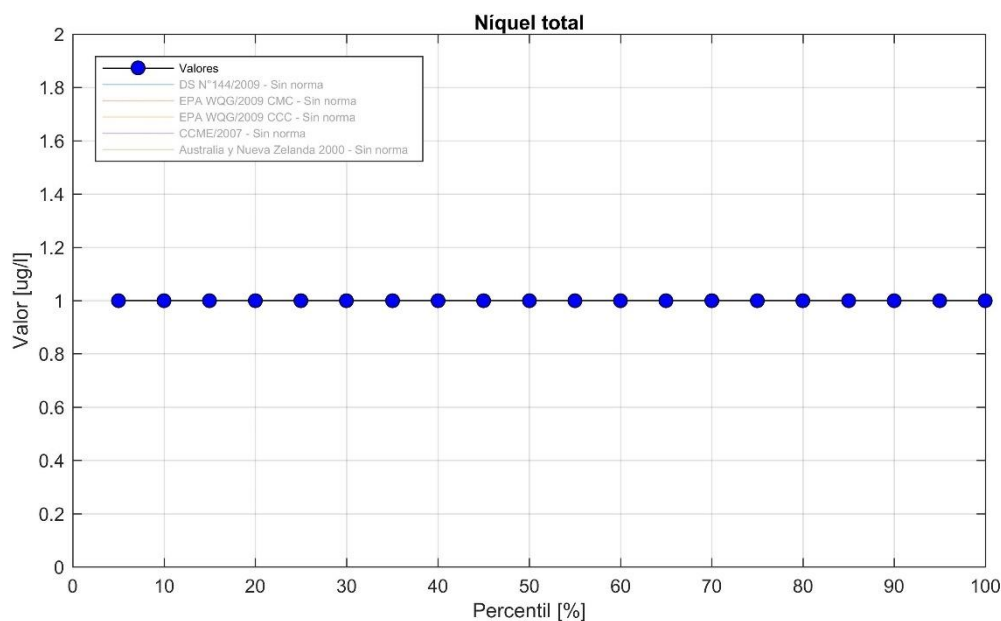


Figura 5.2-62 Concentración de Níquel Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

m) Plomo Disuelto

Históricamente las concentraciones de Plomo Disuelto han presentado valores bajo el límite de detección ($<0,05 \mu\text{g/L}$) durante el período 2009-2011 en los puntos de muestreo 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An para ambas secciones de la columna de agua (superficie y fondo). No obstante, se han detectado niveles por debajo estos límites, llegando a un mínimo de $0,014 \mu\text{g/L}$ en el sector de Coloso. En cuanto a los valores máximos, en la sección superficial se registró una concentración de $0,66 \mu\text{g/L}$ y en la zona profunda de $0,63 \mu\text{g/L}$, ambos muestreados en el sector cercano a Las Petroleras durante el año 2007.

En términos de variación temporal histórica las mayores concentraciones se registraron entre los años 2007 y 2008 (Figura 5.2-63, arriba).

Considerando la distribución espacial de los registros dentro de la bahía, se observa que las mayores concentraciones se encuentran en el sector cercano a Puerto y Las Petroleras, no obstante las cifras siguen estando por debajo de los límites normativos citados (Figura 5.2-63, abajo).

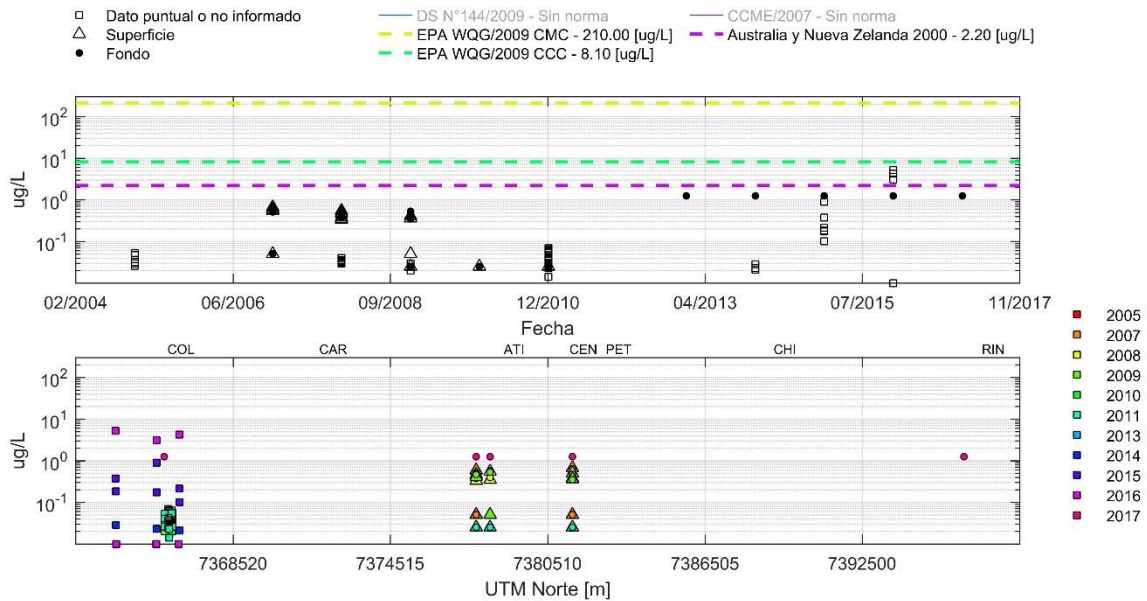


Figura 5.2-63 Concentración de Plomo Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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. Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), se observa que la totalidad de los registros de Plomo Disuelto en la columna de agua han estado bajo los límites máximos sugeridos por dichas normas (Figura 5.2-64).

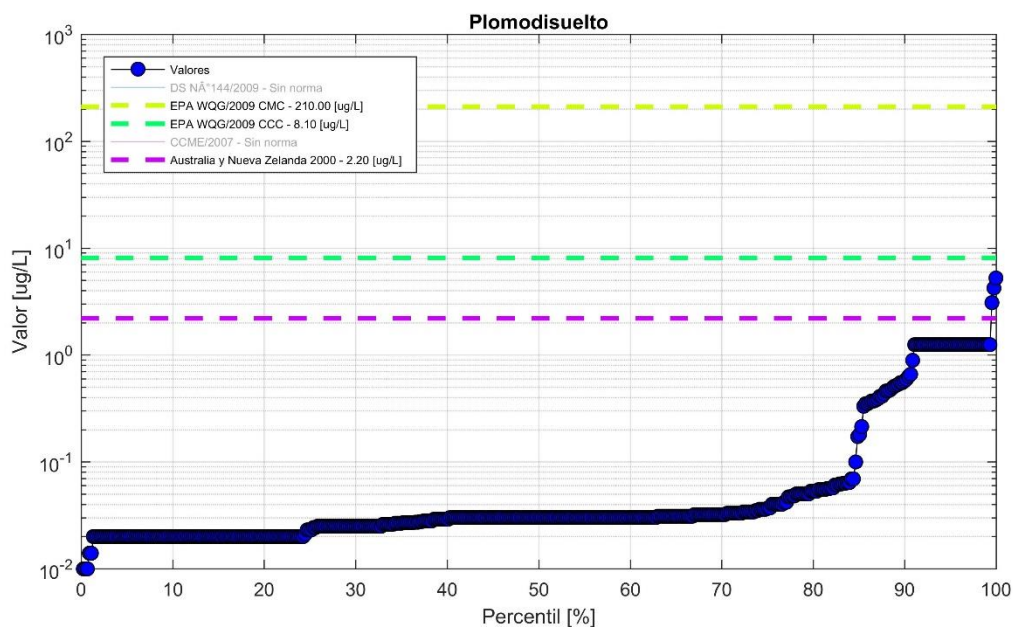


Figura 5.2-64 Concentración de Plomo Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos EPA WQG/2009 CMC (Criteria Maximum Concentration), EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration) y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

n) Plomo Total

La concentración de Plomo Total en el estrato superficial de la columna de agua de la bahía históricamente ha oscilado entre un valor mínimo de 0,012 µg/L registrado en el punto 030-A-An (sector Las Petroleras) durante 1998 y un valor máximo de 50 µg/L durante el período 2002-2003 en los puntos de muestreo 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua la concentración ha variado entre valores bajo el límite de detección (<0,05 µg/L) durante el período 2009-2011 en los puntos de muestreo 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An, y un máximo de 0,71 µg/L registrado en el punto de monitoreo 030-A-An en el año 2007.

La variabilidad temporal se puede observar que las mayores concentraciones se registraron al comienzo de la medición, entre los años 1995 y 2002. En términos del período completo se observa un patrón de disminución con las menores concentraciones en el período 2009-2011 (Figura 5.2-65, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones se presentan en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre

los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-65, abajo).

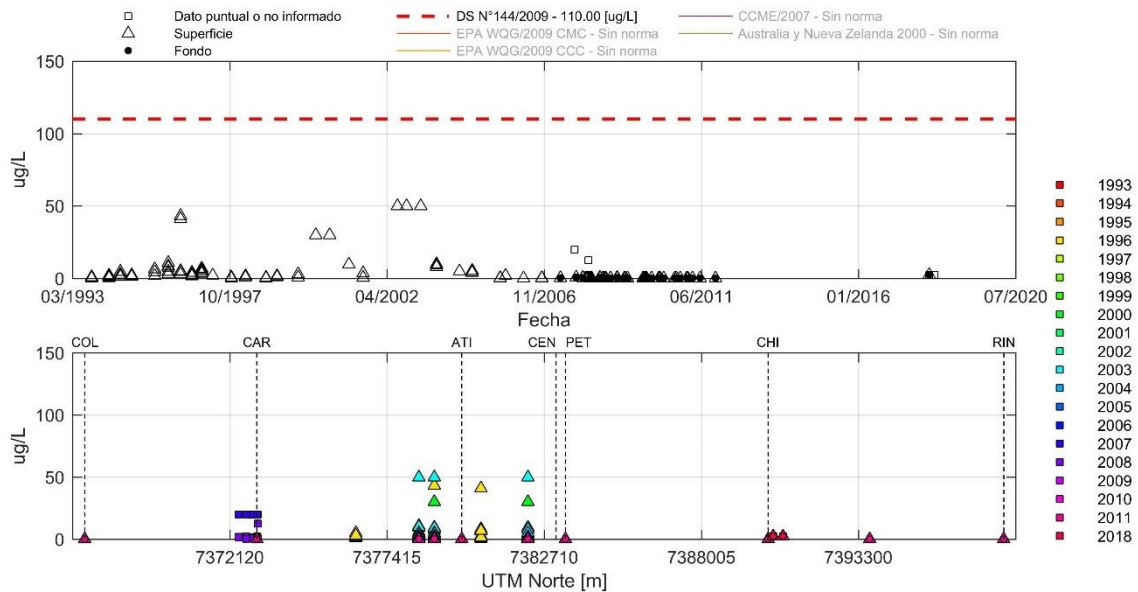


Figura 5.2-65 Concentración de Plomo Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas 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.

En lo que respecta a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que la totalidad de los registros de Plomo Total en la columna de agua han estado bajo los límites máximos sugeridos en la normativa nacional por el DS N°144/2009 (Figura 5.2-66).

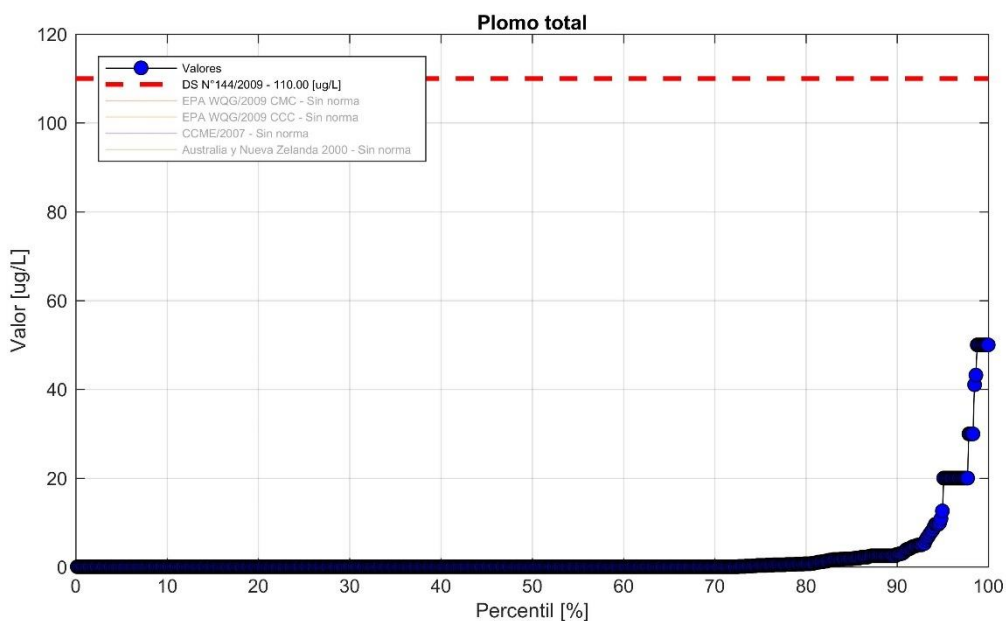


Figura 5.2-66 Concentración de Plomo Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en el DS N°144/2009.

o) Vanadio Total

Las concentraciones de Vanadio Total en la sección transversal de la columna de agua de la bahía San Jorge son solo reportadas mediante una campaña realizada durante 2013 y ninguno de los registros superan el límite de detección (<0,5 µg/L).

Como se mencionó anteriormente, al tener registro de una única campaña, no se puede analizar variación temporal (Figura 5.2-67, arriba).

Considerando la homogeneidad de los registros no se puede analizar variación espacial (Figura 5.2-67, abajo).

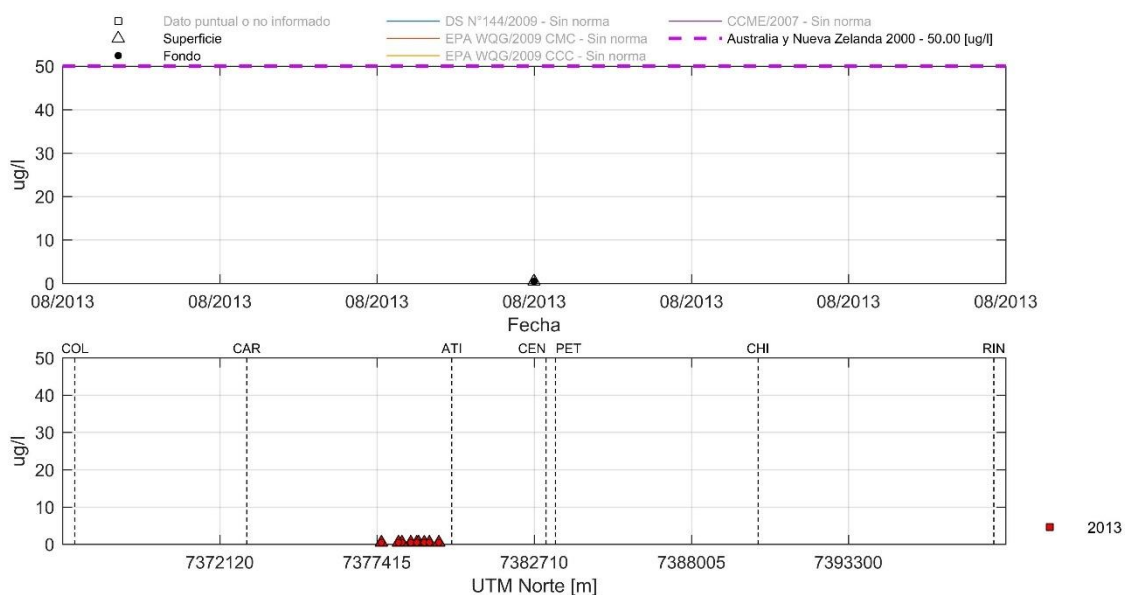


Figura 5.2-67 Concentración de Vanadio Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), se tiene que la totalidad de los registros históricos están dentro del límite establecido por la norma de Australia y Nueva Zelanda (2000) (Figura 5.2-68).

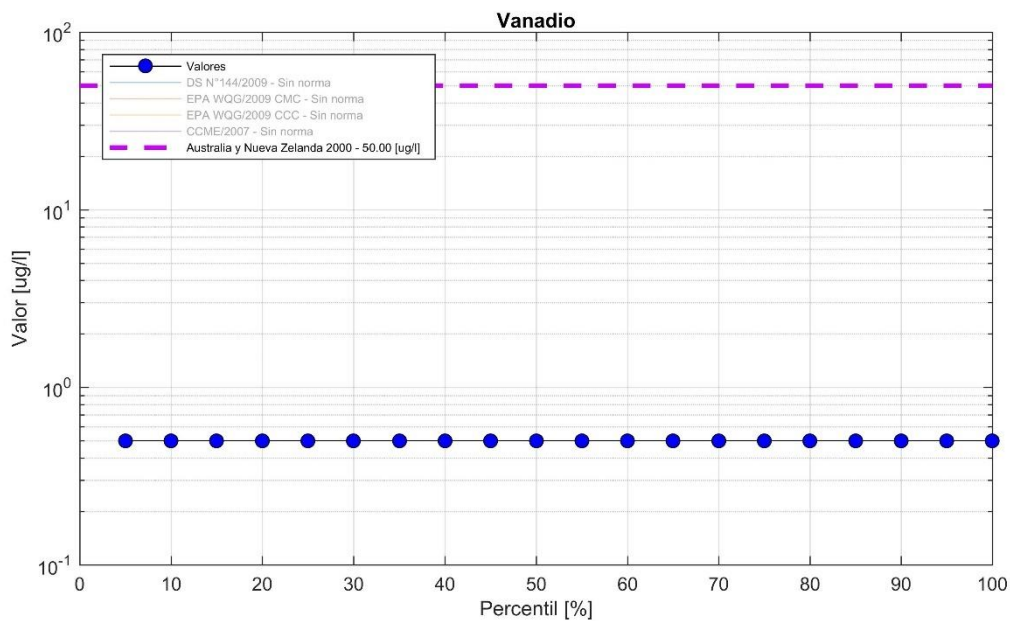


Figura 5.2-68 Concentración de Vanadio Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

p) Zinc Disuelto

Las concentraciones de Zinc Disuelto en la sección superficial de la columna de agua de la bahía históricamente han variado entre valores bajo el límite de detección (<0,05 µg/L) registrado en los puntos 030-A-An (sector Las Petroleras) y 100-A-An en el sector puerto durante los años 2009-2010 y un valor máximo de 10,74 µg/L en el sector Puerto durante el año 2010. En el sector de Coloso, las cifras se mantienen en el rango de los 1,27 a 6,63 µg/L.

En cuanto a la variación temporal se observa un patrón de ciclicidad, las concentraciones más elevadas se registraron en los extremos del período estudiado, en los años 2007 y 2010 (Figura 5.2-69, arriba).

En términos de la variación espacial dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones se registran en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-69, abajo).

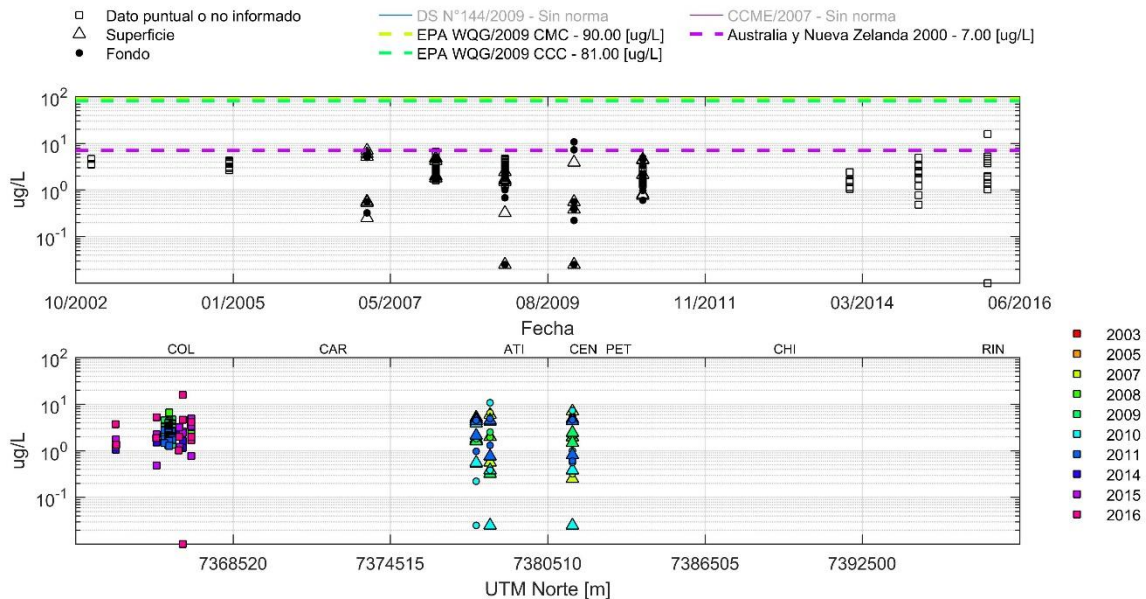


Figura 5.2-69 Concentración de Zinc Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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. Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), se observa que el 0,84% de los registros históricos están por sobre el valor máximo establecido por la norma de Australia y Nueva Zelanda (2000), el que se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Zinc Disuelto en agua marina (Figura 5.2-70).

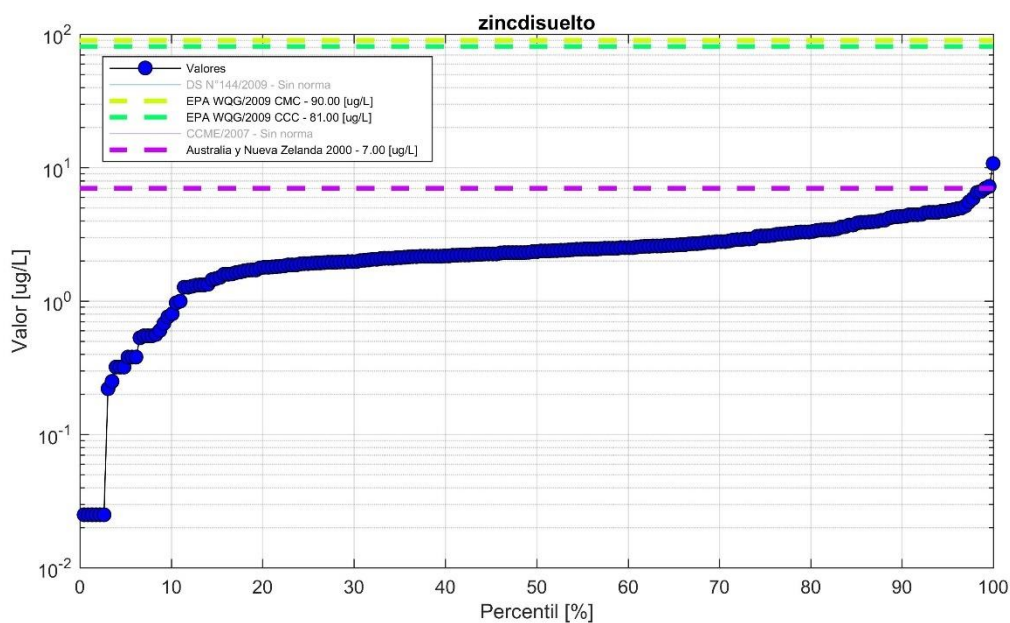


Figura 5.2-70 Concentración de Zinc Disuelto en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos EPA WQG/2009 CMC (Criteria Maximum Concentration), EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration) y norma de Australia y Nueva Zelanda (2000). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

q) Zinc Total

Históricamente las concentraciones de Zinc Total en la sección superficial de la columna de agua de la bahía han variado entre valores bajo el límite de detección ($<0,05 \mu\text{g/L}$) registrado en los puntos 030-A-An (sector Las Petroleras) y 100-A-An (sector Puerto) durante los años 2009-2010 y un valor máximo de $178,2 \mu\text{g/L}$ en el punto 160-A-An (sector Puerto) en el año 1994. Por otro lado, en la zona profunda las concentraciones han fluctuado entre un valor mínimo $0,11 \mu\text{g/L}$ registrado en el punto 100-A-An en el año 2009 y un valor máximo de $33,0 \mu\text{g/L}$ en los puntos 1-CMM-57020 (sector Puerto) y 83-CMM-57020 (sector Puerto) durante el año 2013.

La variabilidad temporal muestra que las mayores concentraciones se registraron al comienzo de la medición, entre los años 1994 y 2000. En términos del período completo se observa un patrón de disminución (Figura 5.2-71, arriba).

Considerando la distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-71, abajo).

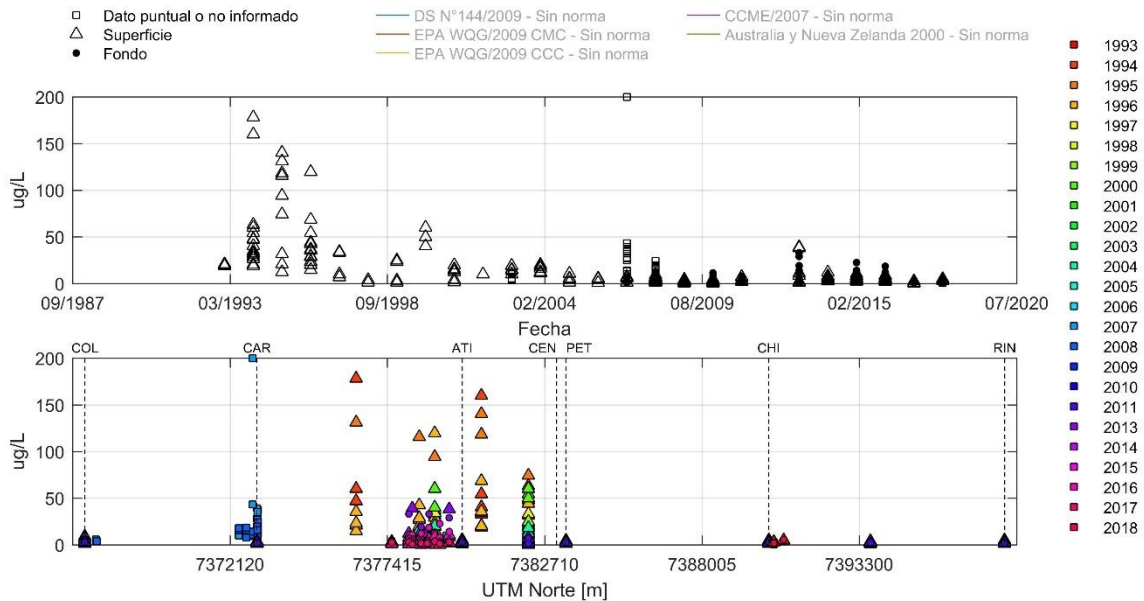


Figura 5.2-71 Concentración de Zinc Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del Zinc Total no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-72).

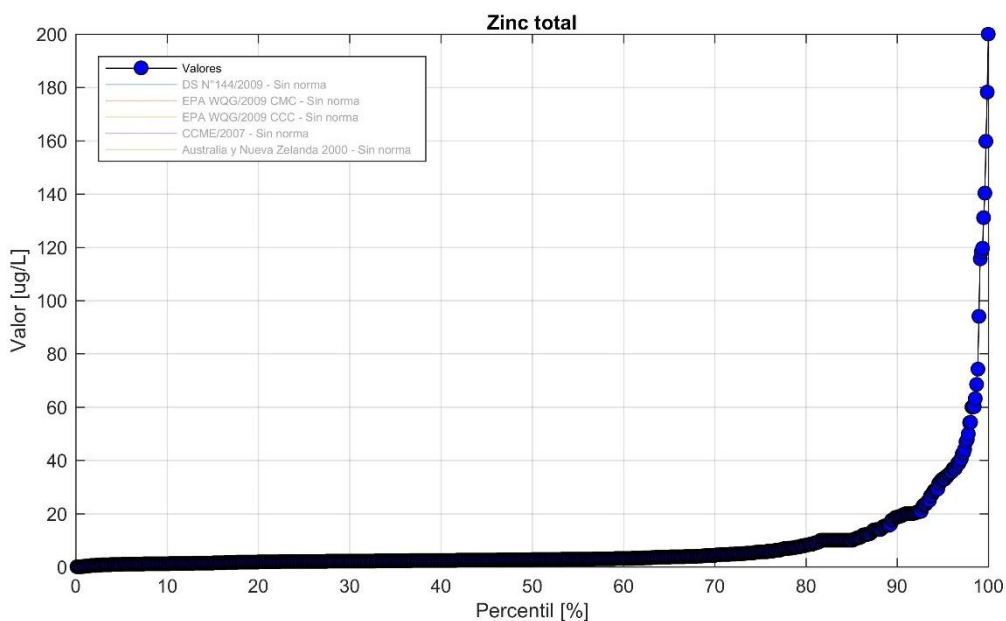


Figura 5.2-72 Concentración de Zinc Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

v. Parámetros de Productividad y Nutrientes

a) Nitratos

En la bahía San Jorge la concentración de Nitratos en la sección superficial de la columna de agua históricamente ha oscilado entre un valor mínimo de 0,001 mg/L en el punto de monitoreo 100-A-An (sector Puerto) en el año 1999 y un valor máximo de 166 mg/L registrado en 030-A-An (sector Las Petroleras) durante el 2004. Por otra parte, en el estrato profundo de la columna de agua la concentración ha variado entre valores bajo el límite de detección (<0,1 mg/L) registrado en los puntos Control y E6 en el año 2012 (sector Las Petroleras) y una concentración máxima de 25,3 mg/L durante 2016 en la estación 028-A-An (La Rinconada).

En cuanto a la variación temporal se observa que las concentraciones se mantienen constantes en el tiempo, con un peak en el año 2004 (Figura 5.2-73, arriba).

En relación con la distribución espacial dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones se registran en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-73, abajo).

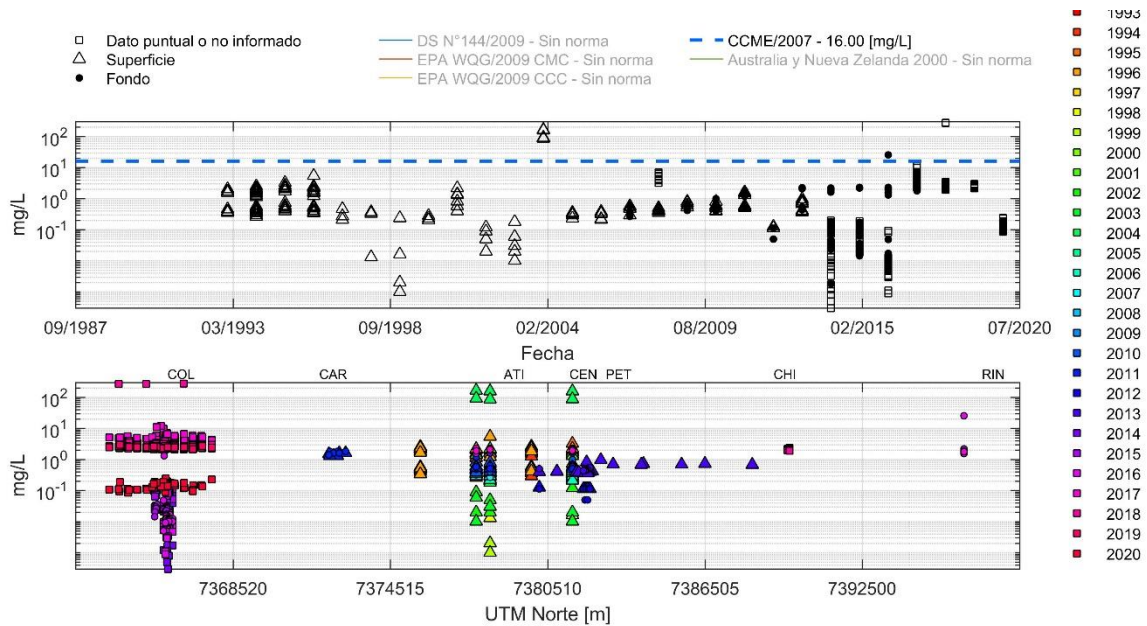


Figura 5.2-73 Concentración de Nitratos en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas 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.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el 1,41% de los registros históricos superan el límite máximo de la normativa canadiense CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007) (Figura 5.2-74).

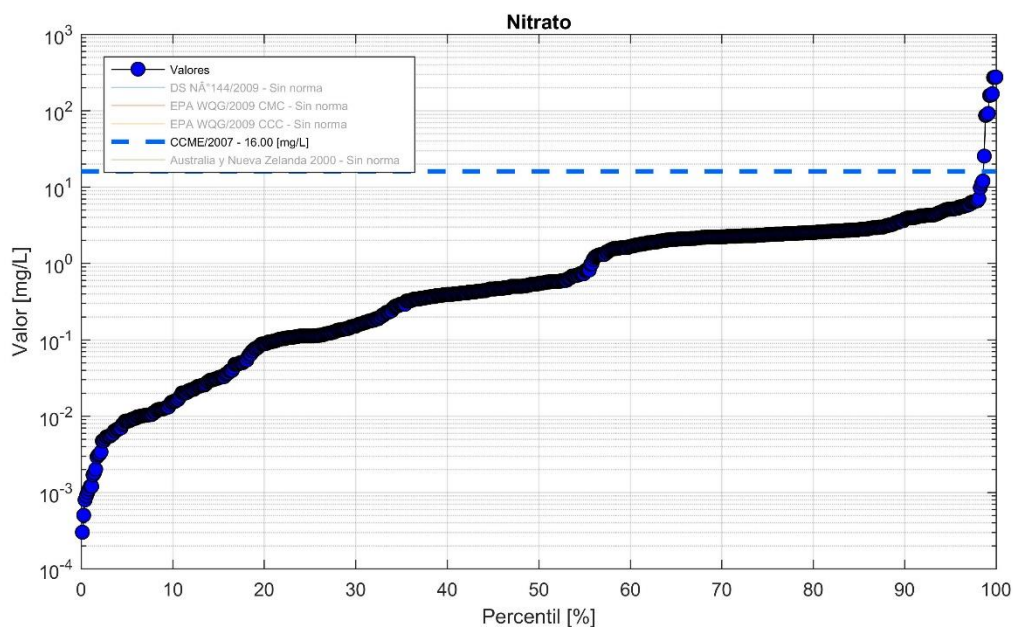


Figura 5.2-74 Concentración de Nitratos en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos CCME/2007 (Canadian Council of Ministers of the Environment).

b) 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 de 0,0025 mg/L registrado en el año punto 100-A-An durante 1999 en el sector Puerto, y un valor máximo de 2,8 mg/L en Coloso en el año 2016. Por otra parte, en la zona profunda de la columna de agua las concentraciones han variado entre valores bajo el límite de detección ($< 0,02$ mg/L) durante el período 2008-2011 en los puntos de muestreo 030-A-An, 100-A-An y 120-A-An, y un máximo de 0,46 mg/L durante 2011 en la estación E2 (sector Quebrada Carrizo).

Considerando la variación temporal se observa un patrón de disminución, con concentraciones más altas durante 1994 y valores gradualmente menores hasta la actualidad (Figura 5.2-75, arriba).

La distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía muestra que las mayores concentraciones se presentan en la zona cercana al Puerto de Antofagasta y el Centro de Bahía (Figura 5.2-75, abajo).

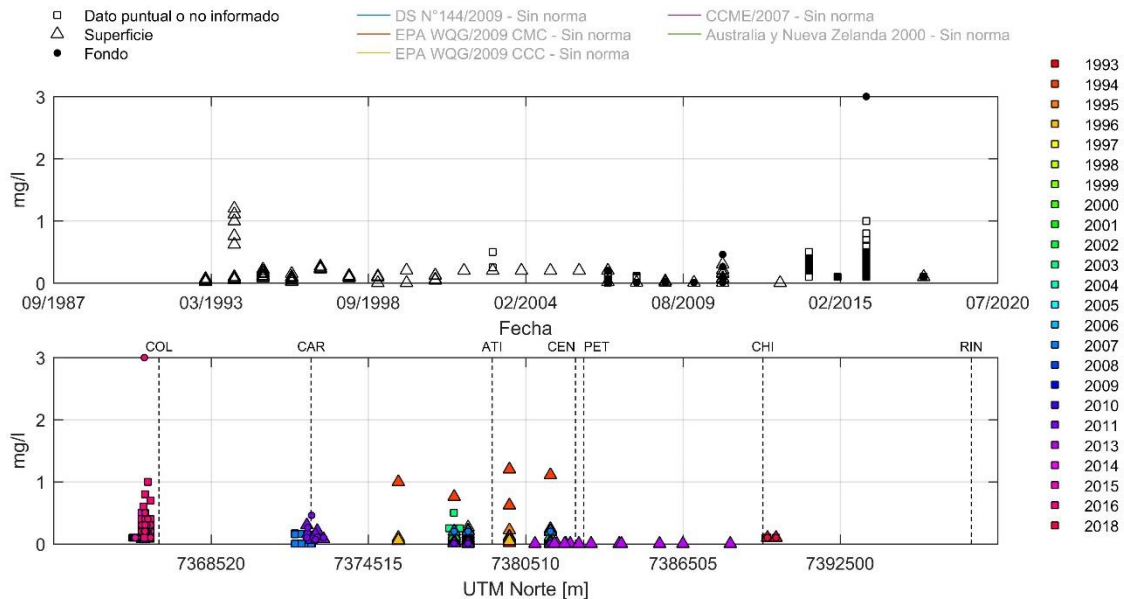


Figura 5.2-75 Concentración de Fósforo Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado.

En lo que respecta a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del Fósforo Total no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-76).

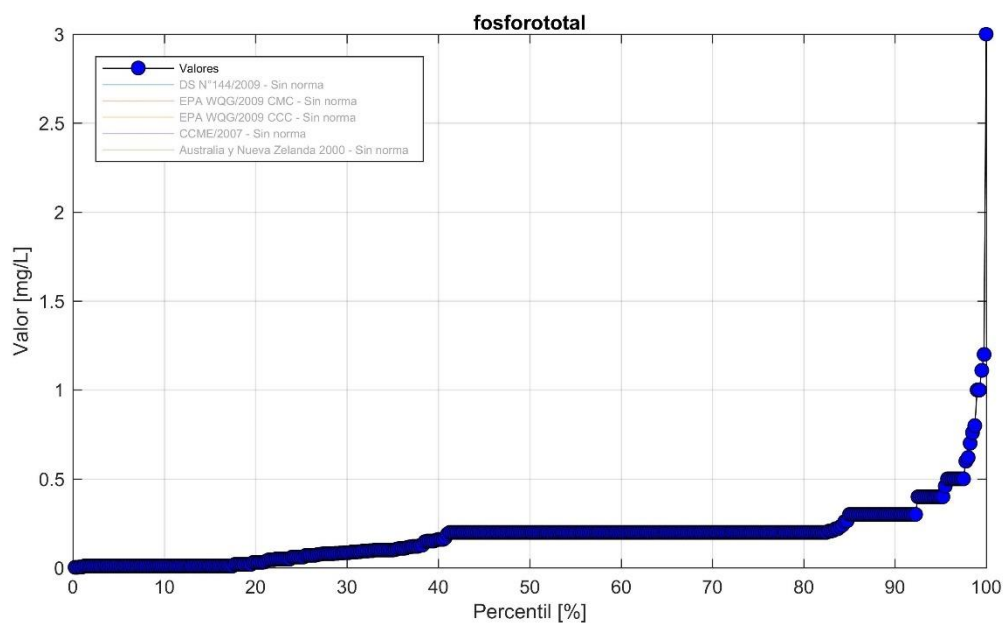


Figura 5.2-76 Concentración de Fósforo Total en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

vi. Contaminantes Biológicos

a) Coliformes Totales

El total de bacterias coliformes históricamente ha variado entre valores bajo el límite de detección (<1,8 NMP/100mL) registrados en el año 2013 para ambas secciones de la columna de agua (superficie y fondo). En el estrato superficial se registró un valor máximo de 16.000 NMP/100mL en el punto de muestreo 060-A-An (sector Puerto) en el año 1995. Asimismo, para el estrato fondo se presentó un valor máximo de 1.600 NMP/100mL durante el 2012-2013.

La variación temporal no muestra una tendencia o patrón definido, sólo destacan valores máximos en el año 1995 (Figura 5.2-77, arriba).

En lo que se refiere a la distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-77, abajo).

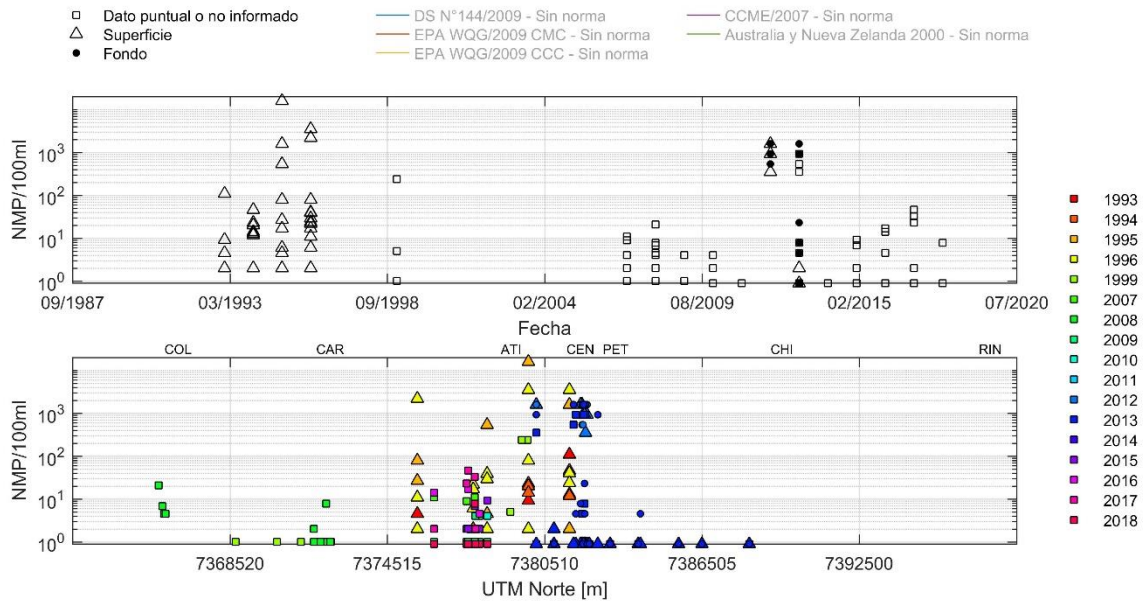


Figura 5.2-77 Concentración de Coliformes Totales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona, presentados por estrato monitoreado. Los valores se presentan en escala logarítmica para una mejor visualización.

En lo que respecta a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso de los Coliformes Totales no existen valores en la legislación revisada (Figura 5.2-78).

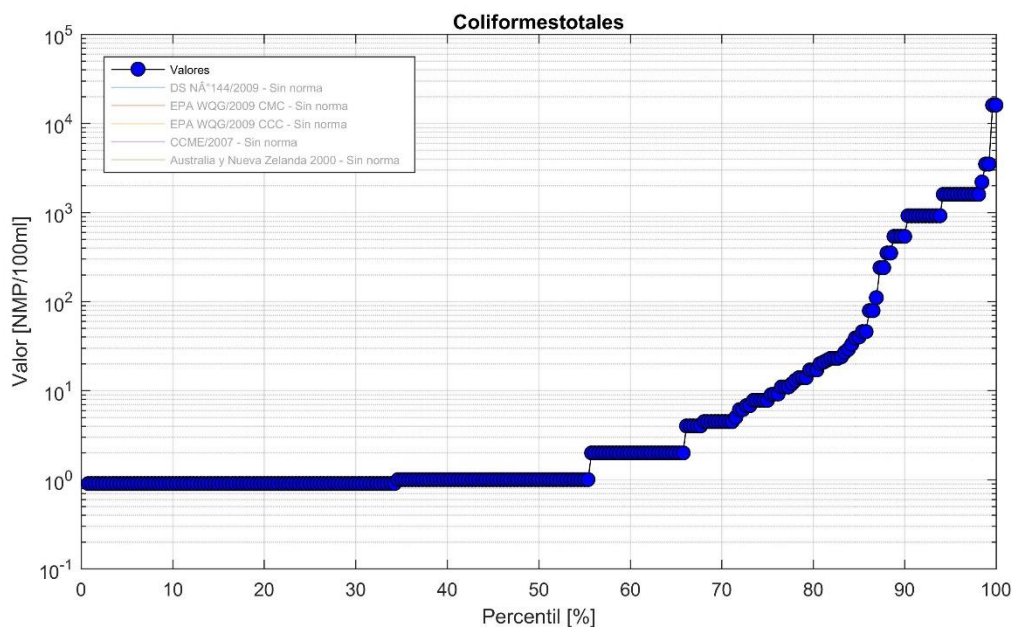


Figura 5.2-78 Concentración de Coliformes Totales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz agua.

b) 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 9.200 NMP/100mL en el punto 060-A-An en 1995 y 920 en el punto 100-A-An en 2007, en superficie y fondo respectivamente (ambos registros medidos en el sector Puerto).

En cuanto a la variación temporal no se observa un patrón definido, solo concentraciones levemente mayores en el período 1995-1996 (Figura 5.2-79, arriba).

La distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía muestra que las mayores concentraciones se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-79, abajo).

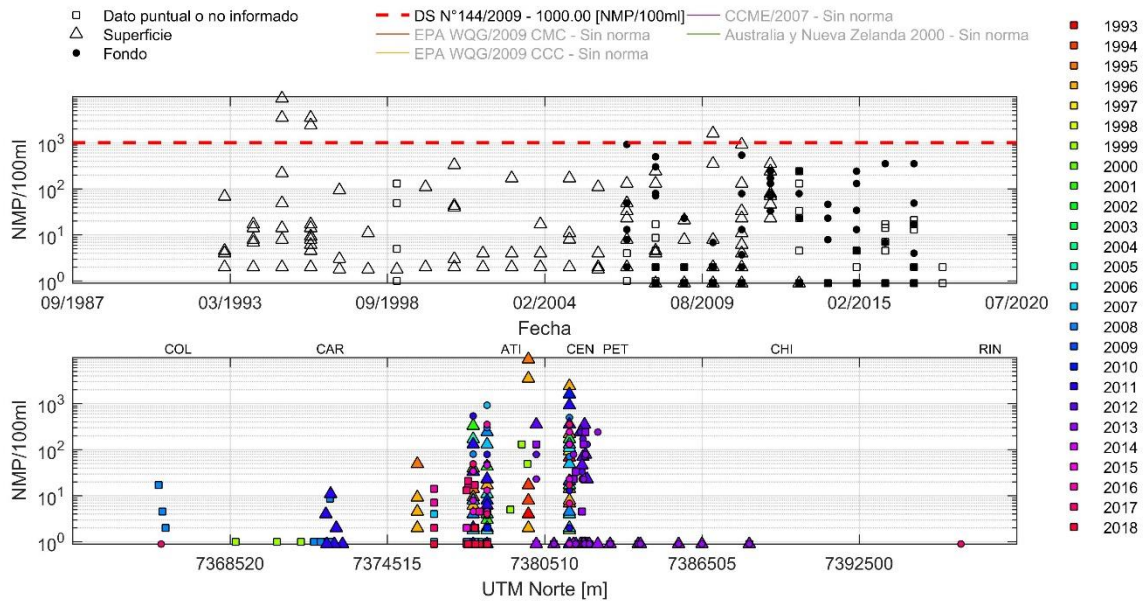


Figura 5.2-79 Concentración de Coliformes Fecales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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. Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se tiene que el 1,55% de los registros históricos superan el valor máximo establecido en la normativa nacional por el D.S. N°144 del 2009 para Coliformes Fecales en agua marina (Figura 5.2-80).

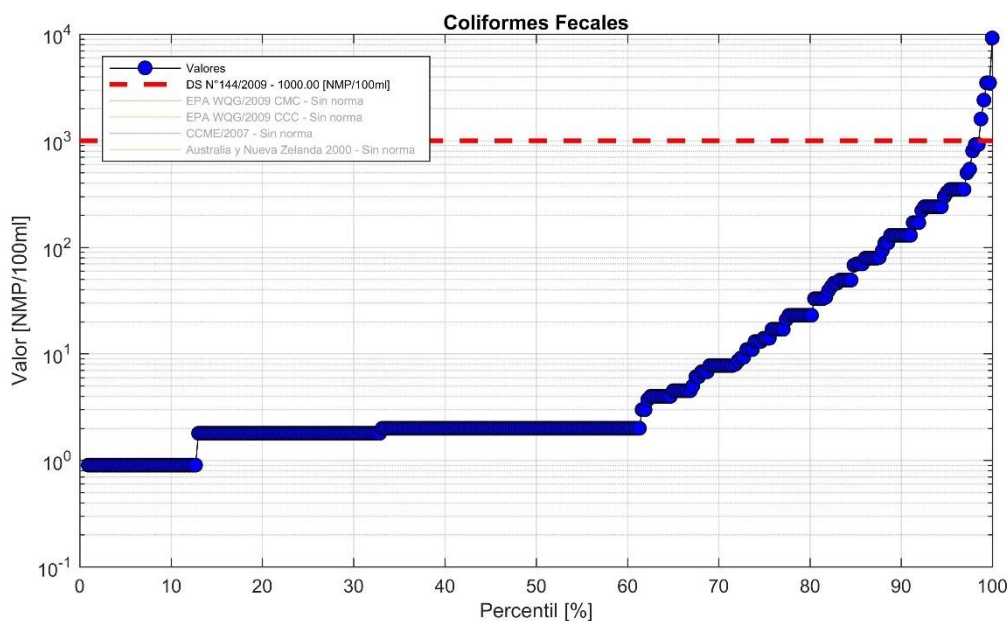


Figura 5.2-80 Concentración de Coliformes Fecales en la columna de agua en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144/2009.

5.2.1.5.2 Sedimentos

Para la caracterización de los datos históricos de calidad del sedimento se utilizaron un total de 4 normativas. Los valores y sus criterios son los siguientes:

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

- MOP (1994). Manual para la cuantificación de externalidades de proyectos portuarios del
- CCME (2002). Interim Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life Ontario.
- NWQMS (2000). Australian and Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters. Sediment quality guidelines.

A continuación, la Tabla 5.2-4 muestra los valores referenciales utilizados para comparar los parámetros de calidad ambiental del sedimento marino, respecto a los parámetros con límites normativos.

Tabla 5.2-6 Normativa nacional e internacional utilizada para contrastar los parámetros de calidad ambiental del sedimento marino en bahía San Jorge

Normativa	Unidad	MOP 1994	ISQG Canadá 2002	NWQMS Australia y Nueva Zelanda 2002
Arsénico	mg/kg	57,00	7,24	20,00
Cadmio	mg/kg	1,00	0,70	1,50
Cobre	mg/kg	130,00	18,70	65,00
Cromo	mg/kg	55,00	52,30	80,00
Mercurio	mg/kg	0,20	0,13	0,15
Plomo	mg/kg	66,00	30,20	50,00
Zinc	mg/kg	160,00	124,00	200,00

i. Parámetros de condición instantánea

a) pH

Se tiene registro del pH de los sedimentos intermareales de la bahía solamente para el año 2012. Los valores de pH se presentaron entre 7,50 unidades en el punto de muestreo Intermareal-SEA-17 y 8,20 unidades en el punto E3-SEA-17 en la campaña de julio del 2012, ambos registrados en el sector Las Petroleras.

Como se mencionó anteriormente, al tener registro de una única campaña, no se puede analizar variación temporal (Figura 5.2-81, arriba).

Considerando la homogeneidad de los registros no se puede analizar variación espacial (Figura 5.2-81, abajo).

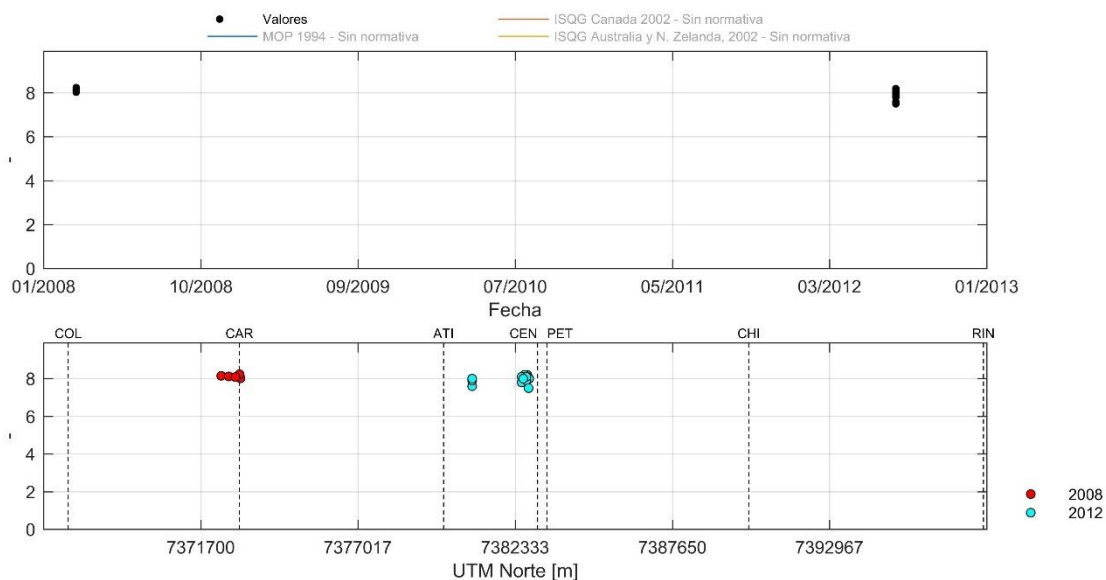


Figura 5.2-81 pH en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En lo que respecta a los límites máximos permitidos por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del pH no existen valores para sedimentos submareales en la legislación revisada (Figura 5.2-82).

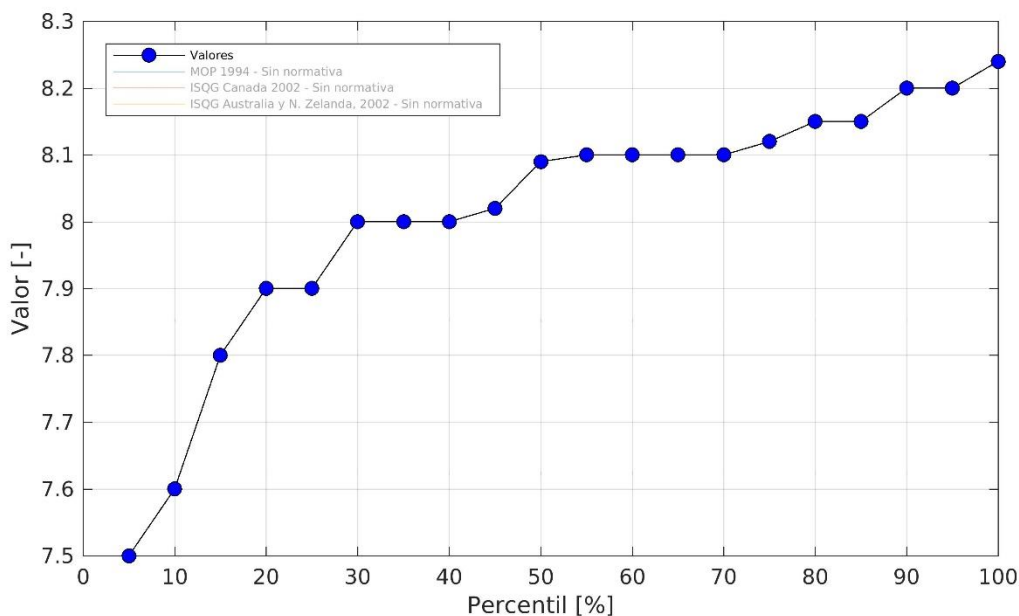


Figura 5.2-82 Concentración de pH en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

b) Potencial Redox (ORP)

Los registros del Potencial Redox en los sedimentos de la bahía San Jorge se cuenta con registros desde el 2008 al 2011, y solo para los sectores de Carrizo y cercano a Las Petroleras. Todos los puntos de muestreo presentaron valores promedio positivos (oxidantes), el punto Control-SEA-17 (sector Las Petroleras) es el que presentó un mayor potencial oxidante con 396 mV.

Como se mencionó anteriormente, al tener registro de una única campaña, no se puede analizar variación temporal (Figura 5.2-83, arriba).

Considerando la homogeneidad de los registros no se puede analizar variación espacial (Figura 5.2-83, abajo).

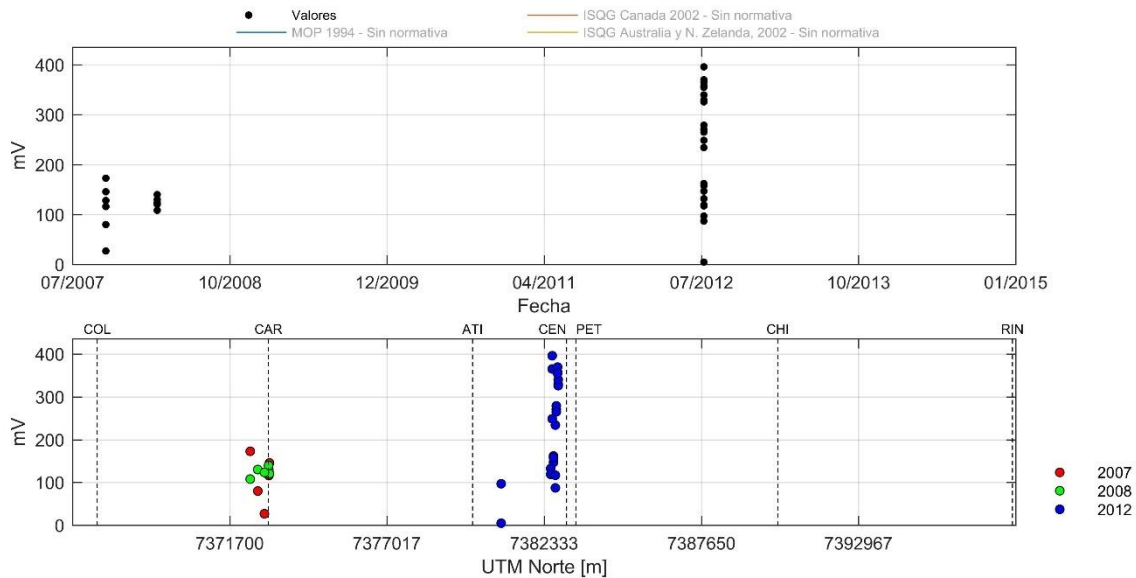


Figura 5.2-83 Potencial Redox en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En lo que respecta a los límites máximos permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso del Potencial Redox no existen valores para sedimentos en la legislación revisada (Figura 5.2-84).

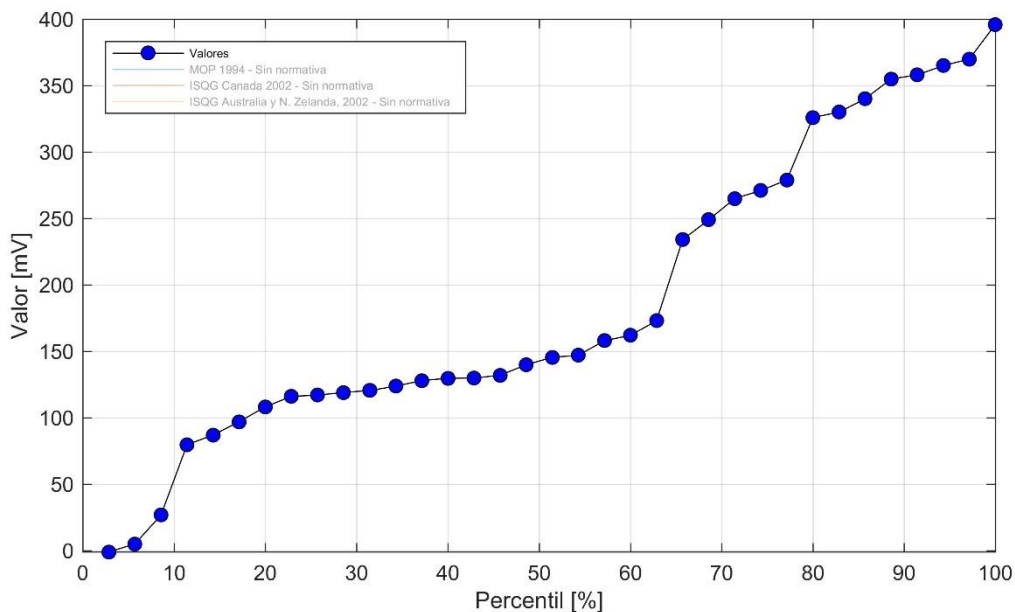


Figura 5.2-84 Valores de Potencial Redox en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

c) Temperatura

En la bahía se tiene registro de la Temperatura de los sedimentos submareales solamente para el año 2012. Los valores de Temperatura se presentaron entre 17°C en el punto de muestreo E6-SEA-17 (sector Las Petroleras) y 14°C en el punto E1-SEA-17 (sector Puerto) en la campaña de julio del 2012.

Como se mencionó anteriormente, al tener registro de una única campaña, no se puede analizar variación temporal (Figura 5.2-85, arriba).

Considerando la homogeneidad de los registros no se puede analizar variación espacial (Figura 5.2-85, abajo).

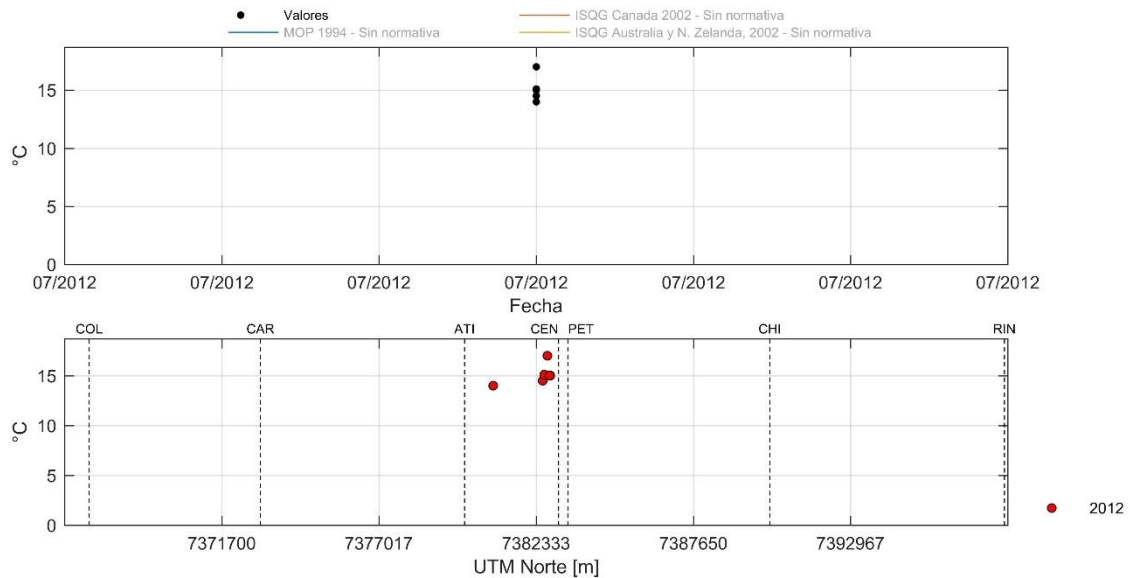


Figura 5.2-85 Temperatura en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

Con respecto a los umbrales de Temperatura permitidos por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), no existen valores para sedimentos submareales en la legislación revisada (Figura 5.2-86).

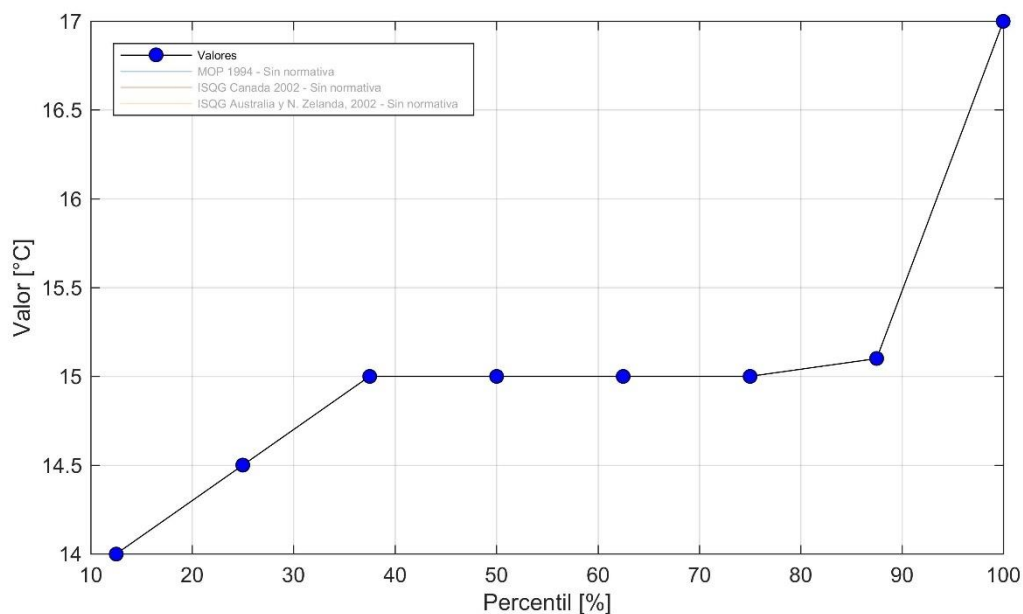


Figura 5.2-86 Valores de Temperatura en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

ii. Contaminantes orgánicos

a) Hidrocarburos Totales

En la bahía San Jorge la concentración de Hidrocarburos Totales en los sedimentos submareales históricamente ha variado entre valores bajo el límite de detección (<2,0 mg/kg) durante los años 2008 y 2010, y un valor máximo de 1.668 mg/kg en el punto 110-S-An (sector Puerto) en el 2007.

La variación temporal muestra 2 máximos históricos para el año 2007. En términos del período completo se observa un leve aumento de la concentración en los últimos años de monitoreo (Figura 5.2-87, arriba).

Considerando la variación espacial de las concentraciones dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones se registran en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente (Figura 5.2-87, abajo).

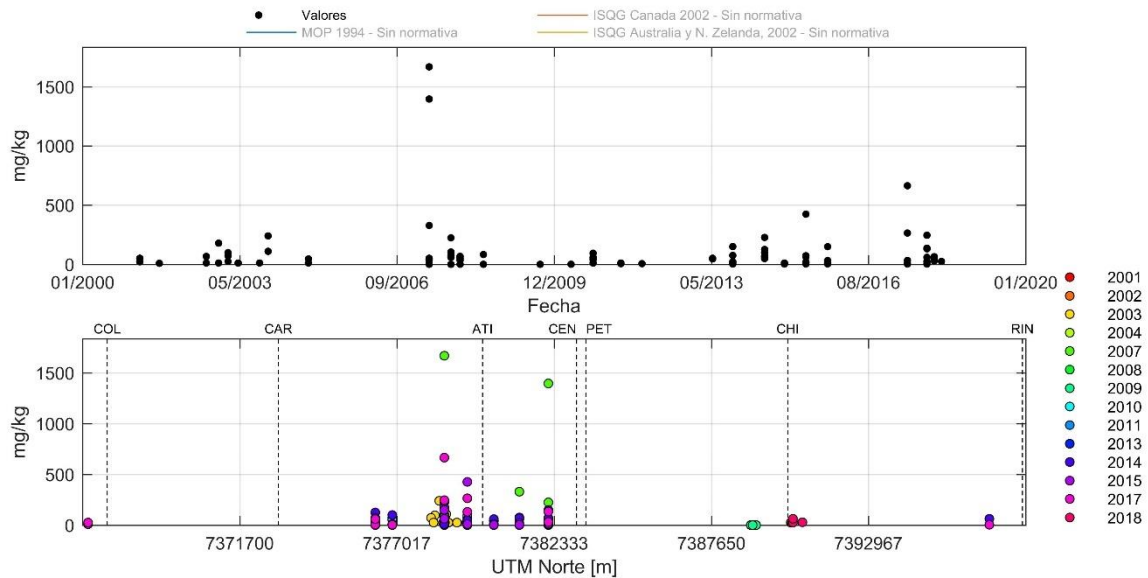


Figura 5.2-87 Concentración de Hidrocarburos Totales en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En lo que concierne a las concentraciones máximas permitidas por las normas nacionales e internacionales, para el caso de los Hidrocarburos en su fracción total no existen valores de concentración para sedimentos submareales en la legislación revisada (Figura 5.2-88).

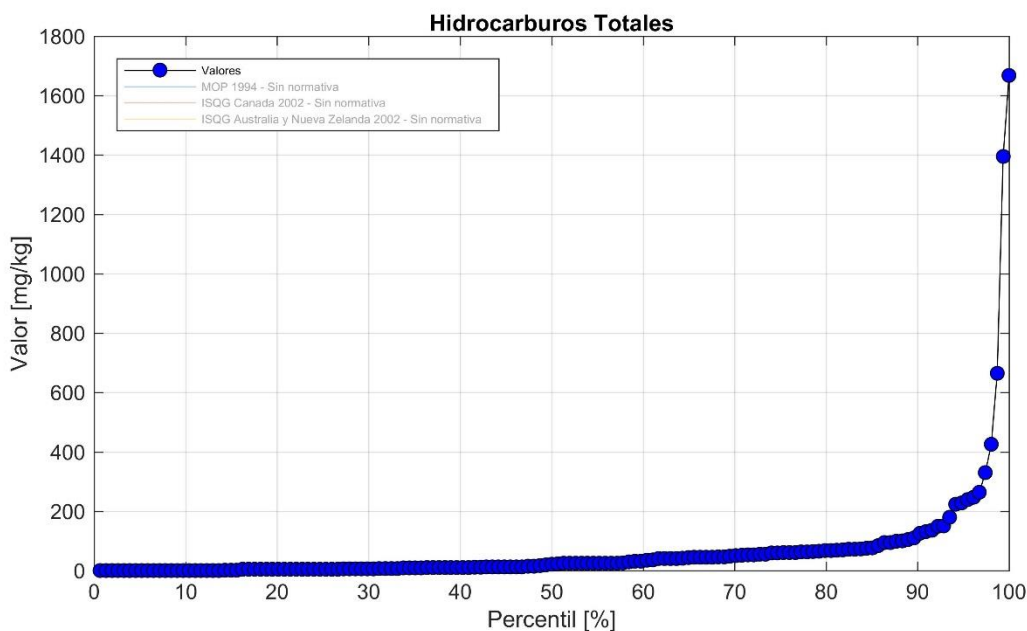


Figura 5.2-88 Concentración de Hidrocarburos Totales en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

b) Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

La concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en los sedimentos submareales presentó fluctuaciones entre un valor mínimo de 0,43 mg/kg en el punto ATI03 y un máximo histórico de 55,5 mg/kg en el punto de muestreo ATI01, ambos registrados en el sector Puerto durante el año 2003.

En cuanto a la variación temporal se observan un peak de concentración registrado en el año 2003 (Figura 5.2-89, arriba). Los datos del 2013 al 2017 tienen un límite de detección <2 mg/kg de y la gran mayoría de datos se encuentran por debajo de este umbral. El mínimo histórico presenta un valor menor a los 2 mg/kg probablemente por haber sido medido con otra sensibilidad analítica.

Considerando la distribución espacial de las concentraciones dentro de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-89, abajo).

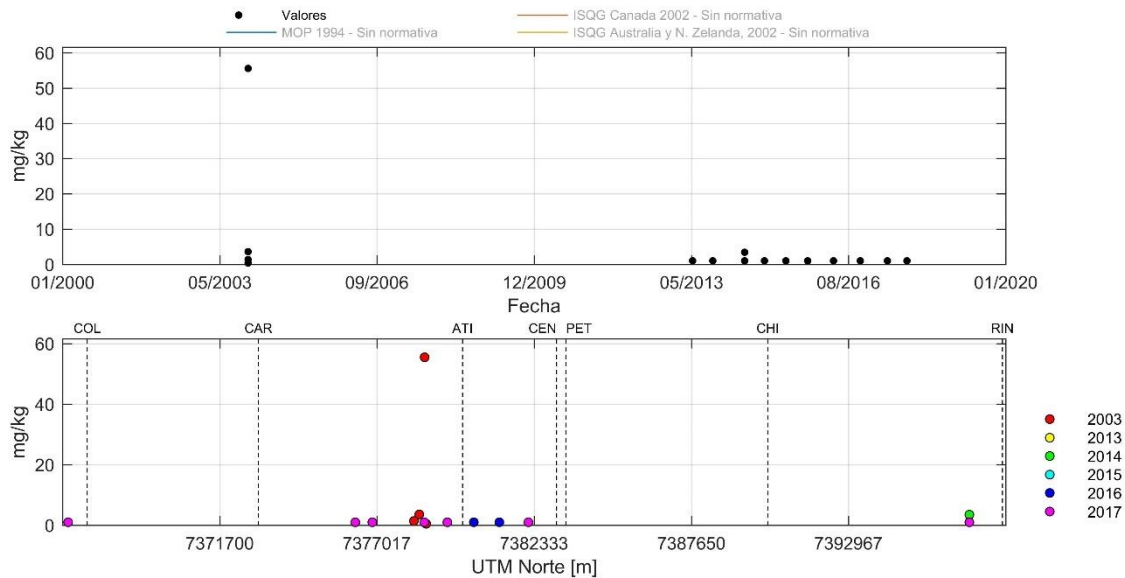


Figura 5.2-89 Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En lo que respecta a los valores máximos de concentración permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso del Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos no existen valores de concentración para sedimentos submareales en la legislación revisada (Figura 5.2-90).

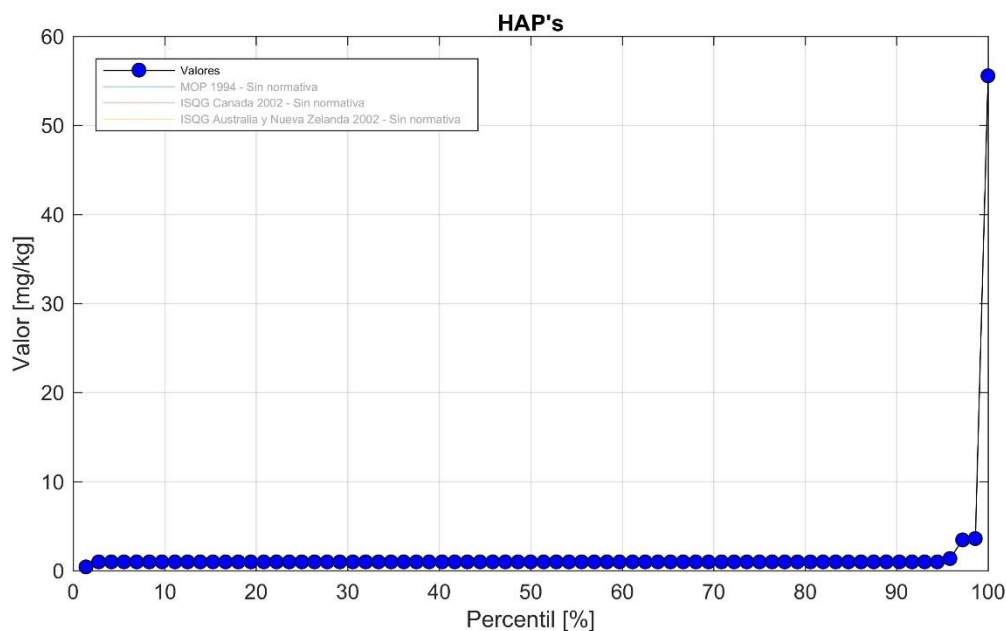


Figura 5.2-90 Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

iii. Metales y metaloides

a) Arsénico

La concentración de Arsénico en los sedimentos submareales presentó variaciones entre valores bajo el límite de detección ($< 0,006$ mg/kg) y un máximo histórico de 1520,0 mg/kg este último ligado a la estación E3 de la planta desaladora Sur de Aguas de Antofagasta, durante el año 2010, ubicada en el sector cercano a quebrada Carrizo.

En términos de la variación temporal se puede observar un patrón de crecimiento para el último período de monitoreo 2013-2018 y es en esta etapa donde la mayor cantidad de muestras superan las normativas nacionales e internacionales (Figura 5.2-91, arriba), esto en comparación al periodo 2008 al 2011.

Considerando la variación espacial de las concentraciones dentro de los sectores de la bahía, se observa que las mayores concentraciones se han registrado en el punto de quebrada Carrizo, el año 2011 (Figura 5.2-91, abajo).

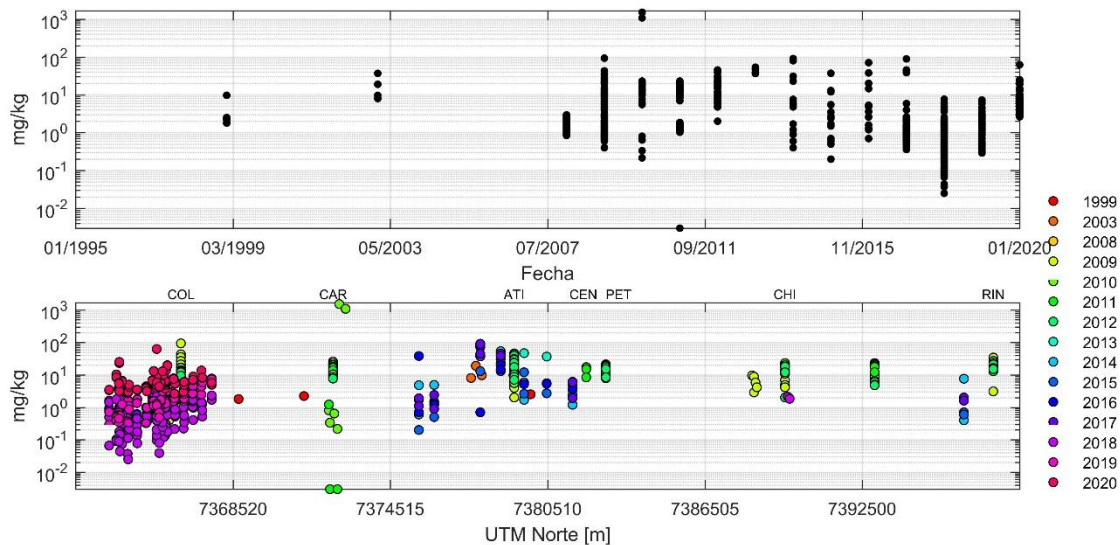


Figura 5.2-91 Concentración de Arsénico en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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 relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se tiene que el 1,73% de los registros históricos superan el límite máximo nacional definido por MOP (1994), el cual se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Arsénico en sedimentos. Por otra parte, el valor más restrictivo es presentado por la norma canadiense de calidad de sedimentos para protección de la vida acuática (CCME, 2002), el valor ISQG (concentración bajo la cual raramente ocurren efectos biológicos adversos en la biota) es superado por un 39,09% de los registros históricos, por último, la normativa ISQG de Australia y Nueva Zelanda figura una superación del 14,37% (Figura 5.2-92).

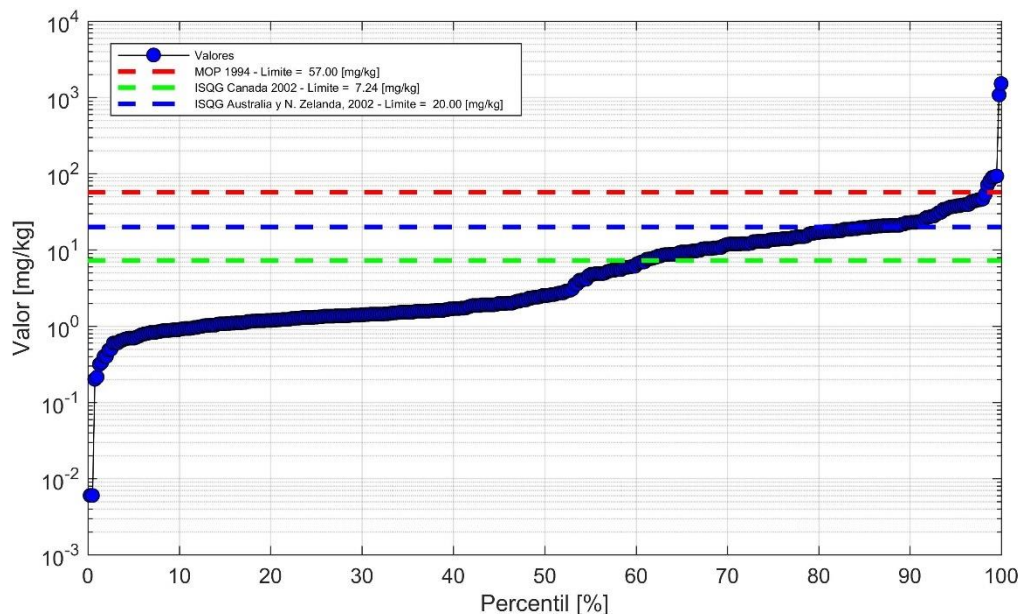


Figura 5.2-92 Concentración de Arsénico en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

b) Cadmio

Las concentraciones de Cadmio en los sedimentos submareales históricamente han oscilado entre mínimos bajo el límite de detección (<0,001 mg/kg) registrados en diversos puntos de muestreo en el período comprendido entre 2015-2017 y un máximo de 156 mg/kg registrado en el punto 090-S-An ubicado en el club de Yates, el año 1994.

En términos de la variabilidad temporal, se aprecian que existe un mayor esfuerzo de muestreo a partir del año 2008, con concentraciones superiores a la normativa citada. Cabe destacar el peak ocurrido durante el año 1994 (Figura 5.2-93, arriba).

En relación con la distribución espacial de las concentraciones en la bahía, se observa que los valores más elevados se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-93, abajo), no obstante, a lo largo de toda la bahía se aprecian niveles de cadmio del orden de 10 a 50 mg/kg, registrados del estudio de Valdés en el año 2008 al 2011.

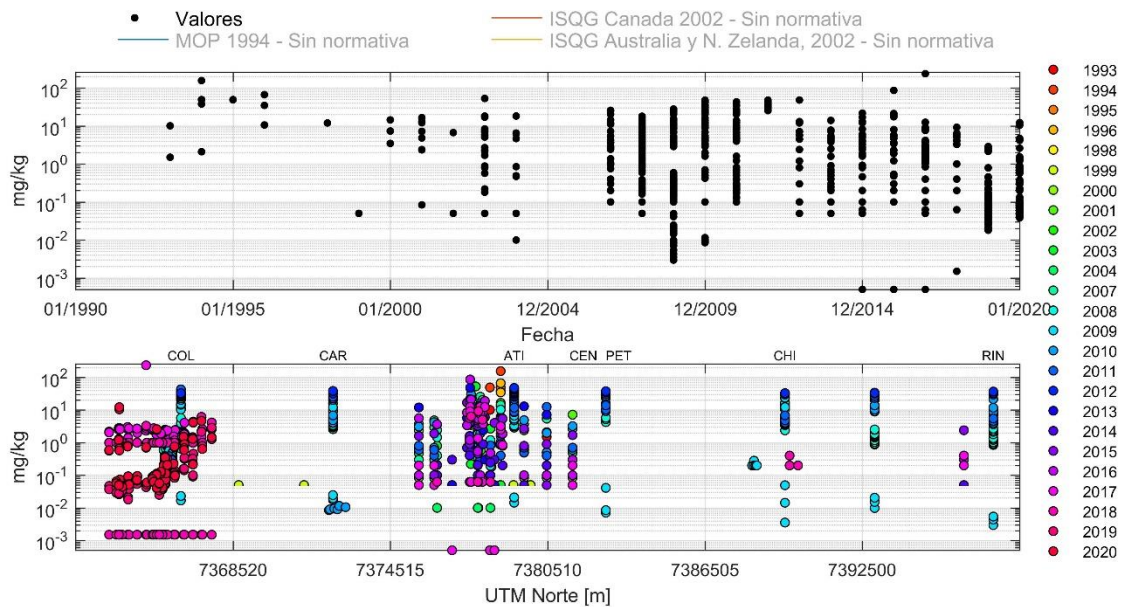


Figura 5.2-93 Concentración de Cadmio en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas 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.

Con respecto a las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se tiene que el 46,99% de los registros históricos superan el límite máximo de la normativa nacional definido por MOP (1994). En el caso de las normativas internacionales, el valor más restrictivo es presentado por la norma canadiense (CCME, 2002), el valor ISQG es superado por un 51,19% de los registros históricos; el límite más permisivo pertenece a la normativa de Australia y Nueva Zelanda 2002, el valor ISQG es superado por un 45,22% de los registros históricos (Figura 5.2-94).

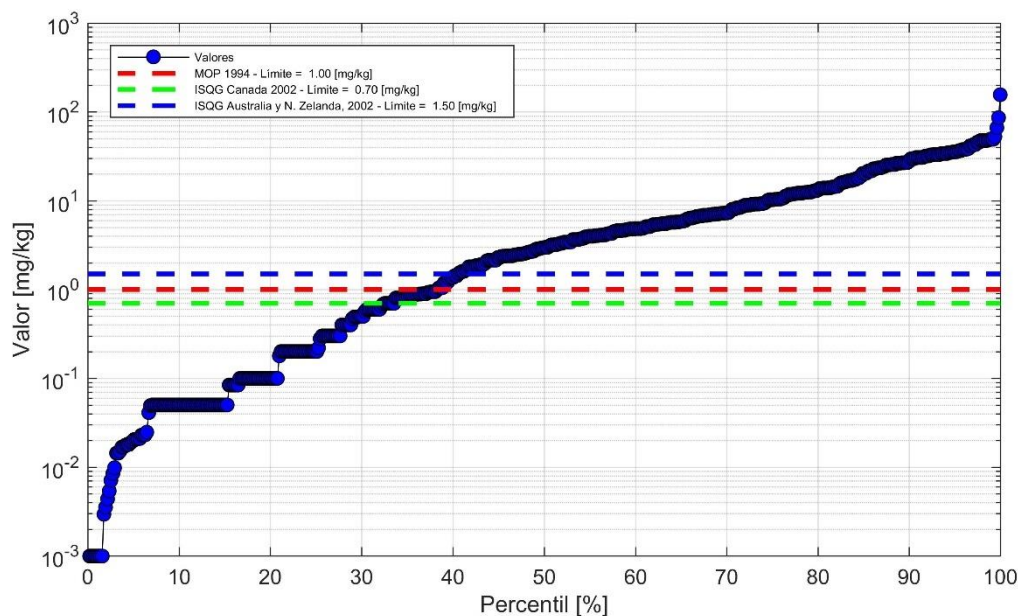


Figura 5.2-94 Concentración de Cadmio en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), ISQG Canadá (2002) e ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

c) Cobre

En la bahía las concentraciones de Cobre en los sedimentos submareales históricamente han presentado una amplia variación entre un valor mínimo de 2,42 mg/kg registrado durante el año 2008 en Rinconada (estudio de Valdés) y un valor máximo de 14.285 mg/kg registrado en el punto ATI-5, ligado al Puerto, en el año 2011.

La variación temporal muestra que las mayores concentraciones se registraron al comienzo del período de medición, entre los años 1994 y 1996. Luego desde el año 2001 en adelante las concentraciones vuelven a mostrar valores superiores a la normativa citada, sin un patrón temporal definido, con una tendencia fija a mantener niveles entre 10 a 1000 mg/kg (Figura 5.2-95, arriba).

En cuanto a la distribución espacial de las concentraciones dentro de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto, con órdenes de magnitud superiores a 1000 mg/kg en relación al resto de la bahía, la cual presenta niveles entre 10 a 1000 mg/kg (Figura 5.2-95, abajo).

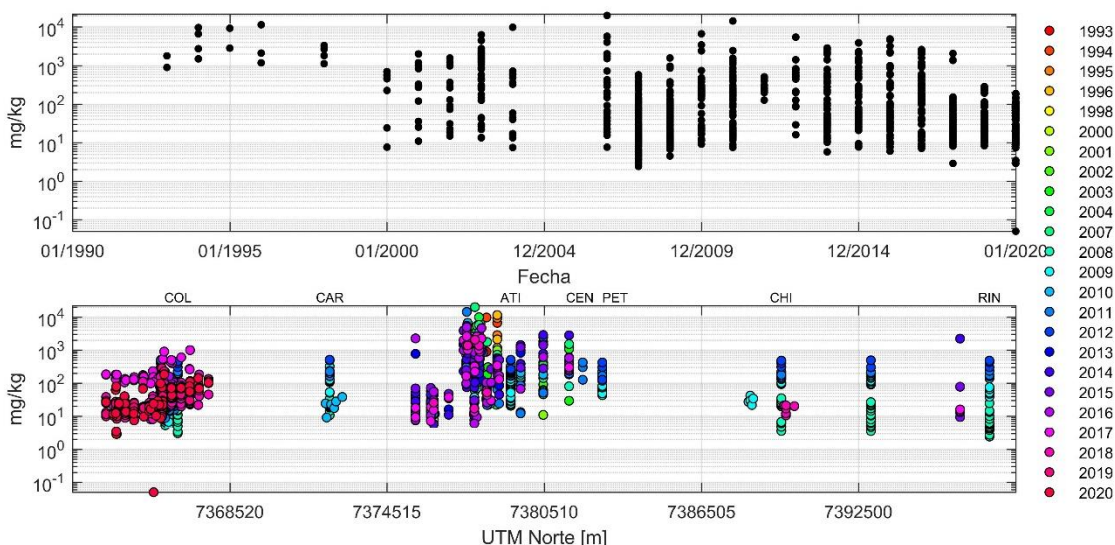


Figura 5.2-95 Concentración de Cobre en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas 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 las concentraciones máximas permitidas por las normas nacionales e internacionales analizadas, se observa que el 35,69% de los registros históricos superan el límite máximo nacional definido por MOP (1994), el cual se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Cobre en sedimentos. Por otro lado, el valor más restrictivo es presentado por la norma canadiense (CCME, 2002), el valor ISQG es superado por un 66,39% de los registros históricos, y la normativa de Australia y Nueva Zelanda con una superación del 45,27% (Figura 5.2-96).

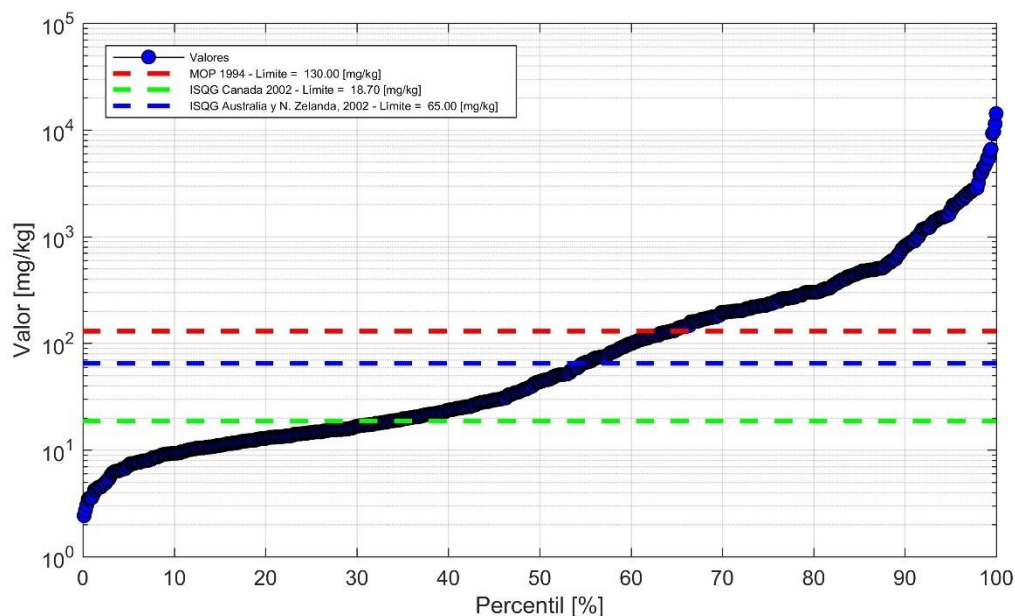


Figura 5.2-96 Concentración de Cobre en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

d) Cromo

Los sedimentos submareales históricamente registraron concentraciones de Cromo cuyo rango fluctuó entre un valor máximo de 247 mg/kg registrado en el punto 090-S-An (sector Puerto) durante 1996 y valores bajo el límite de detección (<0,03 mg/kg) entre 2016 y 2017.

Con respecto a la variabilidad temporal se observan peak en los años 1996 y 2003. Luego desde el 2015 a la fecha se observa un aumento de las concentraciones y es en este período donde la mayor cantidad de muestras superan las normativas nacionales e internacionales (Figura 5.2-97, arriba).

Considerando la variación espacial de las concentraciones en la bahía, se aprecia que la mayoría de los registros se encuentran por debajo de los 50 mg/kg a lo largo de la bahía, siendo en el sector cercano al Puerto donde se observan cifras por sobre los 200 mg/kg, excediendo los límites normativos citados. (Figura 5.2-97, abajo).

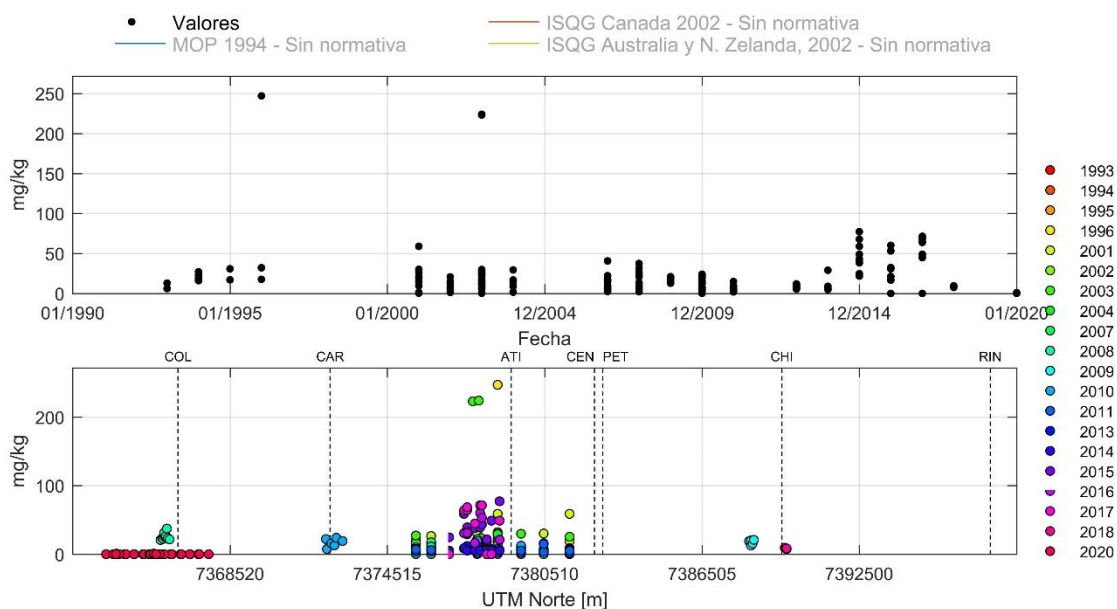


Figura 5.2-97 Concentración de Cromo en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas 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 valores máximos de concentración permitidos por las distintas normas analizadas, se observa que el 6,94% de los registros históricos superan el valor máximo de la normativa nacional definido por MOP (1994). En el caso de las normativas internacionales, el valor ISQG de la normativa canadiense (CCME, 2002) es presentado como el valor más restrictivo y es superado por un 7,2% de los registros históricos; el límite más permisivo pertenece a la normativa de Australia y Nueva Zelanda 2002, el valor ISQG es superado por un 1,51% de los registros históricos (Figura 5.2-98).

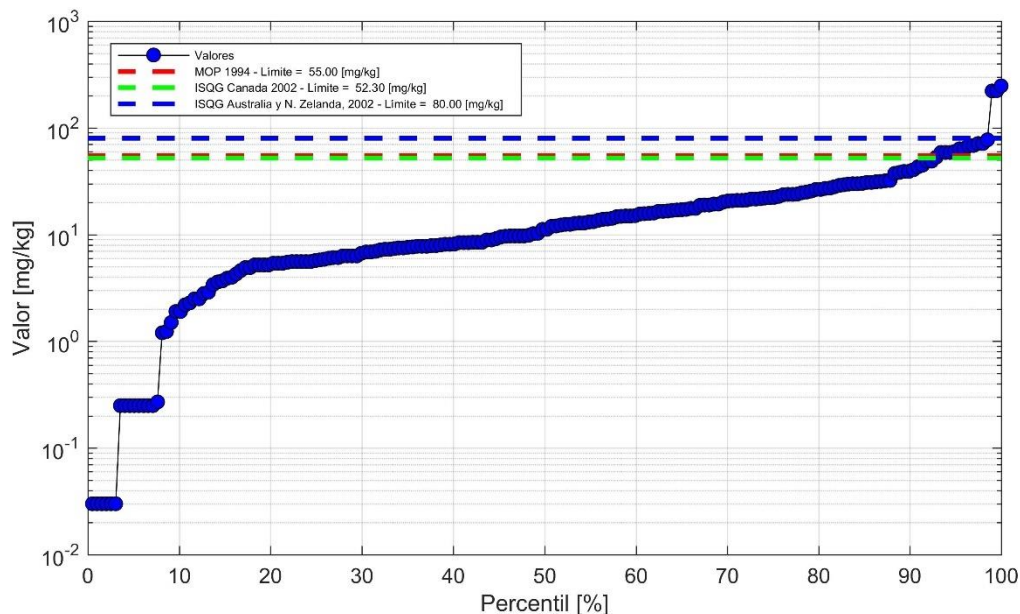


Figura 5.2-98 Concentración de Cromo en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002).

e) Hierro

La concentración histórica de Hierro en los sedimentos submareales de la bahía San Jorge presentó oscilaciones entre un valor mínimo de 208 mg/kg durante el año 2017 en el punto 4-PVA-62333 y un máximo histórico de 32.973 mg/kg en el punto de muestreo 3-CMM-57079 durante el año 2014, ambos registrados en el sector Puerto.

En cuanto a la variación temporal podemos observar que las mayores concentraciones se presentan entre el 2014 y 2015 mostrando un patrón de disminución hacia el 2018 (Figura 5.2-99, arriba).

Considerando la distribución espacial de las concentraciones dentro de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el sector Puerto (Figura 5.2-99, abajo), con niveles por sobre los 10.000 mg/kg. Los demás registros dan cuenta de una variación uniforme de los datos, presentando cifras inferiores a las 5.000 mg/kg de hierro, desde Coloso hasta Carrizo.

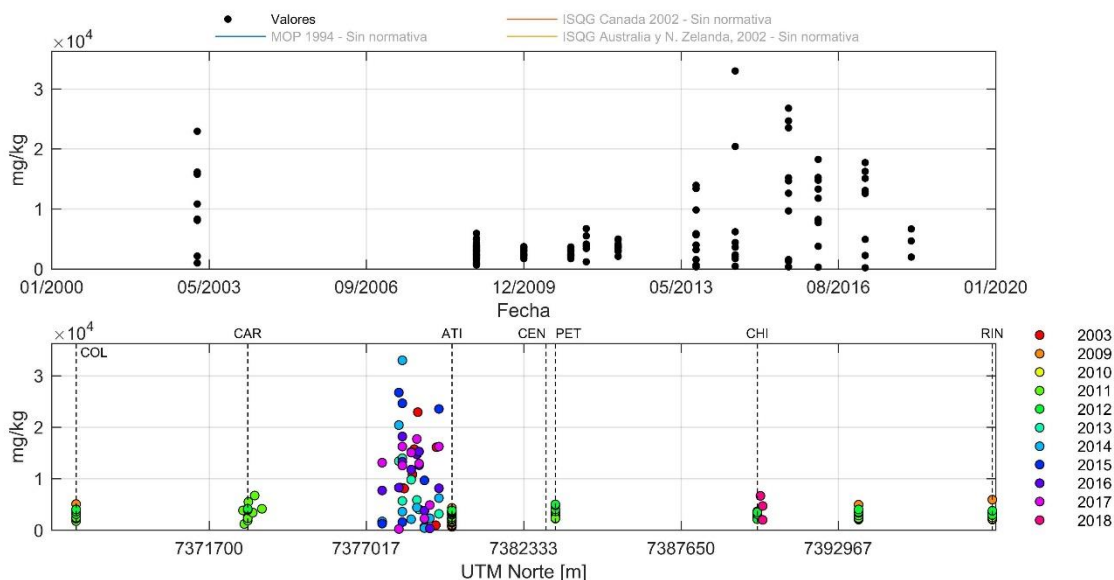


Figura 5.2-99 Concentración de Hierro en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En lo que se refiere a las concentraciones máximas permitidas por las normas nacionales e internacionales, para el caso del Hierro no existen valores de concentración para sedimentos submareales en la legislación revisada (Figura 5.2-100).

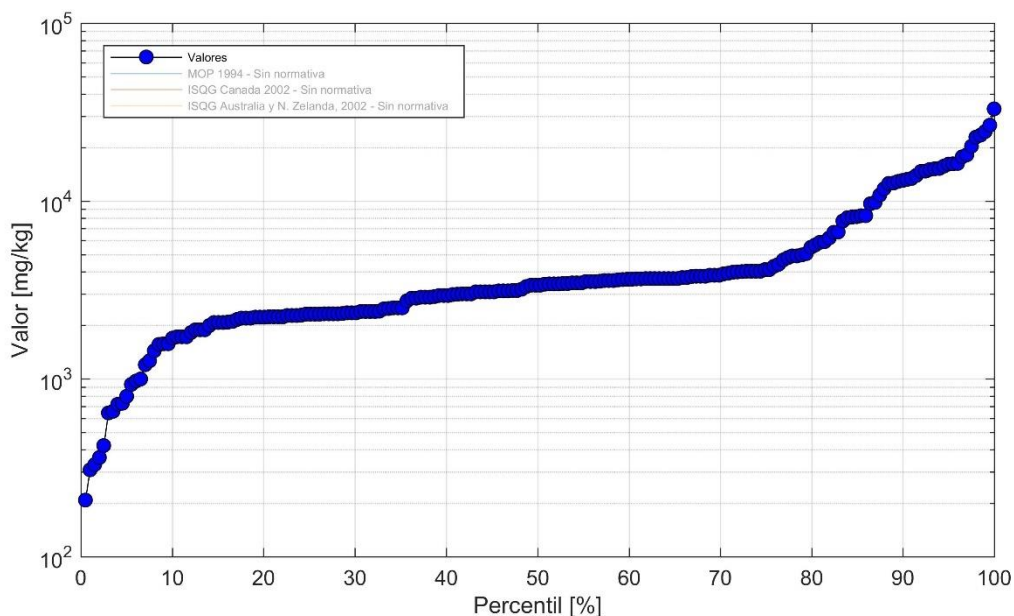


Figura 5.2-100 Concentración de Hierro en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

f) Mercurio

Los sedimentos submareales históricamente registraron concentraciones de Mercurio cuyo rango ha variado entre valores bajo del límite de detección (<0,01 mg/kg) y un valor máximo de 45 mg/kg registrado en el punto 090-S-An (sector Puerto) en 2010.

En términos temporales las concentraciones no han presentado un patrón claro. Cabe destacar que los mayores valores se registraron durante el 2010 (Figura 5.2-101, arriba).

En relación con la distribución espacial de las concentraciones dentro de los sectores de la bahía San Jorge, se observa que los valores más elevados se presentan en la cercanía del punto de referencia 3, es decir, sector (Figura 5.2-101, abajo).

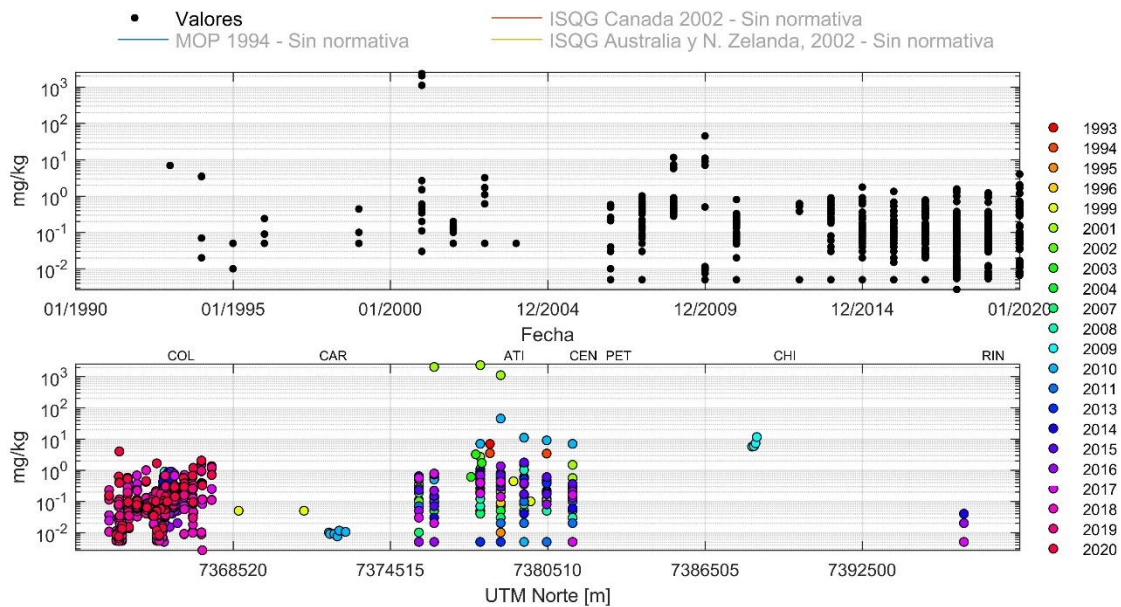


Figura 5.2-101 Concentración de Mercurio en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos 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 relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se tiene que el 62,34% de los registros históricos superan el límite máximo nacional definido por MOP (1994), el cual se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Mercurio en sedimentos. Por otra parte, el valor más restrictivo es presentado por la norma canadiense (CCME, 2002), el valor ISQG es superado por un 69,61% de los registros históricos, y la de Australia y Nueva Zelanda, con un 67,53% de superación (Figura 5.2-102).

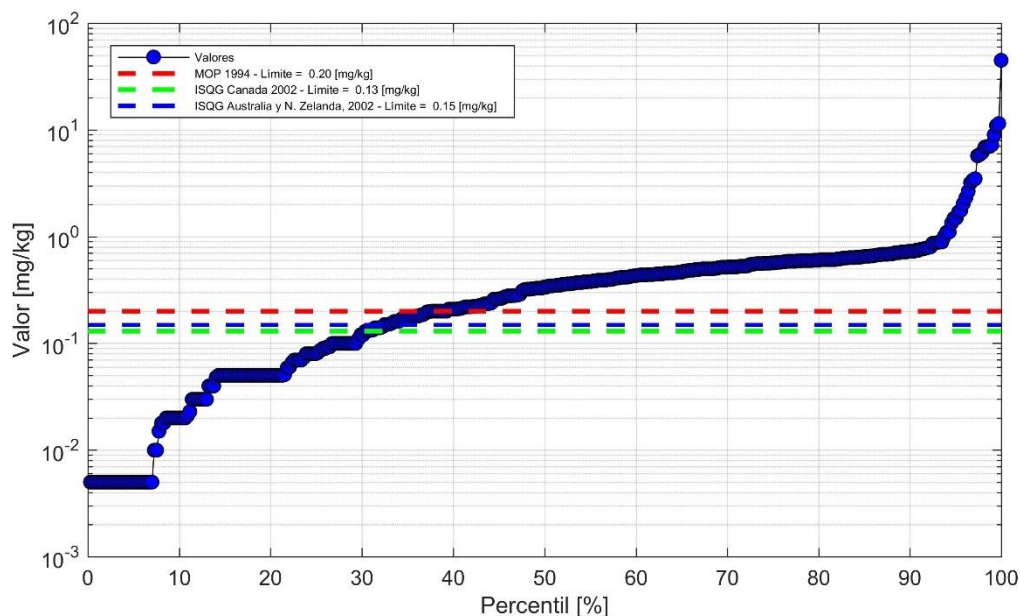


Figura 5.2-102 Concentración de Mercurio en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), ISQG Canadá (2002) e ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

g) Plomo

En la bahía San Jorge las concentraciones de Plomo en los sedimentos submareales históricamente han presentado una amplia variación entre mínimos bajo el límite de detección (<0,5 mg/kg) registrados en diversos puntos de muestreo para los años 2002, 2003 y 2011, y un valor máximo de 58.173 mg/kg registrado en el sector Puerto en el año 2016.

La variación temporal muestra que concentraciones algo más elevadas se registraron al comienzo del período de medición, es decir, entre los años 1994 y 1999. Se observa un peak en el año 2016 (Figura 5.2-103, arriba).

Considerando la distribución espacial de las concentraciones dentro de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-103, abajo).

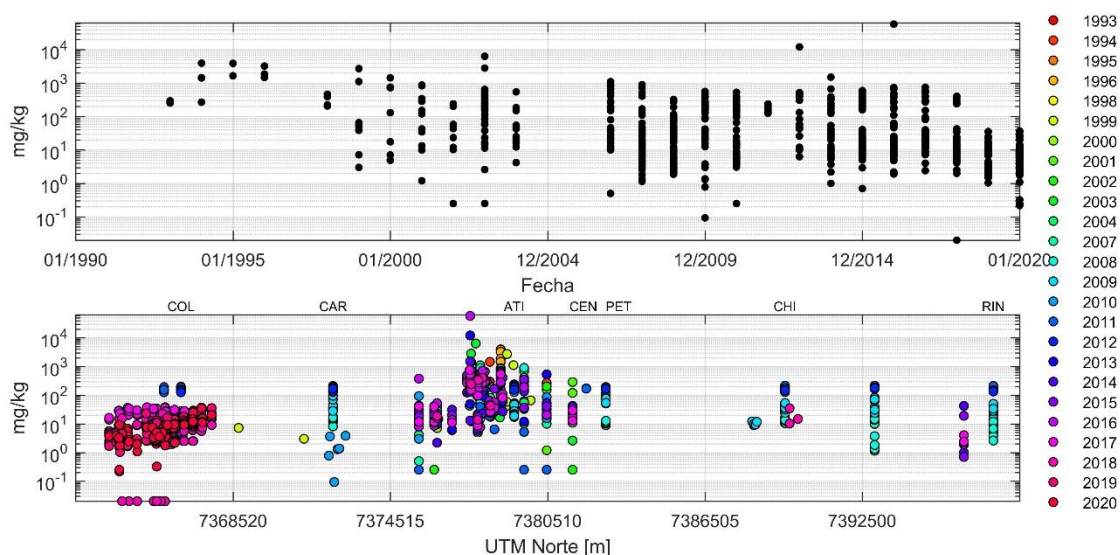


Figura 5.2-103 Concentración de Plomo en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas 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 las concentraciones máximas permitidas por las normas nacionales e internacionales analizadas, se observa que el 30,86% de los registros históricos superan el límite máximo nacional definido por MOP (1994), el cual se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Plomo en sedimentos. Por otro lado, el valor más restrictivo es presentado por la norma canadiense (CCME, 2002), el valor ISQG es superado por un 42,88% de los registros históricos, mientras que la de Australia y Nueva Zelanda, el valor es superado un 33,3% (Figura 5.2-104).

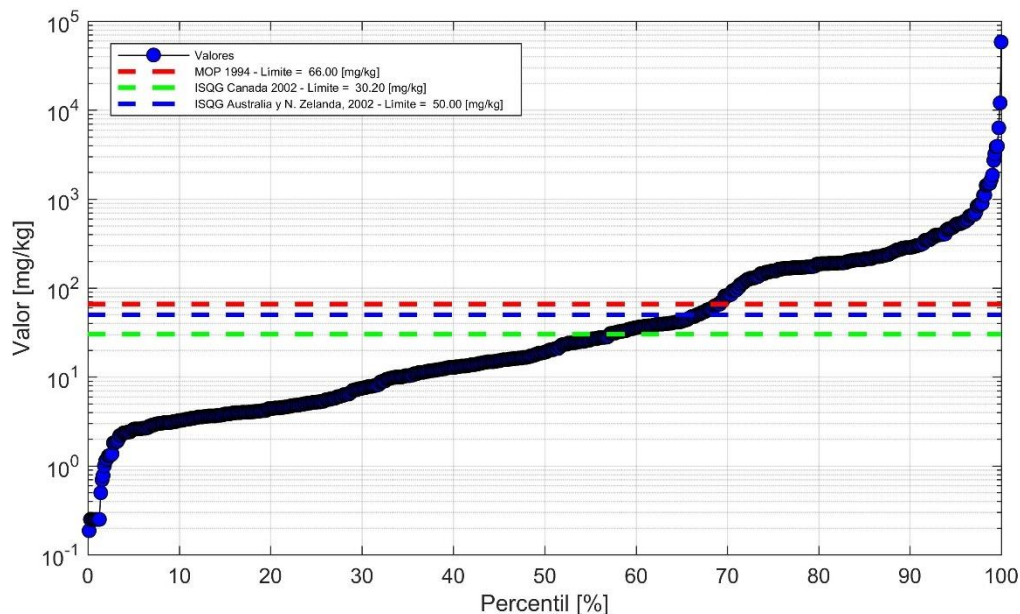


Figura 5.2-104 Concentración de Plomo en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

h) Zinc

La concentración de Zinc en los sedimentos submareales presentó fluctuaciones entre un valor mínimo de 0,17 mg/kg en el punto 050-S-An durante el año 2001 y un máximo histórico de 32.018 mg/kg en el punto de muestreo 090-S-An durante el año 1994, ambos registrados en las cercanías del sector Puerto.

La variación temporal muestra que las mayores concentraciones se registraron al comienzo del período de medición, entre 1994 y 1996. Desde el 2001 en adelante las concentraciones se mantienen relativamente altas. Se pueden observar peak en los años 1994 y 2016 (Figura 5.2-105, arriba).

Considerando la variación espacial de las concentraciones dentro de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-105, abajo).

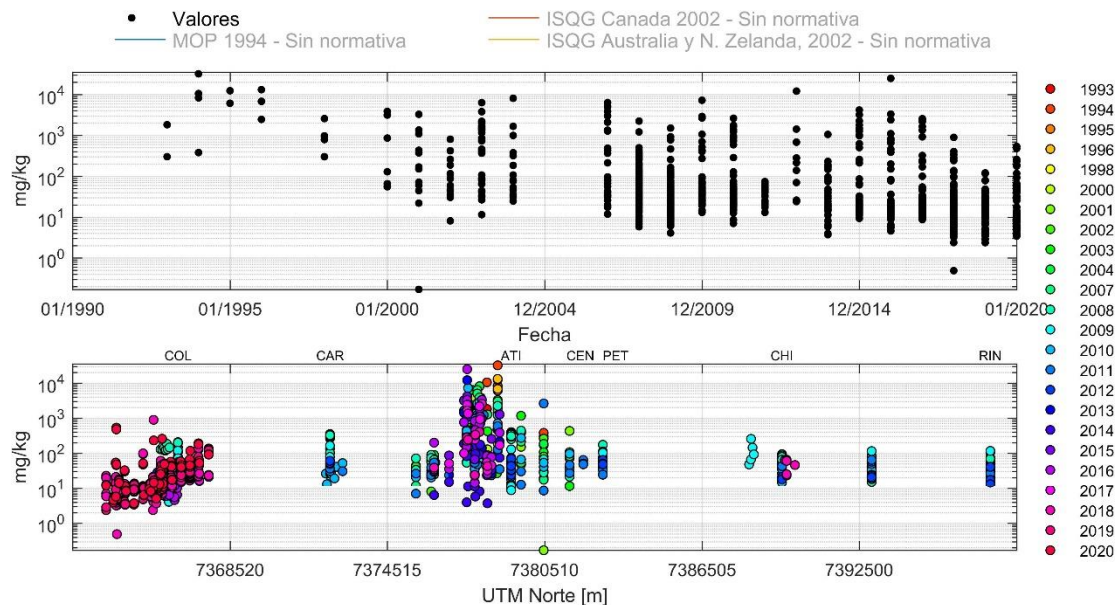


Figura 5.2-105 Concentración de Zinc en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas 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 los valores máximos de concentración permitidos por las distintas normas analizadas, se observa que el 21,46% de los registros históricos superan el valor máximo de la normativa nacional definido por MOP (1994). En el caso de las normativas internacionales, el valor ISQG de la normativa canadiense (CCME, 2002) es presentado como el valor más restrictivo y es superado por un 23,6% de los registros históricos; el límite más permisivo pertenece a la normativa de Australia y Nueva Zelanda 2002, el valor ISQG es superado por un 19,41% de los registros históricos (Figura 5.2-106).

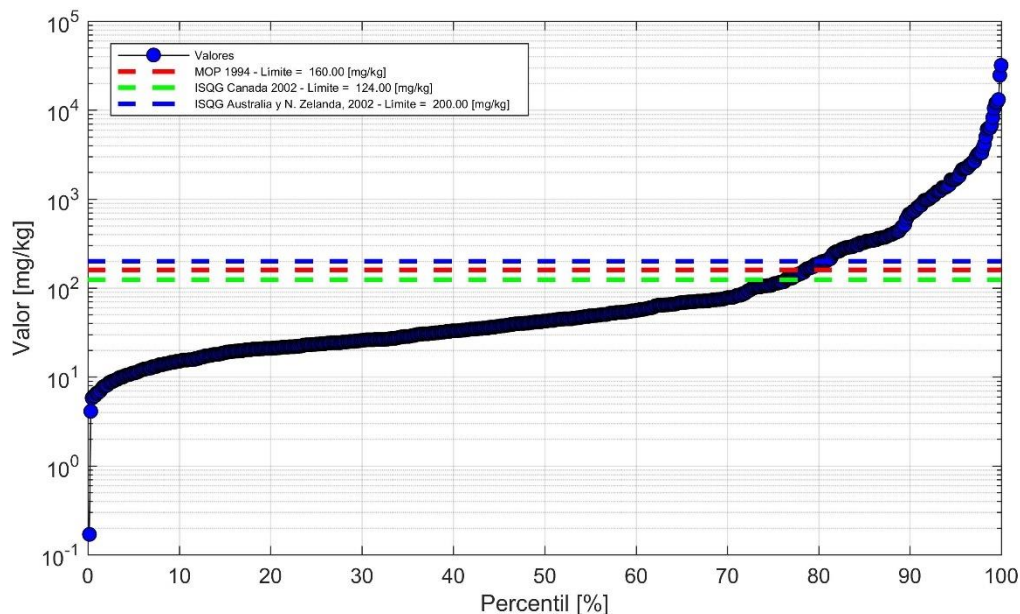


Figura 5.2-106 Concentración de Zinc en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG Australia y Nueva Zelanda (2002). Los valores se presentan en escala logarítmica para visualizar de mejor manera la comparación con las normativas.

iv. Parámetros de productividad y nutrientes

a) Fósforo

En la bahía San Jorge las concentraciones de Fósforo en los sedimentos submareales históricamente han oscilado entre mínimos bajo el límite de detección (<0,1 mg/kg) registrado durante el año 2008 y un valor máximo de 4.721 mg/kg registrado en el punto 090-S-An (sector Puerto) en el año 1994.

La variación temporal muestra un patrón de disminución, donde las mayores concentraciones se registraron al comienzo de la medición, entre los años 1994 y 1996 (Figura 5.2-107, arriba).

Considerando la variación espacial de las concentraciones dentro de los sectores de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-107, abajo).

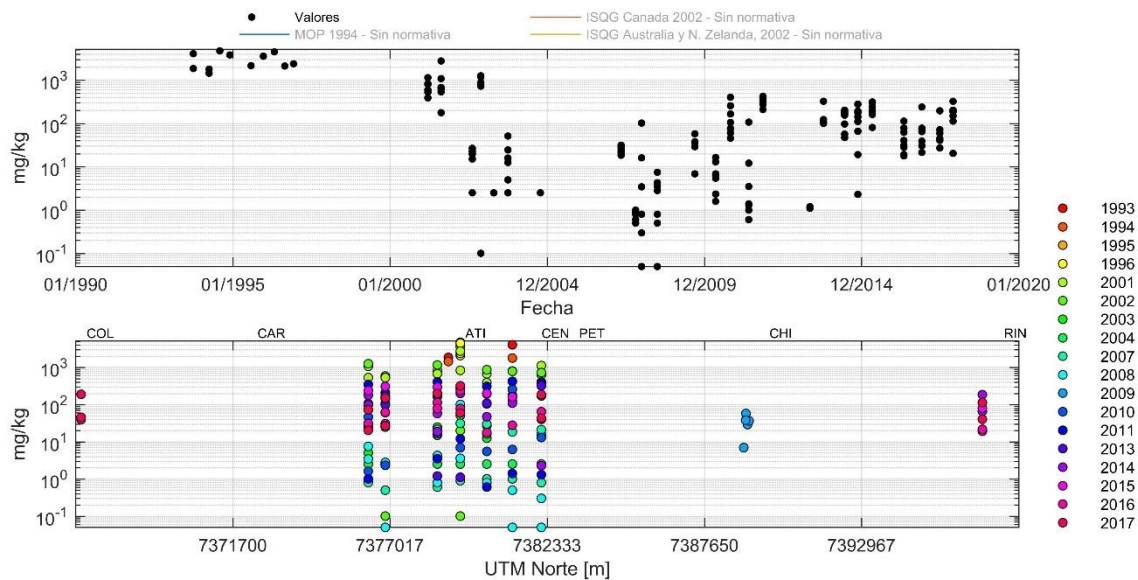


Figura 5.2-107 Concentración de Fósforo en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En lo que se refiere a los valores máximos de concentración permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso del Fósforo no existen valores de concentración para sedimentos submareales en la legislación revisada (Figura 5.2-108).

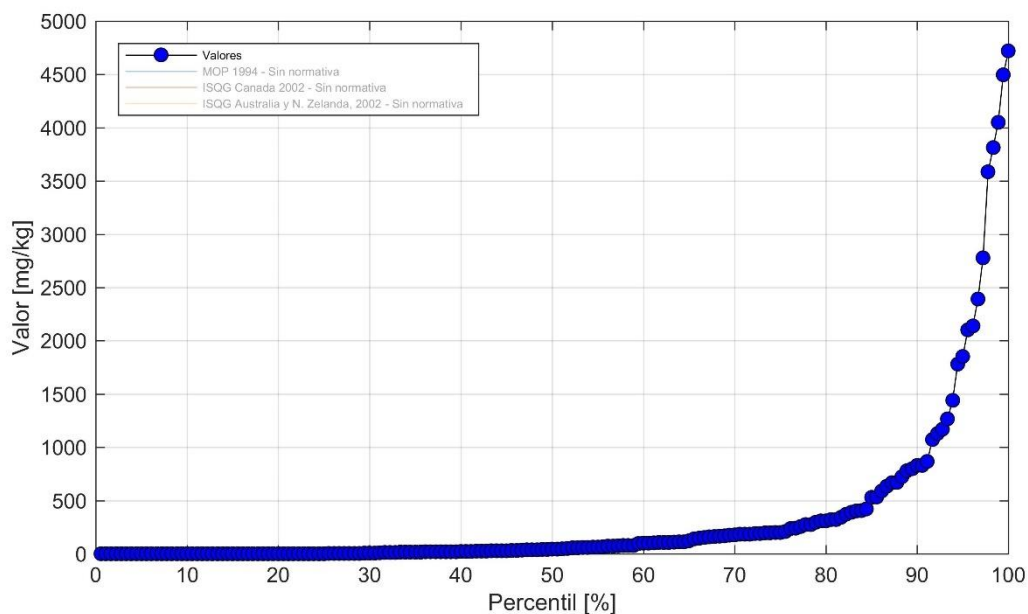


Figura 5.2-108 Concentración de Fósforo en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

b) Nitrógeno Total

La concentración de Nitrógeno Total en los sedimentos submareales presentó fluctuaciones entre un valor mínimo de 62,1 mg/kg en el punto 080-S-An durante el año 2016 y un máximo histórico de 5.193 mg/kg en el punto de muestreo 090-S-An durante el año 1995, ambos registrados en el sector Puerto.

En cuanto a la variación temporal se puede observar que las mayores concentraciones se registraron al comienzo del período de medición, entre los años 1994 y 1996. Desde el año 2001 en adelante las concentraciones se mantienen relativamente estables, con valores levemente mayores desde el 2014 (Figura 5.2-109, arriba).

En referencia a la distribución espacial de las concentraciones dentro de la bahía, se observa que los valores más altos se presentan en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto (Figura 5.2-109, abajo).

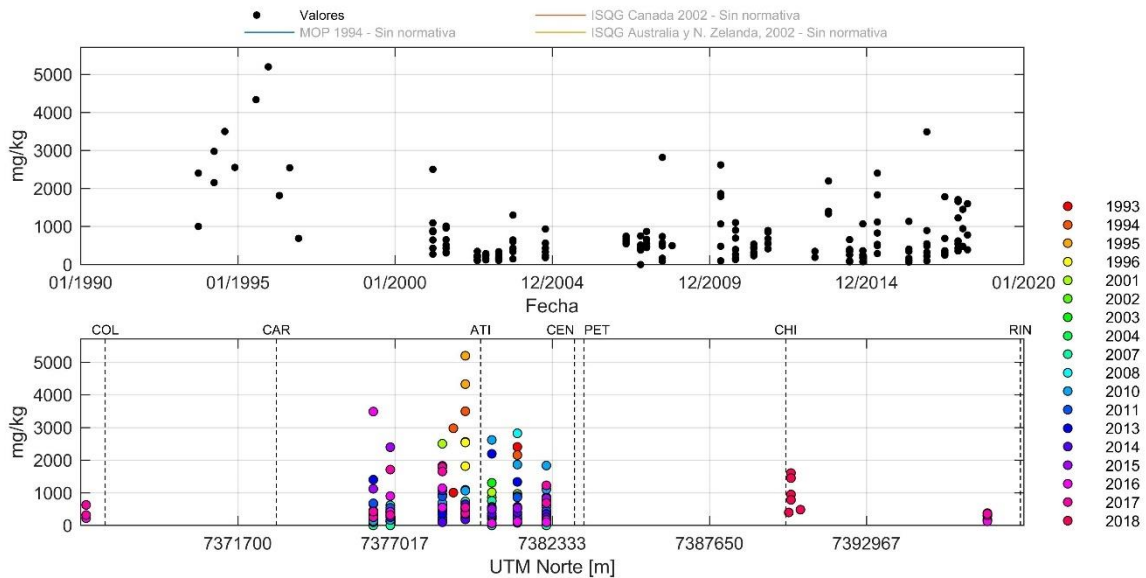


Figura 5.2-109 Concentración de Nitrógeno Total en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En lo que respecta a los valores máximos de concentración permitidos por los distintos cuerpos normativos analizados (nacionales e internacionales), para el caso del Nitrógeno Total no existen valores de concentración para sedimentos submareales en la legislación revisada (Figura 5.2-110).

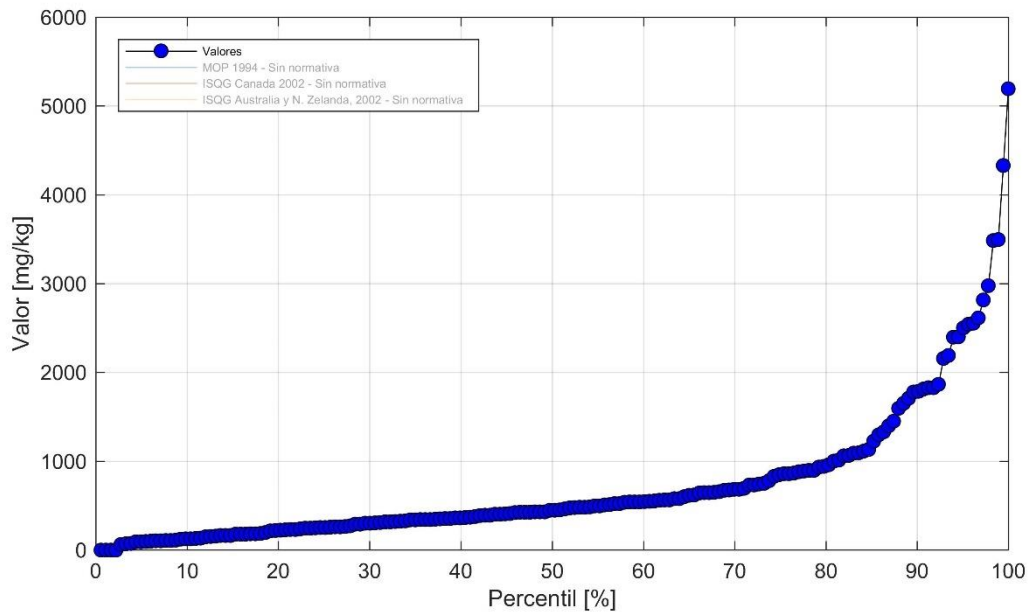


Figura 5.2-110 Concentración de Nitrógeno Total en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

c) *Materia Orgánica*

Los sedimentos submareales históricamente registraron concentraciones de Materia Orgánica cuyo rango ha variado entre valores bajo el límite de detección (0,01%) registrado en el punto 150-S-An durante el año 2007 y un máximo de 31,9% registrado en el punto 110-S-An en 2002, ambos registrados en el sector Puerto.

En términos temporales las concentraciones no han presentado una tendencia clara, destaca el año 2002 con los valores más altos (Figura 5.2-111, arriba).

En relación con la distribución espacial de las concentraciones dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones se registran en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, es decir, en el punto de referencia 3 (Figura 5.2-111, abajo).

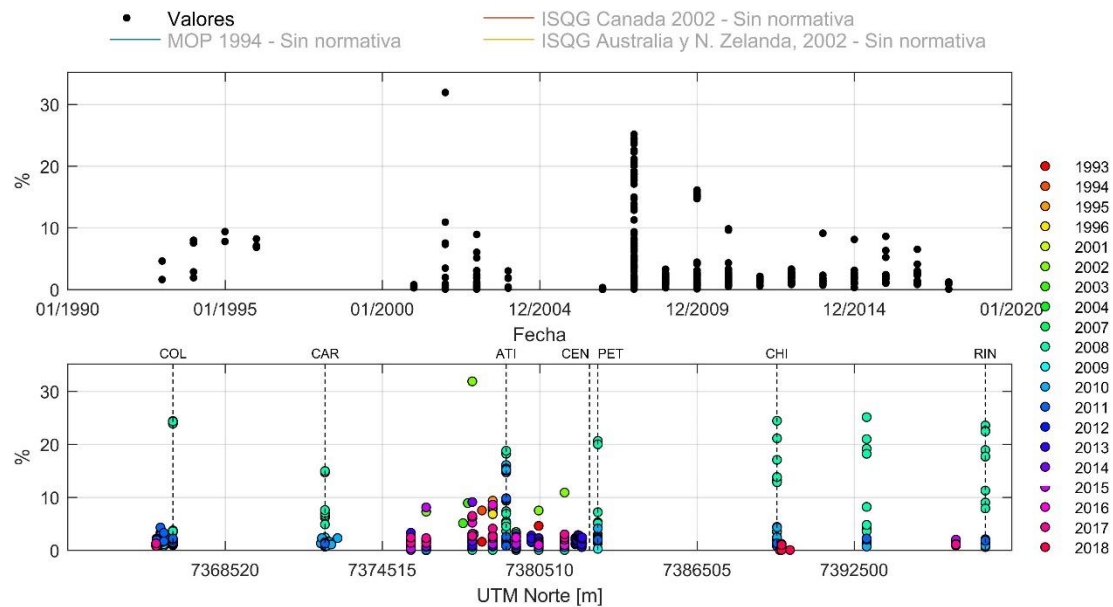


Figura 5.2-111 Concentración de Materia Orgánica en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación, planes de vigilancia ambiental, líneas base y monitoreos realizados en la zona.

En lo que concierne a los valores máximos de concentración permitidos por las distintas normas analizadas (nacionales e internacionales), para el caso del Carbono Orgánico Total no existen valores de concentración para sedimentos submareales en la legislación revisada (Figura 5.2-112).

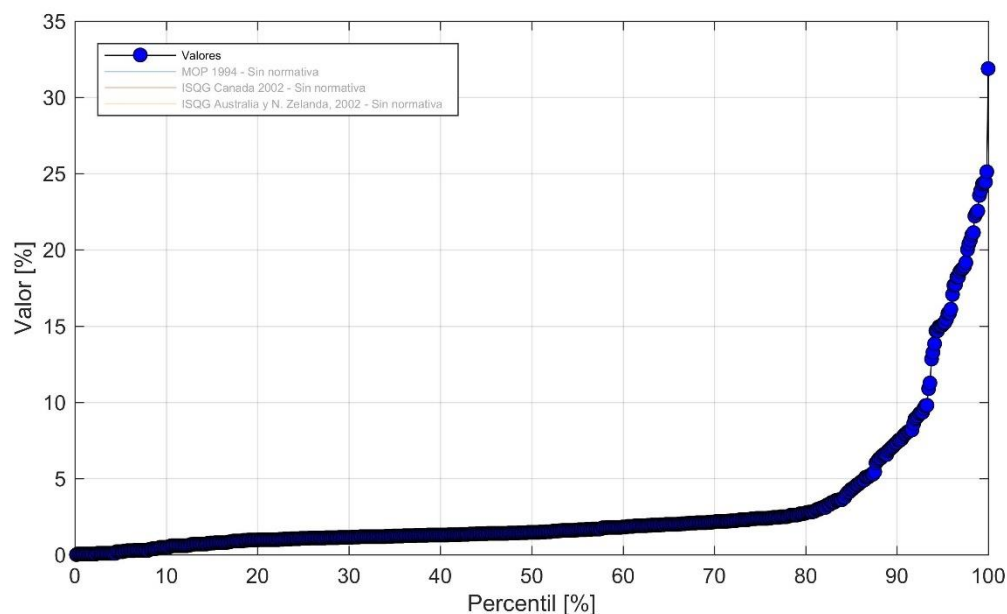


Figura 5.2-112 Concentración de Materia Orgánica en sedimentos submareales en la bahía San Jorge. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

5.2.1.6 Caracterización de los componentes bióticos

5.2.1.6.1 Comunidades planctónicas

i. Fitoplancton

En el siglo pasado fueron desarrollados los estudios sobre constituyentes fitoplanctónicos a lo largo de Chile (Rivera, 1985). Entre las publicaciones de expediciones extranjeras que han realizado importantes aportes al conocimiento del fitoplancton en la zona están las de Zacharias (1906), Hendey (1937) y Günther (1936), esta última referida a la corriente de Humboldt. Además, Belyaeva (1972) señala especies pertenecientes a tres géneros de diatomeas para la zona norte del país. Los estudios desarrollados por Rodríguez, 1966, 1978, 1982a, 1982b, 1985a, 1985b; Rodríguez et al., 1985c, 1986, 1987, 1991, 1993, 1996a; Rodríguez & Escribano 1996b; Escribano et al., 1996 y Morales et al., 1996, han entregado información sobre el fitoplancton, fenómenos de marea roja y surgencias costeras para las bahías Antofagasta y Mejillones del Sur.

El fitoplancton en el área está constituido principalmente por diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados, además corresponde a una zona templada por lo que varía estacionalmente. En período frío durante el invierno se observa una baja densidad fitoplanctónica (aprox. 45 cél/mL), que al término de la estación sufre un cambio brusco debido al incremento de la luz y abundante disponibilidad de nutrientes (variación de

nitratos (0,07 a 45,35 mg/L), que hace que la densidad celular alcance en superficie entre 214 y 425 cél/mL en primavera y verano. En otoño, la concentración celular decrece con respecto a la primavera y es algo mayor que el verano. La densidad de células presenta una marcada variación producto de la aparición de surgencias estacionales en el área (Rodríguez, 1987; Rodríguez & Escribano 1996b).

La producción primaria presenta una tasa con un valor de 2,60 mgC m⁻³ h⁻¹ durante la fase activa de una surgencia, hasta un máximo de 2.342,9 mgC m⁻³ h⁻¹ durante una marea roja causada por *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger & Buddenbrock.

A modo de ejemplo para destacar un estado de sucesión de la comunidad fitoplanctónica, desde el verano de 1979 a igual estación en 1981, se observó una proporción igual de especies de diatomeas y dinoflagelados. Sin embargo, desde el otoño de 1981, previo al desarrollo y durante el fenómeno El Niño 1982-1983 calificado por Quinn et al. (1987) como “fuerte” en la zona, la presencia de dinoflagelados fue mayor en número de especies, para luego empezar a apreciarse una recuperación de las diatomeas a fines de 1983, logrando la condición “normal” en 1984. En 1985, las diatomeas continuaron dominando y en 1986 se observó un equilibrio relativo entre diatomeas y dinoflagelados (Rodríguez, 1987).

Los dinoflagelados son un segundo grupo en importancia dentro del fitoplancton de la zona y los componentes de nanoplancton y ultraplancton están escasamente estudiados (cocolitofóridos, haptofíceas y otros), siendo importantes dentro de la trama trófica. Las taxa identificadas ascienden a 61 diatomeas, 34 dinoflagelados, 3 silicoflagelados y un protozoo ciliado (Rodríguez, 1976, 1978, 1987; Rodríguez et al., 1996a y Rodríguez & Escribano, 1996b).

La dinámica de la comunidad fitoplanctónica revela una alta riqueza específica. Las poblaciones de diatomeas permanecen durante el año y sólo presentan cambios en composición de especies y concentración celular, mientras que representantes de otros grupos desaparecen dentro de la zona fótica, especialmente durante el invierno (Rodríguez et al., op. cit.).

El efecto de la surgencia sobre el fitoplancton es importante de destacar, ya que su patrón o modelo de distribución cambia por breves períodos de tiempo (días), dependiendo de la duración del fenómeno, producto del ascenso de aguas de profundidad variable (40 m a 150 m) que causan un fuerte incremento en la tasa reproductiva de los diferentes grupos representados, especial e inicialmente sobre diatomeas de mediano tamaño (organismos de selección r). Además, en forma simultánea ocurre el desplazamiento del agua superficial en 90° hacia el oeste, lo que causa en la zona costera profundos y significativos cambios en la biomasa fitoplanctónica.

El fenómeno de marea roja que es aperiódico en la zona ha sido registrado desde diciembre de 1964 y entre las especies de dinoflagelados causantes están: *Prorocentrum micans*

Ehrenberg, *Gymnodinium splendens* Lebour, *Ceratium tripos* (O. F. Müller) Nitzsch, *Ceratium fusus* (Ehrenberg) Dujardin, junto a un protozoo ciliado *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger & Buddenbrock cuya biomasa medida en términos de clorofila a, durante un fenómeno, alcanzó a 373,5 mg/L, mientras que para *P. micans* sólo fue de 24,6 mg/L. La presencia del protozoo ciliado se asocia a áreas de surgencia, en tanto que los fenómenos causados por dinoflagelados se relacionan en la costa peruana con el fenómeno El Niño (Avaria & Muñoz, 1983 y Marín et al., 1993).

En el área se han presentado 46 fenómenos de marea roja hasta el año 1999, que no son tóxicos para los organismos marinos ni el hombre (Tabla 5.2-7).

Tabla 5.2-7 Registros de marea roja en bahía Antofagasta y Mejillones del Sur, entre 1964 y 1999. Rodríguez (2004).

AÑO	MES	LUGAR	ESPECIE CAUSANTE	DENSIDAD CELULAR. Cél ml ⁻¹
1964	12	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1965	10	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1966	02-03-04	Mejillones	<i>Prorocentrum micans</i>	-
1967	09	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1976	02-03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	1.300
1976	10-11	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	20-100
1976	11-12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	50
1977	01	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1978	09	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	120
1978	11	Antofagasta	<i>Ceratium tripos</i>	60
1979	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	180
1979	12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	100-300
1980	01	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	20-5.000
1980	03-04	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	180-450
1980	09-11	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	174
1980	12-02	Antofagasta	<i>Ceratium fusus</i>	-
1981	05	Antofagasta	<i>Ceratium fusus</i>	110
1982	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	-
1982	09-10	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	9-381
1983	04	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	617
1984	09	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
			<i>Prorocentrum micans</i>	91
1984	12	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
			<i>Prorocentrum micans</i>	2.290
1985	10	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	241
1986	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	34
1986	04	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	204
1986	09	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	276
1986	11	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	69
1986	12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	36
1987	01	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	19
1987	04	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	30
1987	12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	194
1987	12	Mejillones	<i>Prorocentrum micans</i>	1.676
1990	10	Mejillones	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1990	12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	-
1991	01	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	600
1992	01	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	618
1993	12	Mejillones	<i>Mesodinium rubrum</i>	540
1993	12	Antofagasta	<i>Protoperidinium sp.</i>	-
1994	01	Antofagasta	<i>Protoperidinium pentagonum</i>	3
			<i>Ceratium tripos</i>	8
1995	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	200
1997	01	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1997	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	232
1997	05	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1998	03	Antofagasta	<i>Ceratium fusus</i>	13
			<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1999	02	Mejillones	<i>Prorocentrum micans</i>	10.000
1999	04	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	60

G. = Gymnodinium. - = No cuantificado.

Por otra parte, al realizar un análisis de la presencia de fenómenos de marea roja en los períodos fríos y cálidos se ha logrado establecer que *P. micans* se presenta mayoritariamente durante los períodos cálidos o El Niño, mientras que *M. rubrum* lo hace en el período frío o La Niña. Hasta la fecha, los fenómenos de marea roja tienen una ocurrencia de hasta cinco por año.

El análisis ecológico realizado sobre la presencia de las distintas especies de diatomeas y silicoflagelados, en relación con las diferentes masas de agua está basado en una exhaustiva revisión bibliográfica que ha tomado en cuenta el período de tiempo comprendido por cada estudio y su coincidencia con los diferentes períodos cálidos (El Niño), indicados por Quinn et al. (1987) y los períodos fríos (La Niña), entregados por K. Wolter & Timlin, 1993, 1998 y 1999 del International Research Institute for Climate Prediction, U.S.A.

Las 44 taxas consideradas son una ayuda efectiva y significativa para comprender la interacción de las distintas masas de agua que se presentan en el área, estas especies podrían ser utilizadas en calidad de bioindicadores para establecer las diferentes condiciones oceanográficas presentes y pasadas.

Tabla 5.2-8 Diatomeas y silicoflagelados presentes en distintas masas de agua. Distribución basada en las características ecológicas de las especies. Rodríguez (2004).

ESPECIES DE DIATOMEAS Y SILICOFLAGELADOS PRESENTES EN LA MASA DE AGUA SUBANTÁRTICA	ESPECIES DE DIATOMEAS Y SILICOFLAGELADOS PRESENTES EN LA MASA DE AGUA ECUATORIAL SUBSUPERFICIAL	ESPECIES DE DIATOMEAS EN MASAS DE AGUA: SUBTROPICAL SUPERFICIAL SUBANTÁRTICA, ECUATORIAL SUBSUPERFICIAL
<i>Asteromphalus heptactis</i> <i>Asteromphalus splendens</i> <i>Chaetoceros constrictus</i> <i>Chaetoceros didymus</i> <i>Cocconeis scutellum</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Coscinodiscus granii</i> <i>Dactyliosolen fragilissimus</i> <i>Diploneis subovalis</i> <i>Grammatophora angulosa</i> <i>Grammatophora serpentina</i> <i>Licmphora abbreviata</i> <i>Lyrella lyra</i> <i>Odontella longicuris</i> <i>Pleurosigma intermedium</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Stauroneis anceps</i> <i>Thalassiosira angulata</i> <i>Dictyocha speculum</i>	<i>Coscinodiscus perforatus</i> <i>Proboscia alata</i> <i>Rhizosolenia imbricata</i> <i>Rhizosolenia styliiformis</i> <i>Stephanopyxis turris</i> <i>Trachyneis aspera</i> <i>Dictyocha fibula</i> <i>Dictyocha octonaria</i>	<i>Actinoptychus senarius</i> <i>Bacillaria paxillifera</i> <i>Coscinodiscus centralis</i> <i>Coscinodiscus janischii</i> <i>Coscinodiscus radiatus</i> <i>Coscinodiscus wailesii</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Diploneis bombus</i> <i>Diploneis didyma</i> <i>Entopyla australis</i> <i>Grammatophora marina</i> <i>Navicula ammophila</i> <i>Pseudo-nitzschia longissima</i> <i>Pseudo-nitzschia australis</i> <i>Planktoniella sol</i> <i>Pleurosigma normaii</i> <i>Surirella fastuosa</i>
Total: 19 Taxas	Total: 8	Total: 17

En el núcleo de la masa de agua ecuatorial subsuperficial (AESS) existe un fitoplancton de baja diversidad dominado por especies grandes de diatomeas del género *Rhizosolenia*, mientras que en la masa de agua subantártica (ASA) se observa un fitoplancton con mayor diversidad y dominado por especies pequeñas de los géneros *Chaetoceros*, *Thalassiosira* y otras. Sin embargo, a modo de ejemplo, según Avaria & Muñoz (1983) la presencia del género *Leptocylindrus* en ambas masas de agua se explicaría por ser una especie cosmopolita que prolifera en aguas neríticas eutróficas independiente de la masa de agua. Otras especies presentes en el fitoplancton de la zona son igualmente cosmopolitas.

ii. Zooplancton

Entre los crustáceos copépodos cuya presencia es característica en esta bahía, 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 en la zona cercana a Bahía San Jorge, 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.

Los copépodos y eufásidos, al parecer son especies claves para la alimentación de los peces en la zona costera de Chile. Las larvas y huevos de copépodos, especialmente de las especies *Paracalanus parvus* y *Calanus chilensis*, constituyen una parte importante del sustento para larvas, juveniles y adultos de la anchoveta y la sardina, mientras que los eufásidos lo son de la merluza y del jurel. Por tanto, se puede señalar que la riqueza en especies del zooplancton determina en gran parte la abundancia de estos peces, y así mismo el éxito de las pesquerías en Chile. Los crustáceos copépodos son capaces de poblar distintos ambientes marinos y están representados por muchas especies que pueden habitar grandes regiones de los océanos. A éstas se les llama cosmopolitas, ya que están prácticamente en todos los mares de mundo, como es el caso del *Paracalanus parvus*, *Oithona similis* y *Acartia tonsa*.

En Chile central y norte, la especie más abundante es *Euphausia mucronata*. Estos crustáceos pueden vivir 2 o más años, realizan grandes migraciones verticales y aunque lo más común es que se comporten como omnívoros, algunos son herbívoros e incluso existen carnívoros. En el caso de *Euphausia mucronata*, por ejemplo, hasta hace poco se pensaba

que era principalmente herbívoro, sin embargo, hoy existen evidencias de que también es capaz de ingerir copépodos y de huevos de peces, tales como los de anchoveta. Existe otro importante grupo del zooplancton conocido como organismos gelatinosos. Este grupo también está integrado por una amplia variedad de especies, que exhiben distintas formas y tamaños, pero se caracterizan por ser invertebrados de cuerpo transparente, blando y consistencia gelatinosa. La mayoría son predadores y se alimentan de copépodos y huevos de peces y de otros crustáceos. Entre ellos se destacan las medusas hidrozoo y scifozoo, los ctenóforos y los quetognatos, conocidos como "gusanos flecha". Dentro de los gelatinosos se encuentra además otro grupo de organismos que son filtradores, principalmente de fitoplancton, pero que también consumen ciliadas e incluso bacterias. Entre estos organismos se encuentran las salpas y apendicularias, los que gracias a su gran capacidad de atrapar partículas de pequeño tamaño y su tremenda facultad reproductiva, pueden desarrollar enormes agregaciones en cortos periodos. La importancia de éstos tunicados planctónicos, no solo radica en su sistema alimenticio sino en que los desechos que evacuan constituyen, muchas veces, la base sobre la cual se genera la nieve marina que tiende a agrupar partículas del agua y transportarlas hacia el fondo marino.

Por otra parte, la distribución y abundancia de los ensambles de larvas de peces están moduladas por procesos hidrográficos (por ejemplo, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes) (Johnson Colegrove et al. 2015) e hidrodinámicos (por ejemplo, sombras de surgencia, zonas frontales, remolinos) (Castro et al. 2000, Olivar et al. 2016). Estos factores pueden influir en la cantidad y calidad de los alimentos disponibles, así como en los pulsos reproductivos, las adaptaciones del comportamiento, la duración de los estadios larvarios pelágicos y la supervivencia de las diferentes etapas de desarrollo (Landaeta & Castro 2006, Yannicelli et al. 2006, Bustos et al. 2008). Los rasgos geomorfológicos costeros también son importantes para la acumulación y retención de larvas de peces (Paris & Cowen 2004, Vélez et al. 2005, Álvarez et al. 2015), mientras que los rasgos batimétricos, así como la distancia de la costa pueden determinar las distribuciones (Hernández-Miranda et al. 2003, Adkins et al. 2016). Las variaciones en todas estas características pueden dar lugar a estructuras y diversidades completamente diferentes en los ensambles de larvas de peces (Smith & Suthers 1999).

La zona costera alrededor del norte de Chile es conocida por ser una de las zonas más productivas dentro de la HCS. Esta área está influenciada en gran medida por un aporte constante de surgencia, que mantiene un alto nivel de productividad biológica (Marín et al. 1993, Escribano & Hidalgo 2000, Thiel et al. 2007) que sostiene una pesquería pelágica muy importante (Escribano et al. 2004a) dominada por sardinias (*Strangomera bentincki*) y anchoas (*Engraulis ringens*). Estas especies de peces utilizan áreas cercanas a la costa alrededor del norte de Chile para desovar (Rodríguez-Graña & Castro 2003) y como criaderos o guarderías (Contreras et al. 2017). La región también es notable porque se caracteriza por la presencia de una estructura topográfica única, la Península de Mejillones, que separa las costas de Mejillones y Bahía de Antofagasta, orientada al norte y al sur, respectivamente. La presencia de estas características topográficas, combinadas con

interacciones entre la circulación regional oceánica y atmosférica, ha permitido la formación de tres centros de surgencia y zonas poco profundas dentro de esta región (Fonseca & Farías 1987, Escribano & Hidalgo 2001, Marin et al. 2003, Thiel et al. 2007). Como resultado de estas características particulares, la investigación en esta área ha enfatizado los efectos de los eventos de El Niño (Rojas et al. 2002), alimentación ecológica (Rodríguez-Graña et al. al. 2005), la distribución vertical y en alta mar de las larvas de peces (Angel & Ojeda 2001, Rodríguez-Graña & Castro 2003, Rojas 2014), retención larval (Rojas & Landaeta 2014), y la influencia de las condiciones oceanográficas en larvas de *E. ringens* (Contreras et al. 2017).

Tabla 5.2-9 Composición taxonómica y abundancias (ind. 1000 m⁻³) de las larvas de peces colectadas en las áreas costeras de Isla Santa María (ISM) y Punta Coloso (COL). Paredes et al. 2018.

Family	Species	Species code	Habitat	ISM			COL		
				Median	Q1	Q3	Median	Q1	Q3
Engraulidae	<i>Engraulis ringens</i>	Er	E	6.09	3.25	11.59	696.95	294.78	3342.05
Clupeidae	<i>Strangomera bentincki</i>	Sb	E	-	-	-	11.10	5.96	39.06
Myctophidae	<i>Hygophum bruuni</i>	Hb	M	3.56	-	-	20.19	10.42	30.59
	<i>Lampanyctus iselinoides</i>	Li	M	-	-	-	14.29	14.29	16.72
	<i>Lampanyctus parvicauda</i>	Lp	M	-	-	-	5.97	5.42	19.55
	Myctophidae gen.sp1	M	M	-	-	-	6.21	-	-
	<i>Triphoturus oculus</i>	To	M	-	-	-	13.09	8.30	16.72
Merlucciidae	<i>Merluccius gayi</i>	Mg	D	-	-	-	7.99	-	-
Ophidiidae	<i>Genypterus</i> sp.	Gs	D	-	-	-	13.94	8.30	25.45
Gobiesocidae	<i>Gobiesox marmoratus</i>	Gm	I-S	23.32	13.81	47.69	30.59	11.83	83.59
	<i>Sicyases sanguineus</i>	Ss	I-S	4.14	2.96	13.40	11.93	7.05	20.11
Atherinopsidae	<i>Odontesthes regia</i>	Or	E	10.83	3.50	17.08	-	-	-
Sebastidae	<i>Sebastes oculatus</i>	So	D	9.56	4.91	20.14	22.48	10.85	30.33
Normanichthyidae	<i>Normanichthys crockeri</i>	Nc	E	4.38	-	-	21.48	12.58	42.45
Agonidae	<i>Agonopsis chiloensis</i>	Ac	D	3.12	-	-	-	-	-
Sciaenidae	Sciaenidae gen.sp1	S	S.S.	-	-	-	7.16	6.07	11.67
Kyphosidae	<i>Girella laevisfrons</i>	Gl	I-S	16.29	9.34	30.58	-	-	-
	<i>Graus nigra</i>	Gn	I-S	-	-	-	19.36	14.61	39.51
Pomacentridae	<i>Chromis crusma</i>	Cr	I-S	-	-	-	11.83	7.38	48.87
Pinguipedidae	<i>Pinguipes chilensis</i>	Pc	D	-	-	-	22.60	6.97	47.15
	<i>Prolatilus jugularis</i>	Pj	D	-	-	-	21.50	15.25	47.03
Tripterygiidae	<i>Helcogrammoides cunninghami</i>	Hc	I-S	348.76	99.81	720.47	19.51	9.78	35.45
Dactyloscopidae	<i>Sindoscopus australis</i>	Sa	S.S.	9.46	5.09	16.46	11.79	7.70	18.99
Blenniidae	<i>Hypsoblennius sordidus</i>	Hs	I-S	12.02	6.42	22.69	21.26	12.42	49.68
	<i>Scartichthys viridis</i>	Sv	I-S	52.62	18.43	112.76	18.50	10.85	36.65
Clinidae	<i>Myxodes</i> sp.	Ms	I-S	13.77	7.86	48.76	-	-	-
Labrisomidae	<i>Auchenionchus crinitus</i>	Acr	I-S	327.14	118.98	654.93	41.68	13.09	199.18
	<i>Auchenionchus microcirrhis</i>	Am	I-S	26.75	11.03	54.22	154.91	47.31	469.11
	<i>Calliclinus geniguttatus</i>	Cg	I-S	32.50	15.12	70.64	11.92	10.08	22.60
	Labrisomidae gen.sp1	L	I-S	3.83	3.18	5.82	111.78	-	-
Gobiidae	<i>Ophiogobius jenynsi</i>	Oj	I-S	27.09	6.68	59.02	35.49	12.28	84.75
Stromateidae	<i>Stromateus stellatus</i>	Ss	E	-	-	-	5.96	-	-
Paralichthyidae	<i>Hippoglossina macrops</i>	Hm	D	5.42	4.04	6.64	22.48	7.38	39.18
	<i>Paralichthys adpersus</i>	Pa	S.S.	-	-	-	17.19	10.20	29.31
	<i>Paralichthys microps</i>	Pm	S.S.	-	-	-	11.83	4.95	27.94
Syngnathidae	<i>Leptonotus blainvillaeus</i>	Lb	I-S	3.83	-	-	-	-	-
Unidentified larvae				9.66	4.50	16.6	26.12	13.11	97.13

E: epipelagic, D: demersal, M: mesopelagic, I-S: intertidal-subtidal, S.S.: sandy subtidal

5.2.1.6.2 Comunidades bentónicas

Las comunidades bentónicas, en general, han sido escasamente estudiadas en la Bahía San Jorge. Para las comunidades intermareales de fondos duros de la Bahía San Jorge en las décadas del 50 y 60 se pueden mencionar las contribuciones de Guilier (1959) sobre descripciones de zonaciones y de Gutierrez & Lay (1965) sobre observaciones biológicas en el tunicado intermareal *Pyura praeputialis*, piure de orilla.

En general, en el sistema intermareal se reconocen franjas bióticas de zonación intermareal. La franja intermareal superior es extensa en amplitud vertical y se caracteriza por la presencia porcentual elevada de espacio primario descubierto o roca. La franja intermareal media en su extremo superior se caracteriza por la dominancia del mitíldo *Perumytilus purpuratus*, con incrustaciones de cirripedios (*Notochthamalus scabrosus* y *Jehlius cirratus*). La franja intermareal media en su extremo inferior se caracteriza por la dominancia de *P. praeputialis*. La franja intermareal inferior es estrecha y se caracteriza por la dominancia de algas crustosas del grupo de las lithothamnioides y por un descenso abrupto de la densidad de *P. praeputialis*.

Por otra parte, en el sistema submareal ocurre un algo similar, en donde las comunidades bentónicas han sido escasamente estudiadas. Hasta el momento las contribuciones de Ortiz et al. (2015) y Valdés et al. (2014) con enfoque en redes tróficas y transferencia de metales a través de ésta, son las únicas fuentes de información a las que se ha tenido acceso con respecto a las comunidades bentónicas. Al respecto, se ha descrito la presencia de las taxa: *Turritella cingulata*, *Nassarius gayi*, *Tegula tridentata*, *Tegula luctuosa*, *Tegula atra*, *Tegula euryamphala*, *Xanthochorus crassidiformis*, *Oliva peruviana*, *Prisogaster niger*, *Transenella pannosa*, *Protothaca thaca*, *Tagelus dombeii*, *Chiton sp.*, *Mitrella unifasciata*, *Pagurus edwardsi*, *Polinices uber*, *Crassilabrum crassilabrum*, *Xanthochorus buxea*, *Trigonostoma tuberculosum*, *Priene rude*, *Gari solida*, *Pagurus perlatus*, *Ofiuroideo*, *Haloptyerys sp.*, *Cancer polyodon*, *Hepatus chilensis*, *Dyctiota sp.*, *Priene scabrum*, *Loxechinus albus*, *Thais chocolate*, *Helianthus helianthus*, *Luidia magellanica*, *Tetrapigus niger*, *Concholepas concholepas*, *Lessonia trabeculata*, *Meyenaster gelatinosus*, *Fissurella nigra*.

5.2.1.6.3 Ictiofauna

La franja costera de la zona norte de Chile (18°-23°S) es habitada por numerosas especies de peces neríticos de las cuales 249 son comúnmente observadas durante condiciones normales y condiciones frías La Niña (LN). Entre estas especies se reconocen como características del borde costero y asociadas a macroalgas pardas los peces bilagay, cabrilla común, congrio, rollizo, blanquillo y pejeperro. Asimismo, en los sectores costeros de la bahía donde dominan los sustratos arenosos, 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.

Estudios específicos que den cuenta de la composición y estructura de los ensambles de fauna íctica asociados a ambientes submareales existentes en bahía San Jorge, hasta la fecha no se han encontrado. 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.

5.2.1.6.4 Contenido de metales en organismos

Con respecto al contenido de metales en organismos marinos, hasta la fecha se han registrado 3 fuentes de información. i) POAL, ii) Castro and Valdés 2012 y iii) ESTUDIO LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA EL CONTROL AMBIENTAL DE LA BAHÍA DE SAN JORGE, BIP 30059576 y sus publicaciones científicas asociadas. Todas con énfasis en organismos bentónicos, tanto del ambiente submareal como del ambiente intermareal. No se registran análisis de contenido de metales en peces.

De acuerdo con los objetivos del presente estudio, los resultados recopilados se presentan en función de dos enfoques implícitos en las fuentes de información. Por una parte, está el enfoque ambiental en donde se analiza el contenido de metales en organismos centinela (POAL y Castro and Valdés 2012) y por otra parte, está el enfoque de las redes tróficas de comunidades bentónicas del ambiente submareal y su potencial conexión con la salud humana, considerando la ingesta de estos organismos como una vía de exposición a los metales concentrados en sus tejidos.

En este contexto, se utilizó como referencia nacional el Reglamento Sanitario de los Alimentos DS 977/96 del Ministerio de Salud (Tabla 5.2-10) el cual presenta límites de concentraciones 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 5.2-10).

Tabla 5.2-10 Límites máximos de concentración de metales en organismos para consumo humano, establecidos por 2 referencias internacionales y una normativa nacional (DS. 977/96).

PARAMETRO	FAO/OMS	Unión Europea	DS. 977/96
Arsénico			2
Cadmio	2	1	
Cobre			10
Mercurio			0,5
Plomo		1,5	2
Zinc			100

En el caso del POAL, los análisis se han realizado sobre el organismo centinela *Perumytilus purpuratus* (Chorito maico); organismo filtrador del ambiente intermareal. Los metales considerados fueron Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo y Zinc. El Arsénico ha sido evaluado desde el año 2013 en adelante y el resto de los metales a partir del año 1993. El diseño de muestreo considera tres puntos de recolección de organismos, distribuidos espacialmente en acuerdo con la Tabla 5.2-11 y la Figura 5.2-113.

Esta fuente de información corresponde a un muestreo sistemático en el tiempo y en el espacio con una serie temporal de al menos 20 años, característica que le otorga un alto valor para apoyar la gestión ambiental en el sistema de estudio.

Tabla 5.2-11 Topónimo, Puntos de muestreo y coordenadas (UTM, Huso 19 K) asociadas al diseño de muestreo POAL, Bahía San Jorge, Antofagasta.

TOPONIMO	PUNTO MUESTREO	ESTE	NORTE
Caleta Cobre Norte	020-B-An	357630	7387518
Costanera	140-B-An	356798	7382680
Estación Control La Rinconada	001-B-An	350755	7402367

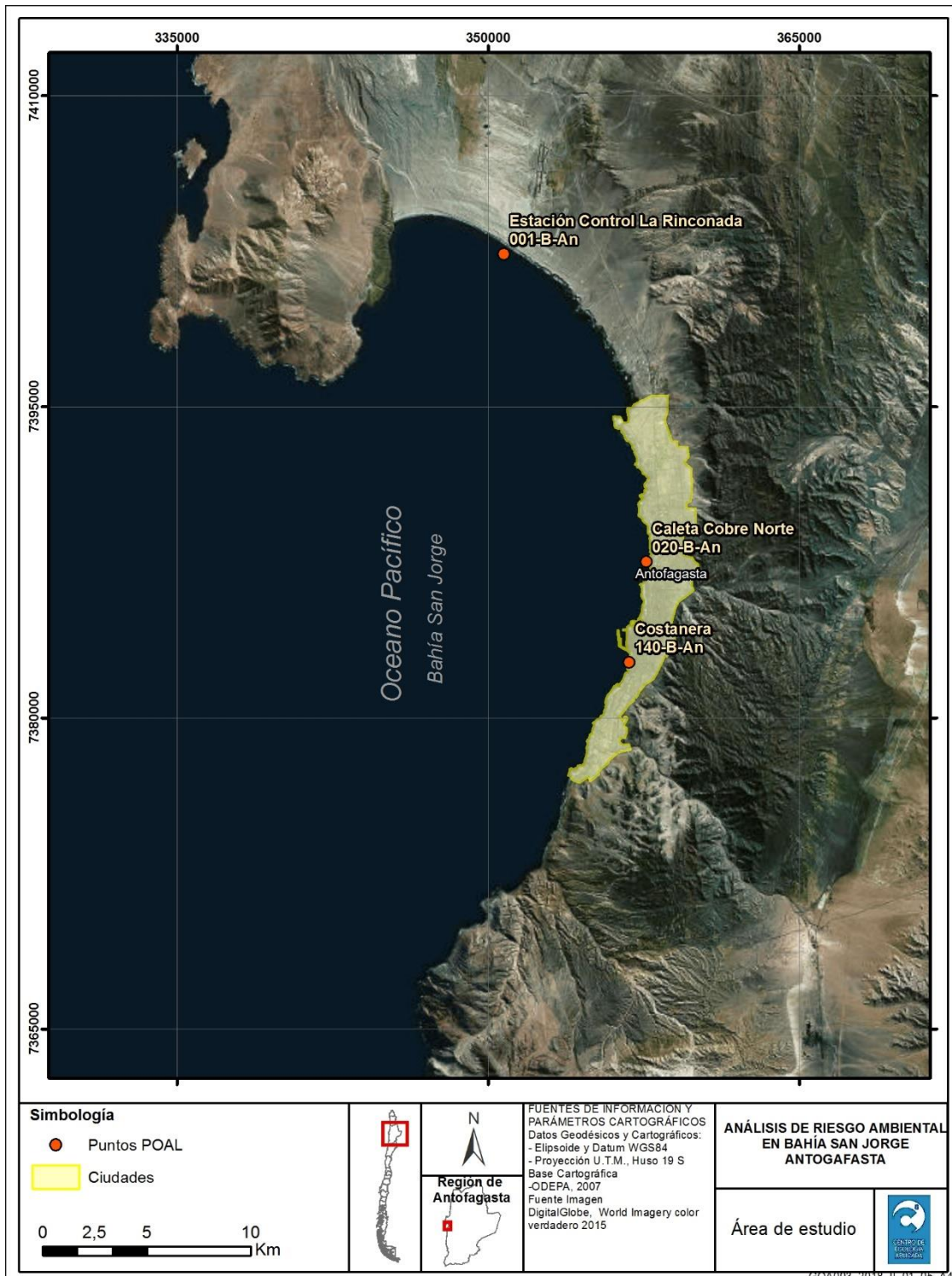


Figura 5.2-113 Distribución espacial de los puntos de muestreo asociados al diseño de muestreo de POAL, Bahía San Jorge, Antofagasta.

En el caso de Castro y Valdés 2012, corresponde a un muestreo puntual realizado en el año 2009 en una playa artificial (Playa Paraíso) y otra playa natural (El Lenguado). Los análisis de metales se realizaron en los organismos *Emerita analoga* (Pulga de mar), *Protothaca thaca* (Almeja), *Tetrapygnus niger* (Erizo negro), *Tegula tridentata* (Caracol negro), *Athyonidium chilensis* (Pepino de mar), *Concholepas concholepas* (Loco) y *Stichaster striatus* (Estrella común). Todos los organismos considerados son bentónicos y la mayoría representa al ambiente submareal, excepto *Emerita analoga* que representa al ambiente intermareal. Los metales considerados fueron Cobre, Cadmio, Zinc, Níquel y Plomo. El diseño de muestreo considera 27 puntos de recolección de organismos, distribuidos espacialmente de acuerdo con la Figura 5.2-114.

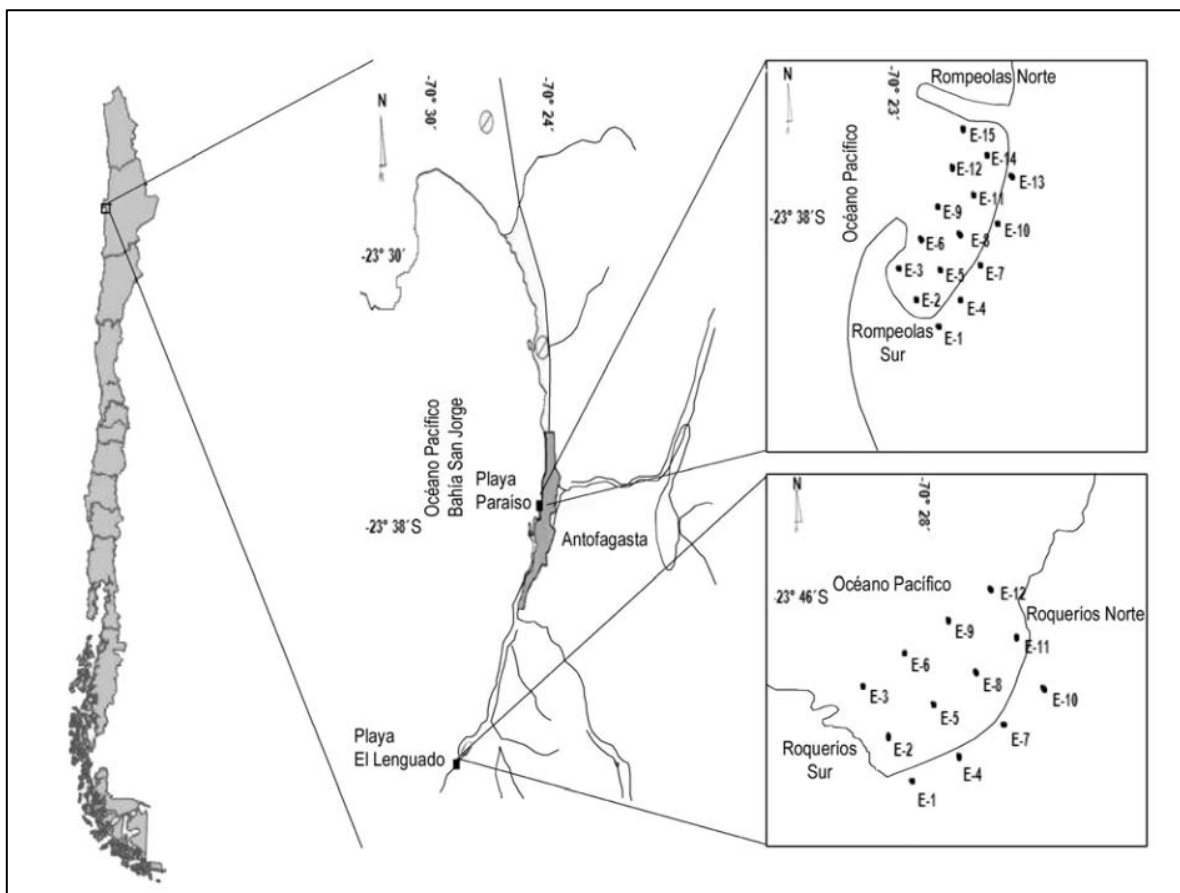


Figura 5.2-114 Distribución espacial de los puntos de muestreo asociados a la publicación Castro and Valdés 2012 (Fuente de la figura).

En el caso de Valdés *et al.* 2014, corresponde a un muestreo puntual realizado en el año 2009 en siete sectores costeros de Bahía San Jorge. En el estudio de la distribución de metales, se determinó la estructura de las redes tróficas mediante una revisión de estudios ecológicos que incluyeran información sobre el contenido estomacal, las estrategias de alimentación y las preferencias de hábitat de las diferentes especies bentónicas presentes en la bahía San Jorge. Las especies fueron divididas en cuatro grupos tróficos: filtradores, suspensívoros, herbívoros y carnívoros. Los metales considerados fueron Cobre, Plomo y Zinc. El diseño de muestreo considera siete sectores de recolección de organismos, distribuidos espacialmente de acuerdo con la Figura 5.2-115. Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto FNDR BIP 30059576.

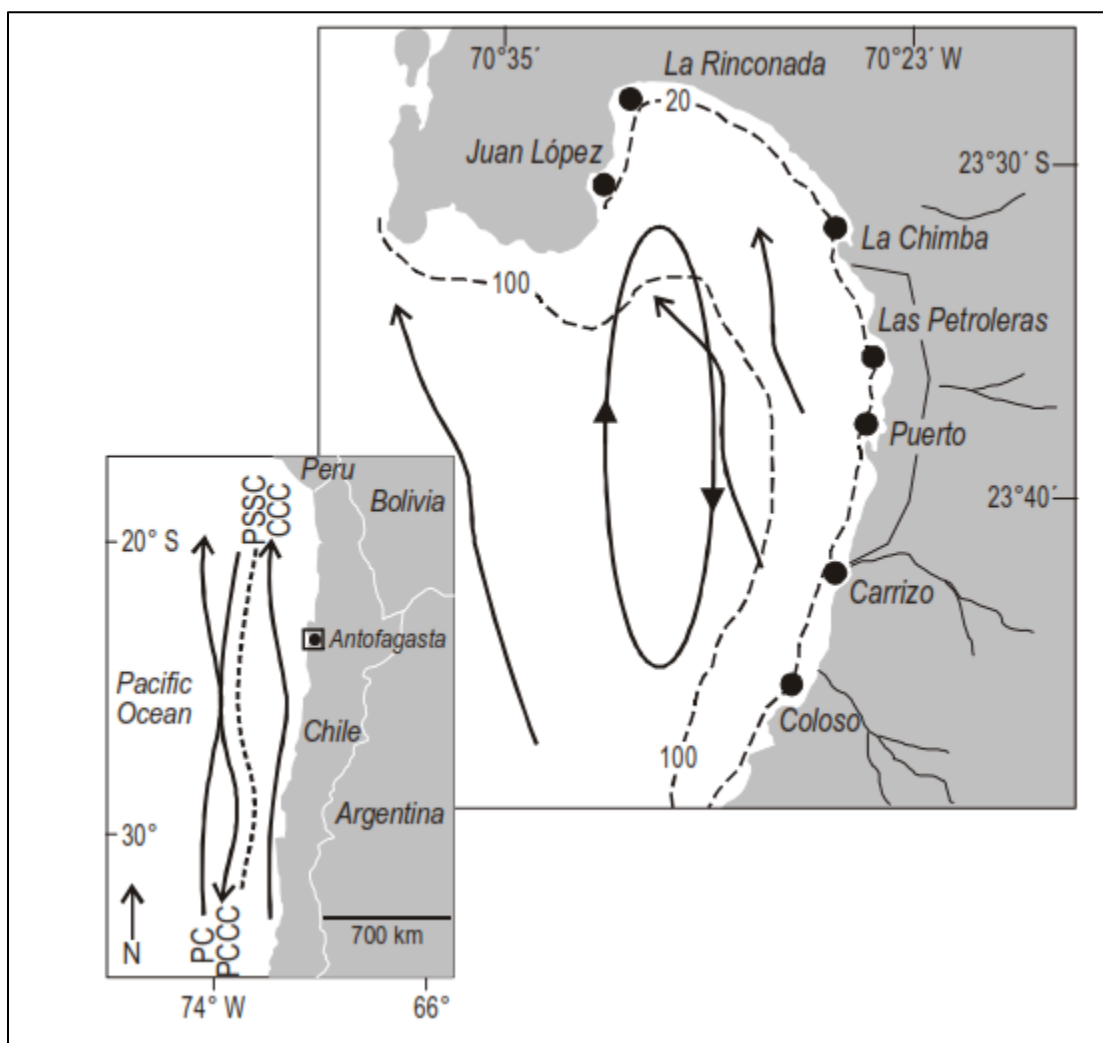


Figura 5.2-115 Distribución espacial de los puntos de muestreo asociados a la publicación Valdés et al 2014 (Fuente de la figura).

i. Organismos centinela

a) *Arsénico en Chorito maico*

Se registran datos cuantificables para el arsénico desde el año 2013 hasta el año 2017. La mayoría de los registros se distribuye entre las magnitudes 1 y 5 mg/Kg, excepto un registro puntual en primavera de 2014 que alcanza los 180 mg/Kg en los tres puntos de recolección de organismos. La mayoría de los registros (85,7%) 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. La Unión Europea y la FAO/OMS no consideran el arsénico. Las mayores magnitudes y varianzas se registraron en el punto de muestreo ubicado al sur del puerto de Antofagasta.

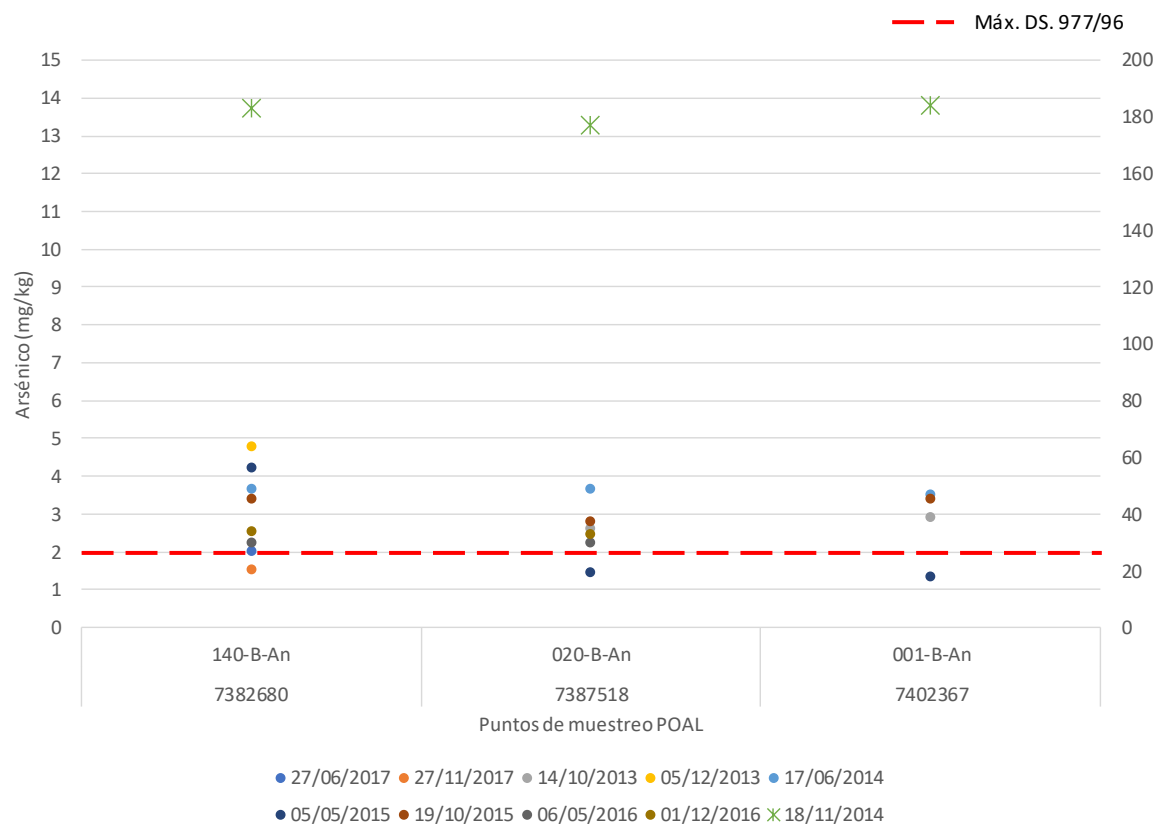


Figura 5.2-116 Arsénico total registrado por el POAL en Chorito maico, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas. El eje secundario contiene el registro puntual de la primavera 2014 (~180 mg/Kg).

b) Cadmio en Chorito maico

Se registran datos cuantificables para el Cadmio desde el año 1993 hasta el año 2017. La mayoría de los registros se distribuye entre las magnitudes 0,1 y 8 mg/Kg, excepto un registro puntual en otoño de 1997 que alcanza los 317 mg/Kg, en el punto de muestreo ubicado al sur del puerto de Antofagasta. El DS. 977/96 no considera el Cadmio. El 60,2% de los registros supera el límite establecido por la Unión europea (1 mg/kg) y el 47,4 % de los registros supera el límite establecido por la FAO/OMS (2 mg/Kg), patrón que es sostenido espacial y temporalmente, incluyendo el último año de muestreo. Las mayores magnitudes y varianzas se registraron en el punto de muestreo ubicado al sur del puerto de Antofagasta.

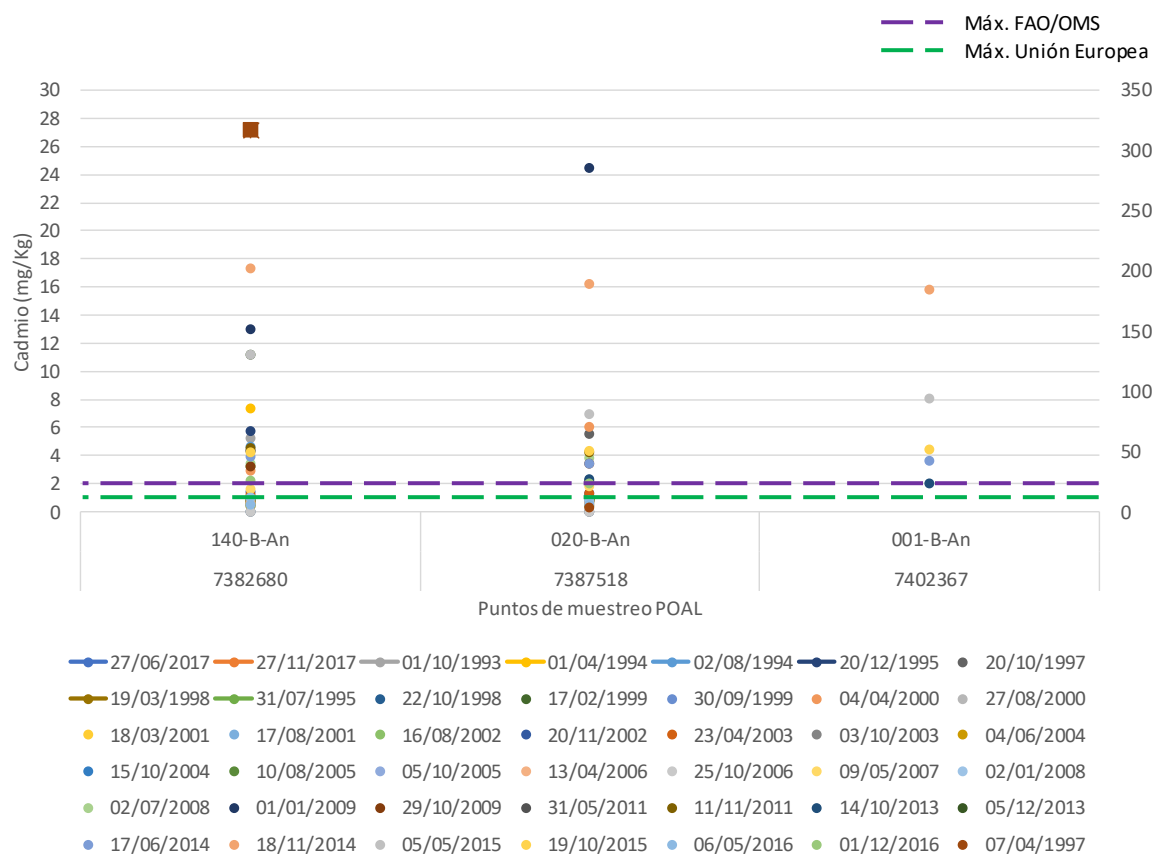


Figura 5.2-117 Cadmio total registrado por el POAL en Chorito maico, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas. El eje secundario contiene el registro puntual del otoño 1997 (317 mg/Kg).

c) Cobre en Chorito maico

Se registran datos cuantificables para el Cobre desde el año 1993 hasta el año 2017. La mayoría de los registros se distribuyen entre las magnitudes 0,1 y 380 mg/Kg, excepto un registro puntual en otoño de 1997 que alcanza los 481 mg/Kg, en el punto de muestreo ubicado inmediatamente al norte del puerto de Antofagasta.

El 42,3% de los registros supera el límite establecido por el DS. 977/96 (10 mg/kg), patrón observado espacial y temporalmente, incluyendo el último año de muestreo. La Unión Europea y la FAO/OMS no consideran el cobre. Las mayores magnitudes y varianzas se registraron en el punto de muestreo ubicado inmediatamente al norte del puerto de Antofagasta.

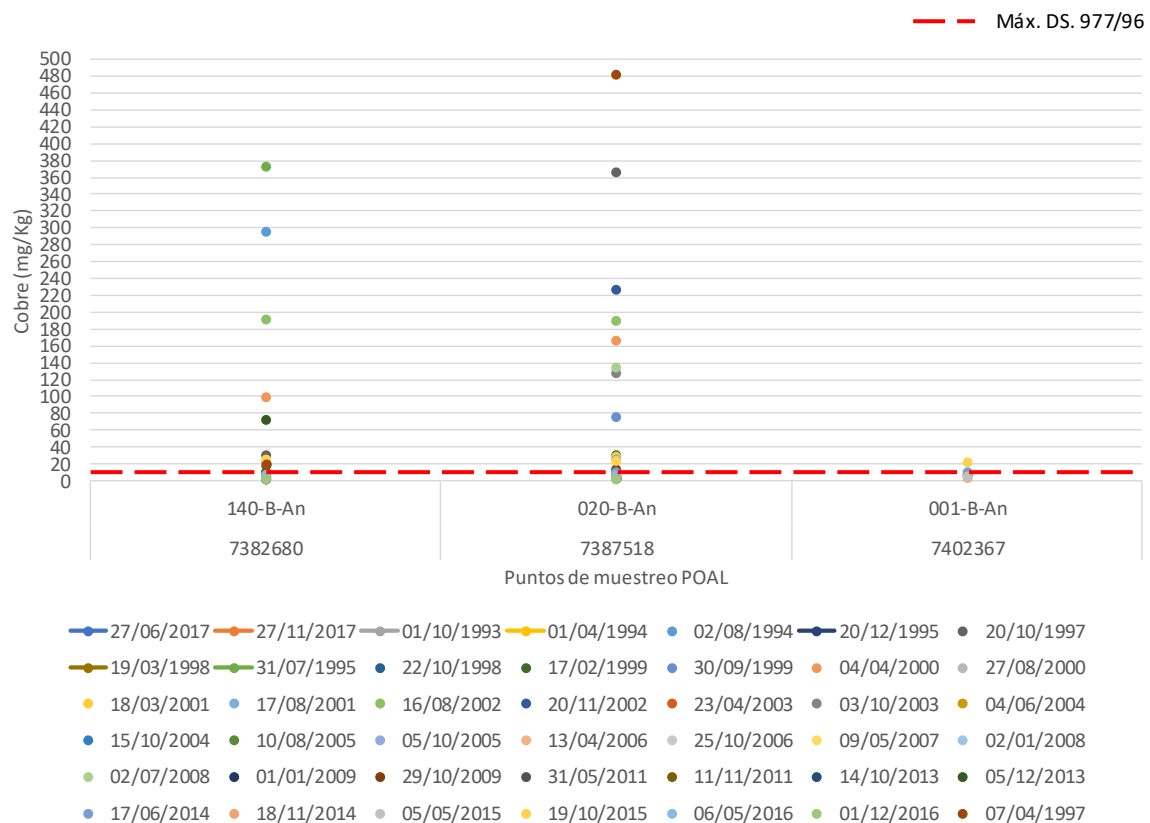


Figura 5.2-118 Cobre total registrado por el POAL en Chorito maico, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

d) Cromo en Chorito maico

Se registran datos cuantificables para el arsénico desde el año 1993 hasta el año 2017. La mayoría de los registros se distribuye entre las magnitudes 0,1 y 10 mg/Kg, excepto un registro puntual en invierno 1995 que alcanza los 148 mg/Kg en el punto de muestreo ubicado al sur del Puerto de Antofagasta. Ninguna de las tres referencias utilizadas en este estudio presenta límites para el Cromo (DS. 977/96, Unión Europea y FAO/OMS). Las mayores magnitudes y varianzas se registraron en el punto de muestreo ubicado al sur del puerto de Antofagasta.



Figura 5.2-119 Cromo total registrado por el POAL en Chorito maico, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas. El eje secundario contiene el registro puntual de invierno 1995 (148 mg/Kg).

e) *Plomo en Chorito maico*

Se registran datos cuantificables para el Plomo desde el año 1993 hasta el año 2017. La mayoría de los registros se distribuye entre las magnitudes 0,2 y 39,4 mg/Kg, excepto un registro puntual en primavera 2014 que alcanza los 419 mg/Kg, en los puntos de muestreo ubicados al sur y en el extremo norte con respecto al Puerto de Antofagasta. El 60,2% de los registros supera el límite establecido por el DS. 977/96 (2 mg/Kg). El 70,5 % de los registros supera el límite establecido por la Unión europea (1,5 mg/kg). Las mayores magnitudes y varianza se registraron en el punto de muestreo ubicado al sur del puerto de Antofagasta y en el punto ubicado inmediatamente al norte del Puerto.

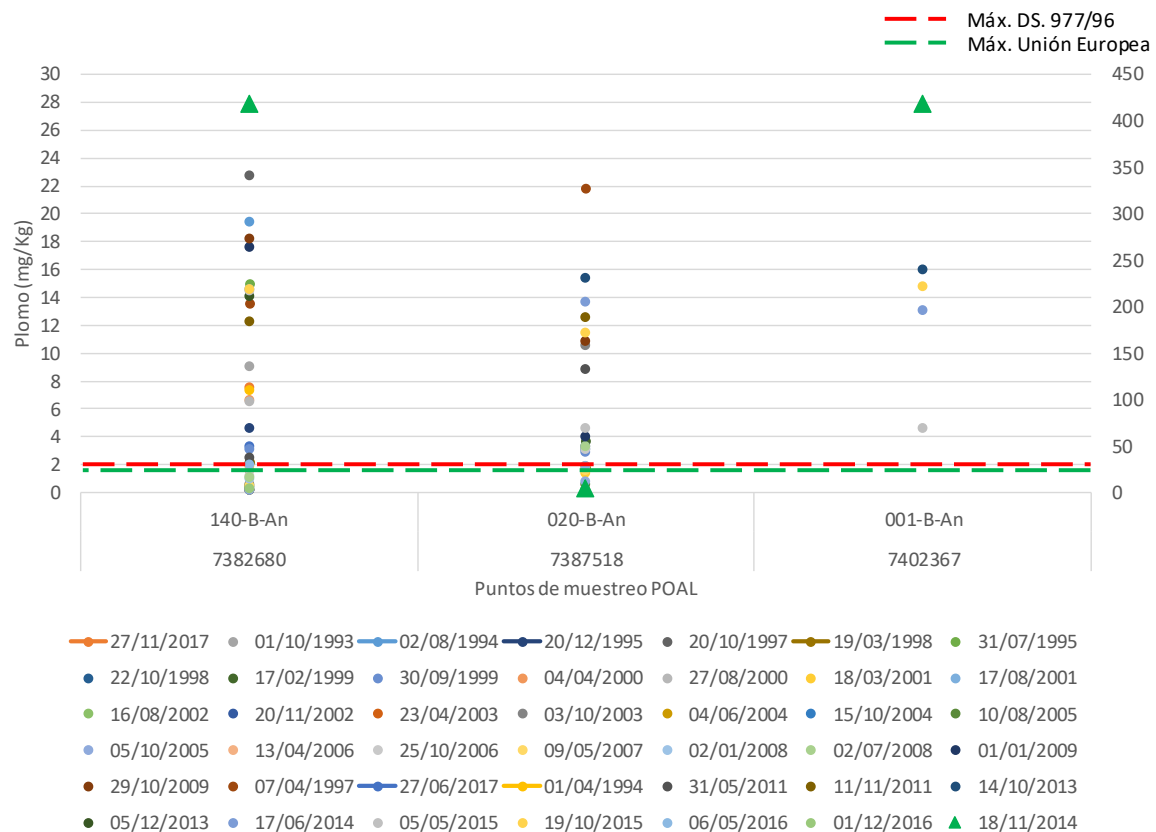


Figura 5.2-120 Plomo total registrado por el POAL en Chorito maico, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas. El eje secundario contiene el registro puntual de primavera 2014 (419 mg/Kg).

f) Mercurio en Chorito maico

Se registran datos cuantificables para el Mercurio desde el año 1993 hasta el año 2017. La mayoría de los registros se distribuyen entre las magnitudes 0,1 y 0,5 mg/Kg, excepto registros puntuales asociados a los primeros años de muestreo y al punto de muestreo ubicado al sur del Puerto de Antofagasta.

El 6,4% de los registros supera el límite establecido por el DS. 977/96 (0,5 mg/kg). La Unión Europea y la FAO/OMS no consideran el Mercurio. Las mayores magnitudes y varianza se registraron en el punto de muestreo ubicado al sur del puerto de Antofagasta.

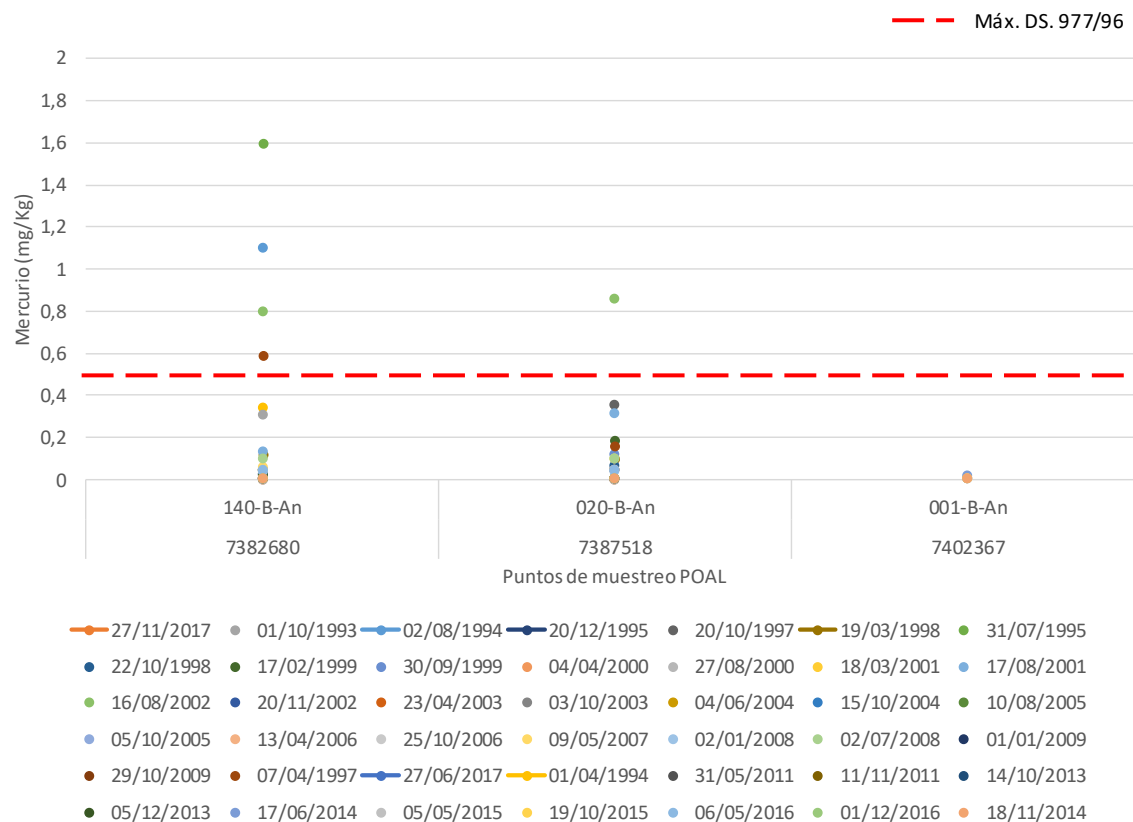


Figura 5.2-121 Mercurio total registrado por el POAL en Chorito maico, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

g) Zinc en Chorito maico

Se registran datos cuantificables para el Zinc desde el año 1993 hasta el año 2011. El 15,7% de los registros supera el límite establecido por el DS. 977/96 (100 mg/kg) y la mayoría ocurre en los primeros años de muestreo. La Unión Europea y la FAO/OMS no consideran el Zinc. Las mayores magnitudes y varianza se registraron en el punto de muestreo ubicado al sur del puerto de Antofagasta.

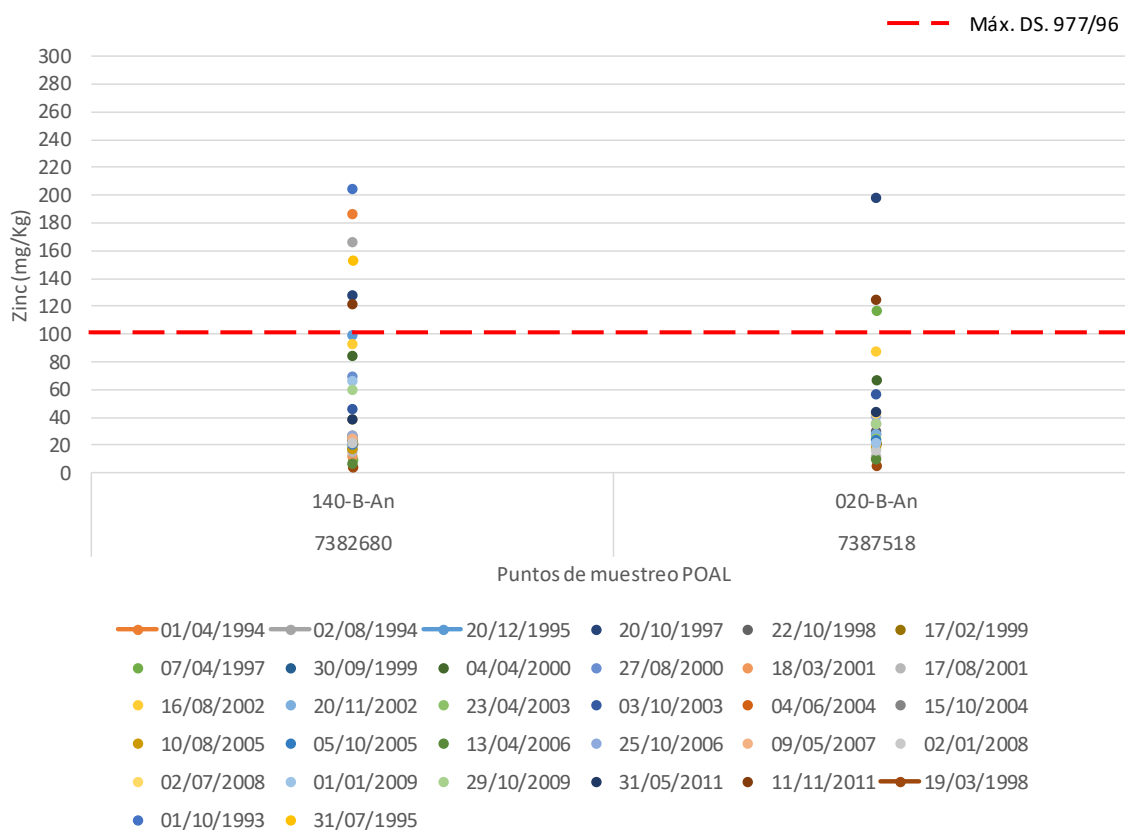


Figura 5.2-122 Zinc total registrado por el POAL en Chorito maico, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

h) Metales en Pulga de mar

En general, las mayores magnitudes de los metales analizados se observaron en los organismos recolectados desde Playa Paraíso. En ambos sectores de muestreo los organismos presentaron mayor contenido de Plomo en comparación con el resto de los metales. El contenido de Plomo en los organismos provenientes de ambos sectores, supera los límites establecidos por la normativa nacional DS. 977/96 (2 mg/Kg) y la referencia de la Unión Europea (1,5 mg/Kg). El contenido de cobre en los organismos provenientes del sector Playa paraíso, supera el límite establecido por el DS. 977/96.

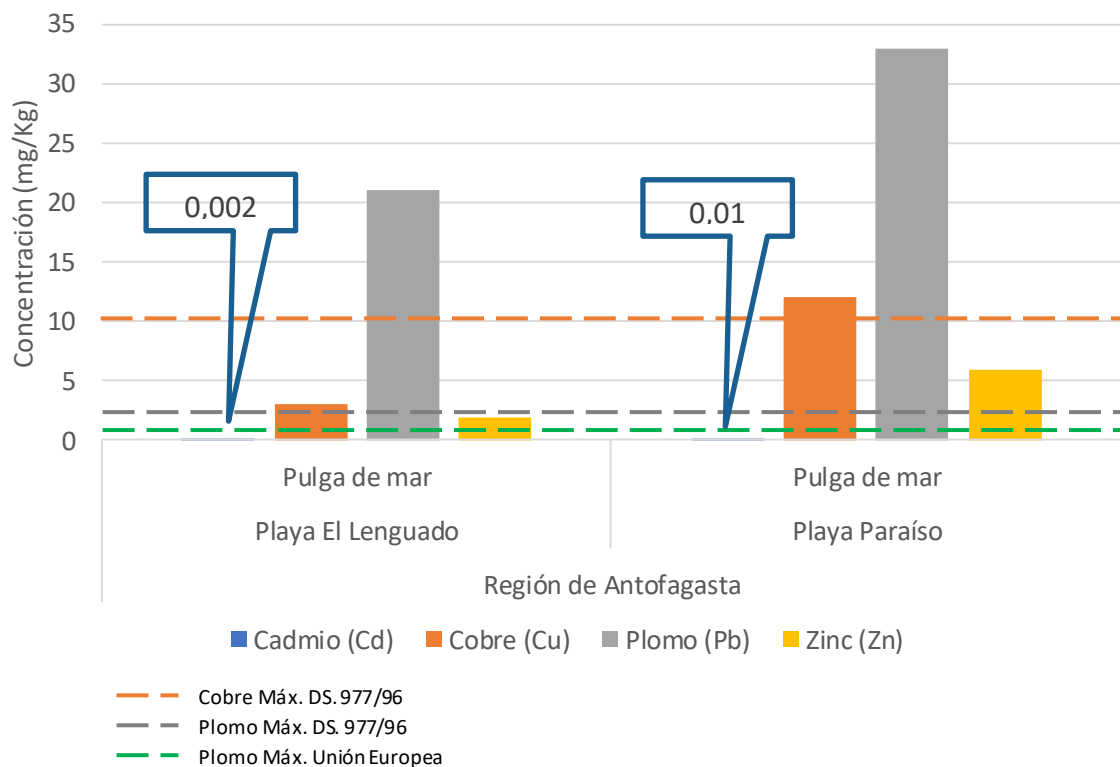


Figura 5.2-123 Contenido de metales en Pulgas de mar provenientes de la playa artificial “Playa Paraíso” y de la playa natural “El Lenguado”, fuente: Castro and Valdes 2012.

ii. Redes tróficas

En los organismos bentónicos, los mayores contenidos de Cu se registraron para *Thais chocolata* (Locate) (134 ± 28 mg/kg), *Fissurella* sp. (Lapa) ($115,8 \pm 8,0$ mg/kg) y *Turritela* sp. (Turritela) ($89,6 \pm 24,0$ mg/kg) en Las Petroleras, Puerto y Coloso, respectivamente. Los mayores contenidos de Zn fueron encontrados en *Cancer polyodon* (Jaiba) en Coloso ($91,0 \pm 10,7$ mg/kg) y en *Luidia magallánica* (Estrella negra) en La Chimba ($97,0 \pm 33,8$ mg kg). El contenido más alto de Pb fue registrado para *Heliaster helianthus* (Sol de mar) en Carrizo (100.6 mg/kg) (Valdés et al. 2014).

Dado que solamente se puede hablar de biotransferencia positiva de metales cuando se tienen dos o más niveles tróficos (Valdés et al. 2014, FNDR 2008-2012 BIP 30059576), sólo fue posible evaluar este proceso en cuatro de los siete sectores estudiados: Carrizo, Puerto, La Chimba y La Rinconada. Se observó biomagnificación de Cu y Zn en las especies carnívoras *H. helianthus* (Sol de mar), *Octopus* sp. (Pulpo), *L. magallánica* (Estrella negra) y *Concholepas concholepas* (Loco) en La Chimba (Figura 5.2-124). La biomagnificación de Pb se observó en *H. helianthus* en Carrizo y La Chimba, y solamente en los carnívoros *Octopus* sp. y *L. magallánica* en La Chimba. En el caso de Carrizo, se observaron elevados valores de biotransferencia de Pb en la secuencia *Fissurella* sp., *Crassilabrum* sp. y *H. helianthus* (Figura 5.2-125), lo cual sugiere un proceso de biomagnificación efectivo. Es necesario considerar que los niveles de Pb medidos en los tejidos blandos están subestimados, ya que este metal también se acumula en las conchas y los exoesqueletos de moluscos y crustáceos por la misma vía de ingreso del Ca (Valdés et al. 2014). Los procesos de biomagnificación de Cu y Pb registrados en Carrizo, La Chimba y La Rinconada coinciden con las máximas concentraciones de estos metales registradas dentro de la bahía San Jorge, lo cual sugiere una cierta influencia de la carga de metales en los sedimentos donde viven estos organismos bentónicos (Valdés et al. 2014, FNDR 2008-2012 BIP 30059576).

Se realizó un análisis de componentes principales bajo el supuesto de que las relaciones tróficas entre las especies bentónicas presentes en el submareal de la bahía San Jorge influyen sobre su capacidad de acumular metales, y el 74% de la varianza fue explicada por dos componentes. El primer componente (50,1%) separa a las especies carnívoras y herbívoras de aquellas que son filtradoras y suspensívoras. La separación entre ambos grupos mostrada por este análisis se explica por la capacidad que muestran las especies carnívoras y herbívoras para bioacumular una mayor cantidad de metales, probablemente como resultado de la biomagnificación (como lo muestran algunas especies en los diferentes sectores de la bahía San Jorge) y la exposición directa a ambientes con una alta carga de metales en los sedimentos (Valdés et al. 2014, FNDR 2008-2012 BIP 30059576).

Con respecto a la normativa asociada al consumo humano de recursos marinos, los contenidos de Plomo y Cobre exceden los límites establecidos por la referencia nacional DS. 977/96 en los recursos Loco, Pulpo, Locate (Figura 5.2-124), Lapa (Figura 5.2-125), Ostión y Navajuela (Figura 5.2-126).

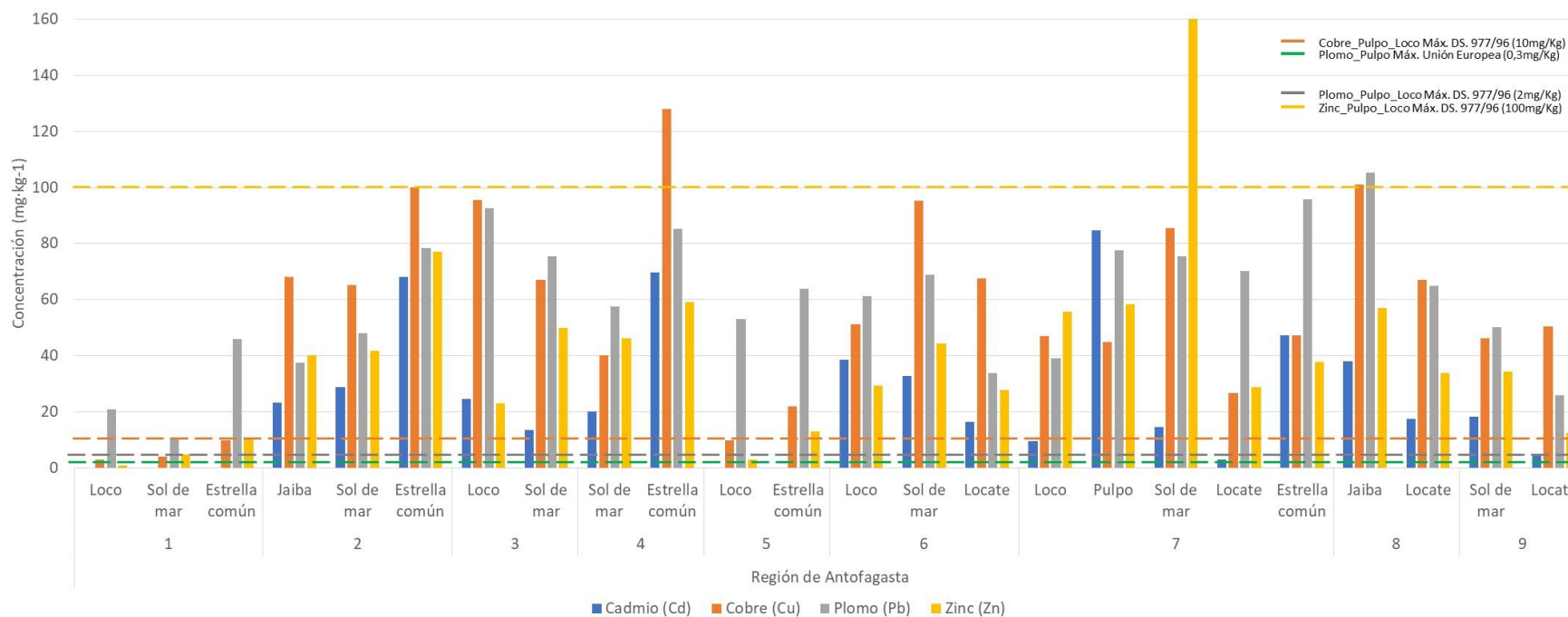


Figura 5.2-124 Distribución de metales en organismos carnívoros provenientes de Bahía San Jorge, Antofagasta. En el eje de las abscisas: 1_Playa el Lengudo; 2_Coloso; 3_Q. Carrizo; 4_Pto. Antofagasta; 5_Playa Paraíso; 6_Las Petroleras; 7_La Chimba; 8_Rinconada; 9_Acapulco (Juan López).

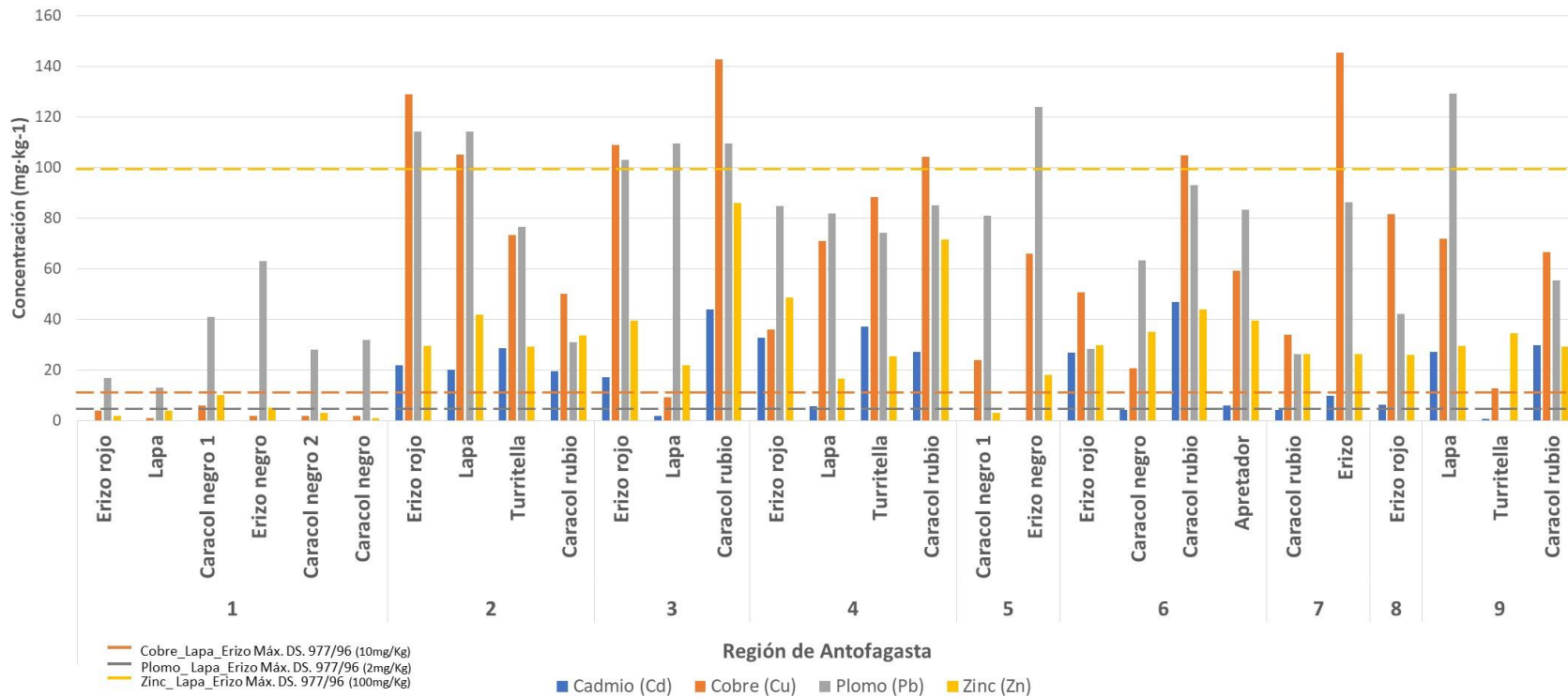


Figura 5.2-125 Distribución de metales en organismos herbívoros provenientes de Bahía San Jorge, Antofagasta. En el eje de las abscisas: 1_Playa el Lengudo; 2_Coloso; 3_Q. Carrizo; 4_Pto. Antofagasta; 5_Playa Paraíso; 6_Las Petroleras; 7_La Chimba; 8_Rinconada; 9_Acapulco (Juan López).

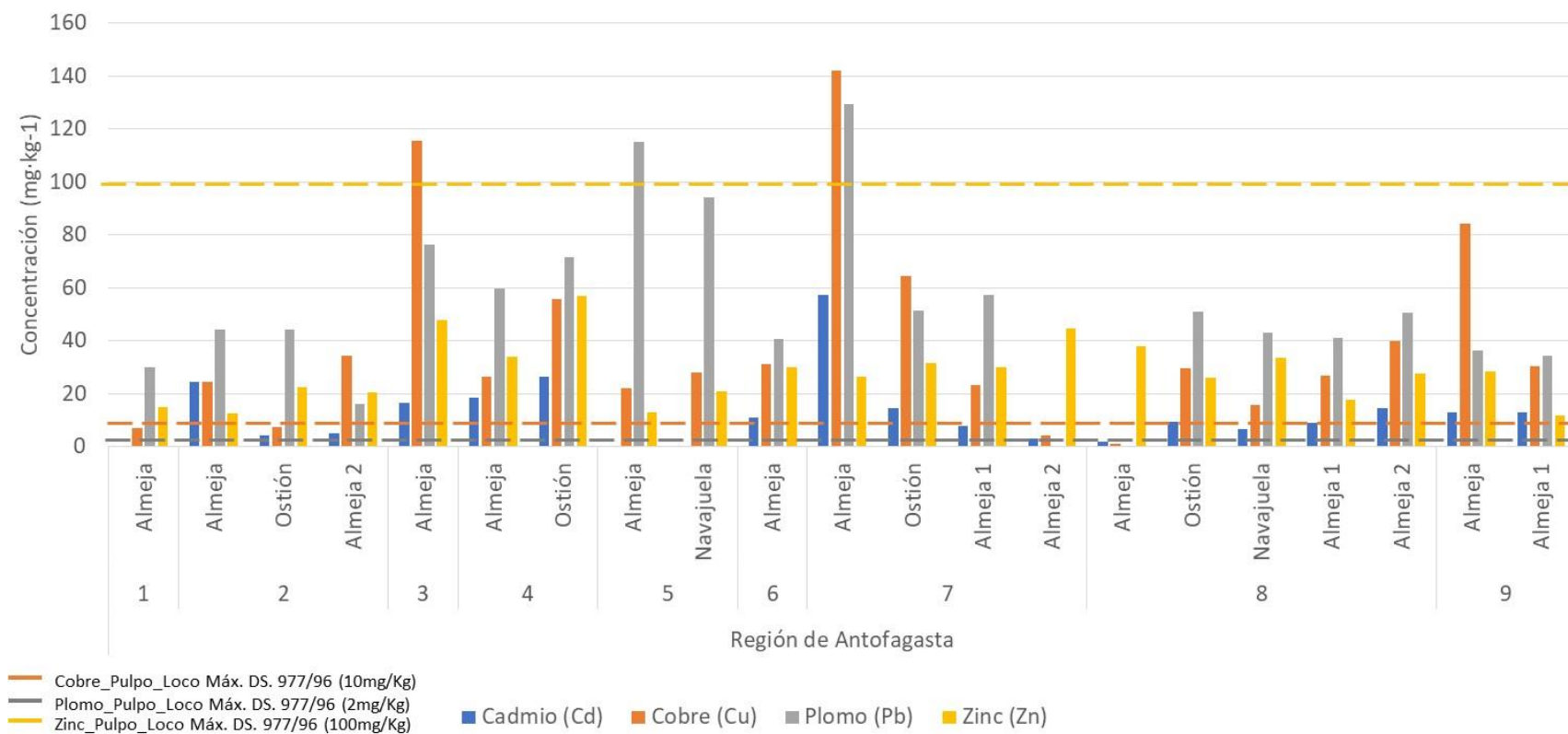


Figura 5.2-126 Distribución de metales en organismos filtradores provenientes de Bahía San Jorge, Antofagasta. En el eje de las abscisas: 1_Playa el Lenguado; 2_Coloso; 3_Q. Carrizo; 4_Pto. Antofagasta; 5_Playa Paraíso; 6_Las Petroleras; 7_La Chimba; 8_Rinconada; 9_Acapulco (Juan López).

5.2.2 Flujos antrópicos de materiales y organismos

5.2.2.1 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°31/2017), 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 Antofagasta a través de la página web www.retc.cl, consultada el 5 de octubre de 2018. 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, Tocopilla y Taltal, 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 generó¹, mientras que Fuentes Puntuales son aquellas fuentes donde la ubicación del punto de descarga, generación o emisión al medio ambiente es plenamente identificable². 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

¹ <http://www.retc.cl/glosario/>

² <http://www.retc.cl/glosario/>

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 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 2006 hasta el 2016, con un total de 38 parámetros para Fuentes Puntuales. Si bien se descargó la base de datos desde el año 2005, en la comuna de Antofagasta no existe ningún tipo de registros para ese año.

Tabla 5.2-12 Identificación y cuantificación de parámetros de interés disponibles en el RETC, medio receptor Agua y Tipo fuente: Fuentes Puntuales, para la comuna de Antofagasta

Parámetro	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total general
Aceites y grasas	1	1	3	4	1	1	2	2	2	2	2	21
Aluminio				3		1	2	1	1	1	1	10
Arsénico				3		1	2	2	1	1	2	12
Boro				1				1	1	1	1	5
Cadmio			2	3		1	1	1	1	1	1	11
Cianuro				3		1	1	1	1	1	1	9
Cloruros				1			1	1	1	1		5
Cobre			2	4		1	2	2	1	1	1	14
Cromo hexavalente			2	3		1	1	1	1	1	1	11
Cromo Total			2	3		1	1	1	1	2	1	12
Estaño				3		1	3	1	1	1		10
Fluoruros			2	3		1	3	2	1	1	2	15
Fósforo Total			1	3			1	10	1	1	1	18
Hidrocarburos fijos		1		1								2
Hidrocarburos totales		1	3	8	1	1	2	1	1	1	1	20
Hidrocarburos volátiles		1	3		1	1	2	2	2	2	2	16
Hierro disuelto				3			2	2	2	1	2	12
Índice de fenol			2	3		1	1	1	1	1	1	11
Manganeso				3		1	2	2	1	1	2	12
Mercurio			2	3		1	1	1	1	1	1	11
Molibdeno				3		1	2	2	1	1	2	12
Níquel				3		1	1	1		1	1	8
Nitritos más Nitratos				1								1
Nitrógeno Total Kjeldahl			1	1			2	1	1	1	1	8
Pentaclorofenol - PCP				1								1
Plomo			2	3		1	1	1	1	1	1	11
Selenio			1	3		1	1					6

Parámetro	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total general
Sólidos sedimentables		1	3	4		1	3	1		1	1	15
Sólidos suspendidos totales			2	4	1	1	4	3	2	2	3	22
Sulfatos				1			1	1	1		1	5
Sulfuros			2	3		1	1	1	1	1	1	11
Sustancias Activas de Azul de Metileno		1	1	1	1		1	1	2	2	1	11
Tetracloroetano				1								1
Tolueno - metil benceno - Toluol - Fenilmetano				1								1
Triclorometano				1								1
Xileno				1								1
Zinc			2	3		1	2	2	1	1	2	14

De la base de datos reportada por establecimiento, se encontró que un total de 8 establecimientos industriales informan de sus emisiones en la comuna de Antofagasta. La Tabla 5.2-13 muestra los establecimientos industriales identificados, donde se le asignó una ID que guarda relación a los gráficos disponibles en Anexos digitales.

Tabla 5.2-13 Establecimientos industriales con fuentes puntuales al medio receptor agua, en la comuna de Antofagasta

Razón social	Planta	ID
Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A.	Sin Nombre	1
Aguas de Antofagasta S.A.	Planta desaladora de agua de mar La Chimba	2
CYTEC Chile Ltda.	CYTEC Chile Ltda.	3
Fuerza Aérea de Chile III Brigada Aérea	Base aérea Cerro Moreno	4
Hipermercados Tottus S.A.	Sin nombre	5
IXOM Chile S.A.	IXOM Chile Antofagasta	6
Minera Escondida Ltda.	Mina 0 - Punta Coloso 0	7
OHL Industrial Chile S.A.	Sin nombre	8

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.

a) Metales y metaloides

Un total de 16 metales y metaloides han sido informados como emisiones al cuerpo receptor agua durante el 2006 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 Antofagasta, 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 5.2-14 muestra las cifras ordenadas de mayor a menor.

Tabla 5.2-14 Masa de metales y metaloides descargados, sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Antofagasta.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Hierro disuelto	-	0,4000	324,448	656,160	981,008
Manganeso	-	0,0100	125,231	3,345	128,586
Boro	-	0,0070	34,550	85,750	120,307
Cobre	-	0,1300	90,841	9,030	100,001
Estaño	-	0,0100	35,040	21,380	56,430
Aluminio	-	0,0405	1,350	5,220	6,611
Zinc	-	4,1201	0,028	0,780	4,928
Arsénico	-	0,0010	0,281	3,130	3,412
Plomo	-	0,6490	0,140	0,990	1,779
Níquel	-	0,0410	0,100	1,040	1,181
Molibdeno	-	0,0100	0,321	0,511	0,842
Cromo Total	-	0,0581	0,160	0,401	0,619
Cromo hexavalente	-	0,3801	0,050	0,110	0,540
Cadmio	-	0,0140	0,009	0,120	0,143
Mercurio	-	0,0014	0,005	0,007	0,013
Selenio	-	0,0060	-	-	0,006

Asimismo, la Figura 5.2-127 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 5.2-127 Masa de metales y metaloides descargados, sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Antofagasta.

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

- Las mayores cargas másicas que son emitidas a bahía San Jorge asociado a elementos metálicos corresponden a hierro disuelto, manganeso, boro, cobre y estaño, prácticamente en los 2 últimos periodos (2011-2013 y 2014-2016). Al analizar el origen de estos datos a través de la base de datos categorizada por establecimiento, se observa que el hierro, manganeso, cobre y estaño provienen en su mayor parte de Aguas de Antofagasta S.A., mientras que el Boro proviene mayoritariamente de Minera Escondida.
- A nivel temporal se observa un marcado patrón respecto a que las mayores cargas másicas se han presenciado en los últimos dos periodos de análisis. Por otra parte, en el periodo 2008 – 2010 se observan aportes de zinc, plomo y cromo hexavalente, mayores a los dos últimos periodos lo cual se diferencia del patrón mencionado anteriormente. Cabe señalar que de los metales traza como el mercurio y selenio presentaron valores bajos en contraste con el zinc, plomo y níquel por ejemplo, donde estos últimos presentan 4 órdenes de magnitud superior.

Los resultados anteriores indican que existe una incorporación de metales y metaloides que ha ido en aumento durante los últimos años, lo cual cobra especial importancia por cuanto ciertos elementos metálicos como el manganeso, boro y cobre, pueden estarse acumulando a futuro, o elementos como el zinc y plomo pueden quedar retenidos en el sedimento, tal como se ha encontrado en estudios anteriores donde existe una geoacumulación de metales en el componente sedimentario de fondo (Valdés, 2012). Por otro lado, cobra especial atención que sea la empresa de servicios sanitarios (Aguas de Antofagasta S.A.) la que presente en sus RILES las mayores cargas de metales, lo cual no responde a sus procesos unitarios.

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

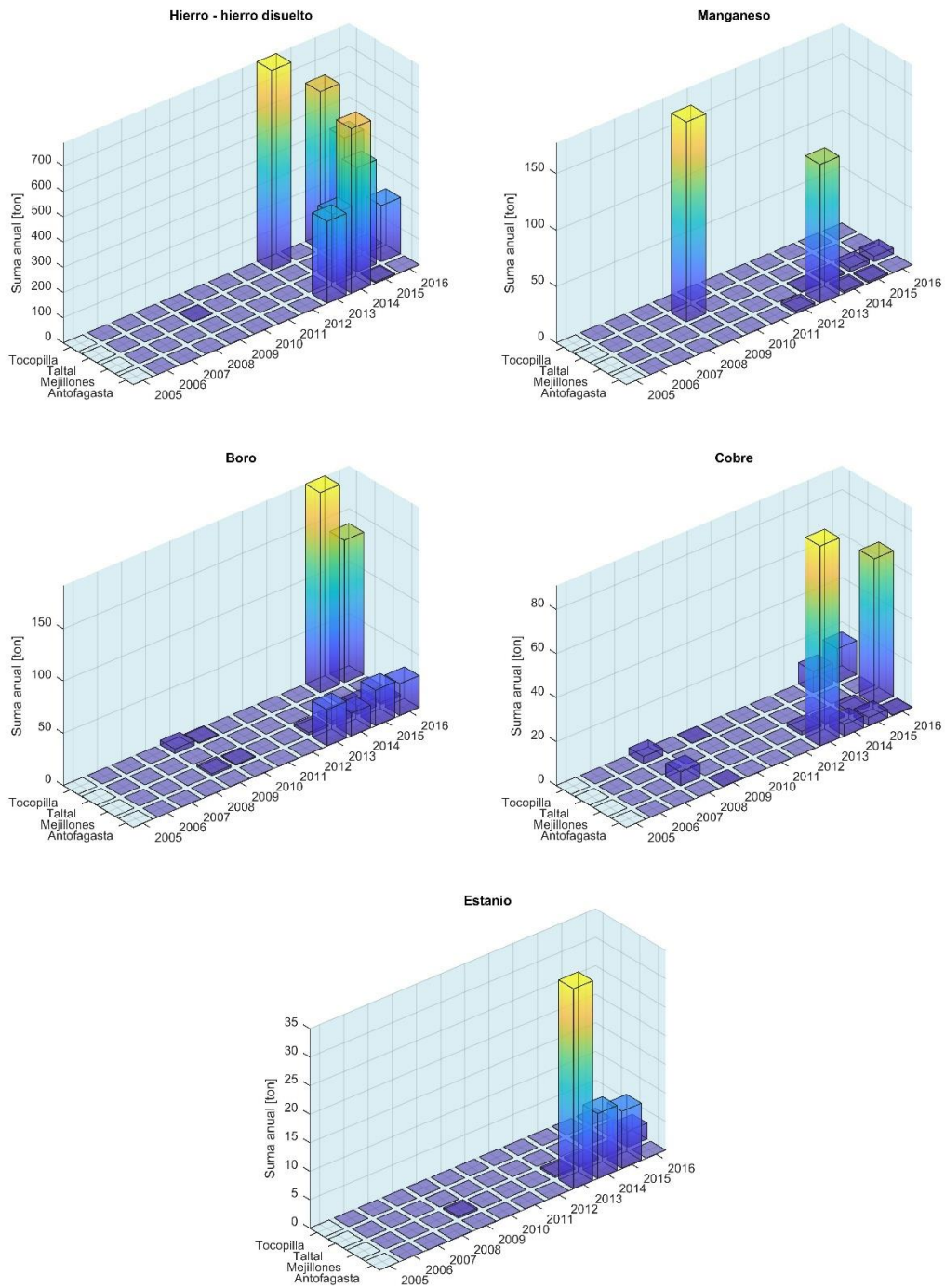


Figura 5.2-128 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de metales y metaloides en distintas comunas costeras cercanas a Antofagasta.

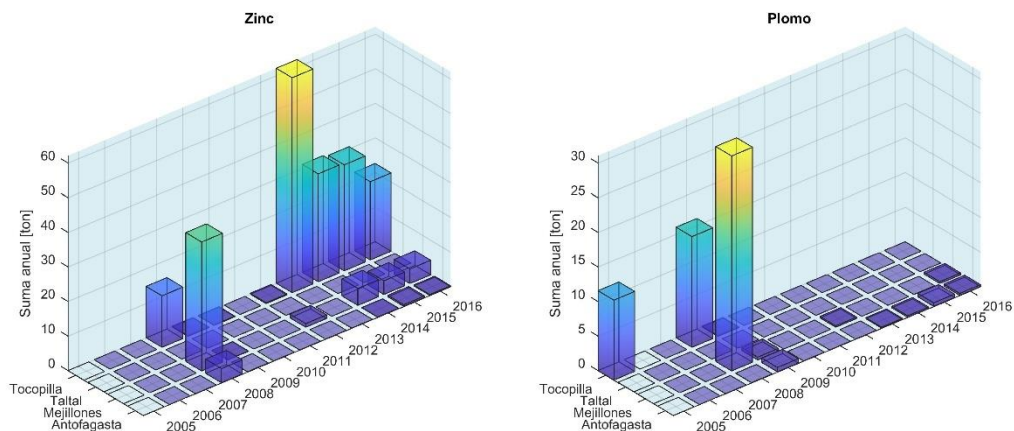


Figura 5.2-129 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de metales y metaloides en distintas comunas costeras cercanas a Antofagasta (Continuación).

La Figura 5.2-128 y la Figura 5.2-129, muestran que las emisiones hídricas de elementos metálicos en Antofagasta serían menores en otras bahías, a excepción del estaño y hierro disuelto. En el año 2013 se presentaron ciertos peaks de emisiones de cobre y manganeso, pero no guardan relación a los patrones futuros. En el caso del zinc las magnitudes de emisiones hídricas son superiores en Tocopilla y Mejillones. Por otro lado, las emisiones de plomo serían superiores en Antofagasta en los últimos años en contraste a las otras bahías (2013 en adelante), no así los años anteriores donde de forma puntual en Tocopilla y Mejillones se presentaron aumentos significativos en contraste a las demás bahías.

b) 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 5.2-15 Masa de parámetros asociados a nutrientes y productividad, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Antofagasta.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Sulfatos	-	5,19	433710,87	121524,36	555240,42
Nitrógeno Total Kjeldahl	-	4,40	6,54	14,07	25,01
Fósforo Total	-	0,34	4,21	1,89	6,44
Nitritos más Nitratos	-	0,95	-	-	0,95

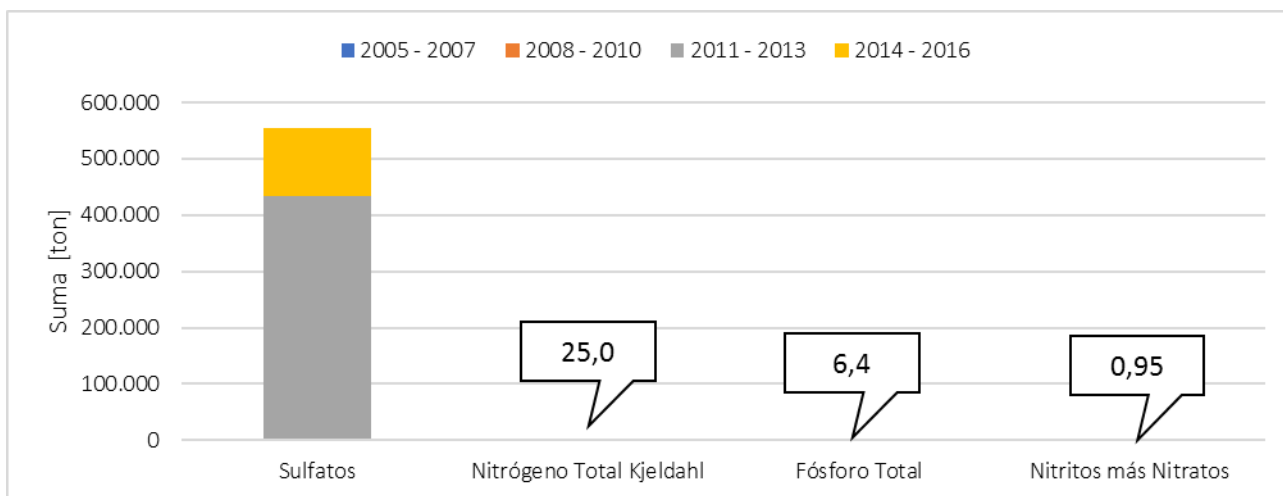


Figura 5.2-130 Masa de parámetros asociados a nutrientes y productividad, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Antofagasta.

Los resultados anteriores dan cuenta que en términos de nutrientes asociados al nitrógeno y fósforo, no existe una incorporación importante de estos elementos en todo el periodo estudiado. No curre en el caso de los sulfatos, en donde existe un aporte importante en contraste a los demás parámetros. Al analizar la procedencia de los sulfatos se observa que estos provienen de Aguas Antofagasta S.A. y Minera Escondida. Se presume que la alta concentración de sulfatos presentes se deba por la presencia natural en las aguas de captación, con depósitos salinos típicos del norte de Chile.

Al analizar el comportamiento en otras bahías, la Figura 5.2-131 muestra que en Antofagasta no existe un ingreso de nutrientes apreciable.

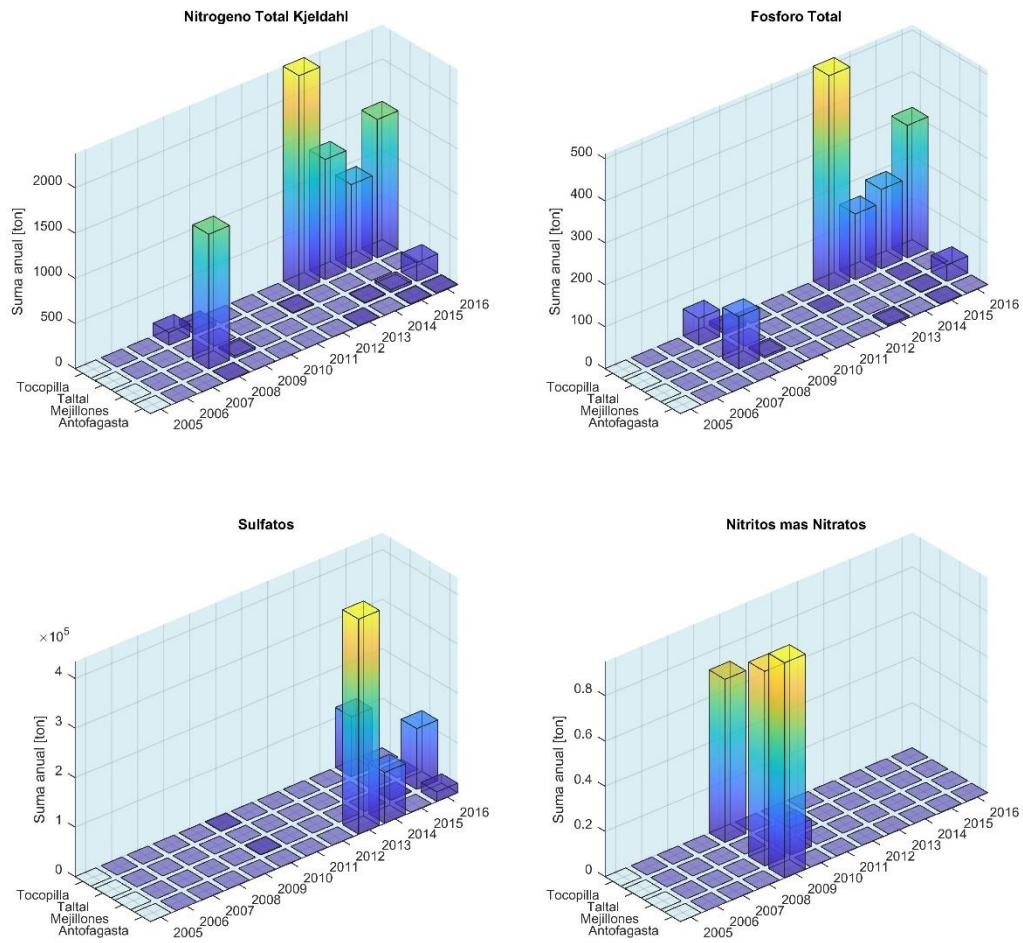


Figura 5.2-131 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de nutrientes en distintas comunas costeras cercanas a Antofagasta.

c) *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 5.2-16 Masa de parámetros físicos, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Antofagasta.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Sólidos suspendidos totales	-	9.846	9.281	13.110	32.237
Aceites y grasas	-	3.153	1.264	3.723	8.141
Sólidos sedimentables	-	36	36	4	76

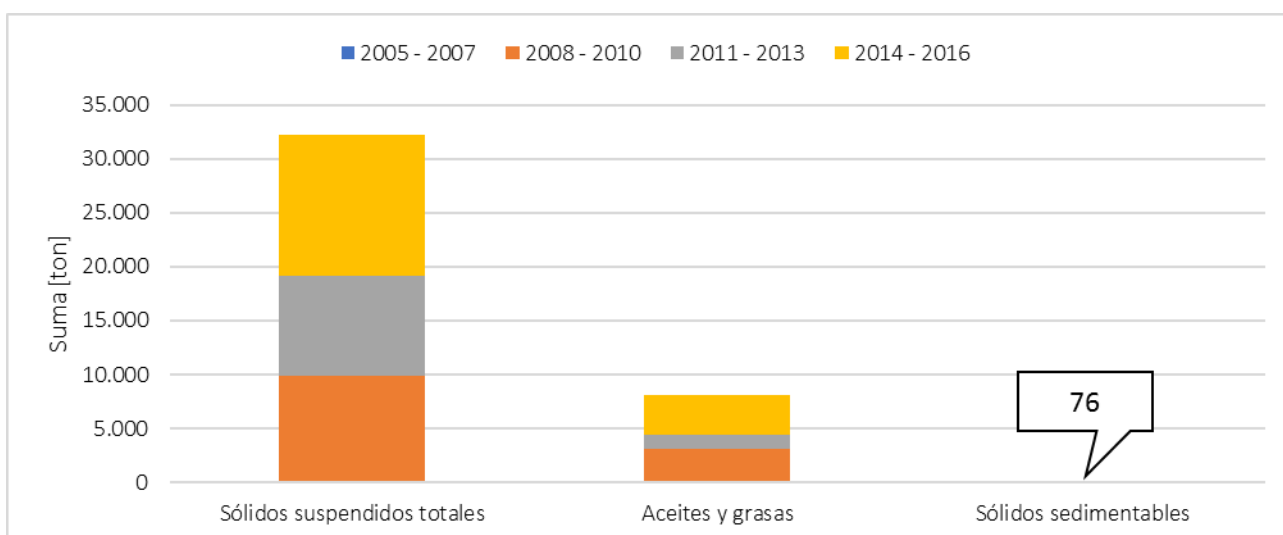


Figura 5.2-132 Masa de parámetros físicos, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Antofagasta.

Los datos anteriores indican que durante los tres periodos ha existido un aporte relativamente constante de SST y aceites y grasas sobre la comuna de Antofagasta. Al analizar la procedencia de estos tres parámetros, se observa que la Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios (ECONSA S.A.) estaría incorporando las mayores cantidades en contraste a otros establecimientos.

Comparando estos flujos máxicos con bahías cercanas (ver Figura 5.2-133) es posible identificar un patrón uniforme y constante de emisiones desde el año 2009 (exceptuando el año 2011) en la comuna de Antofagasta. Destaca el hecho de que las otras bahías presentarían aportes mayores de sólidos (tanto suspendidos como sedimentables),

mientras que los aceites y grasas serían superiores en bahía San Jorge, con ciertas cifras comparables los últimos años con bahía Algodonales (Tocopilla).

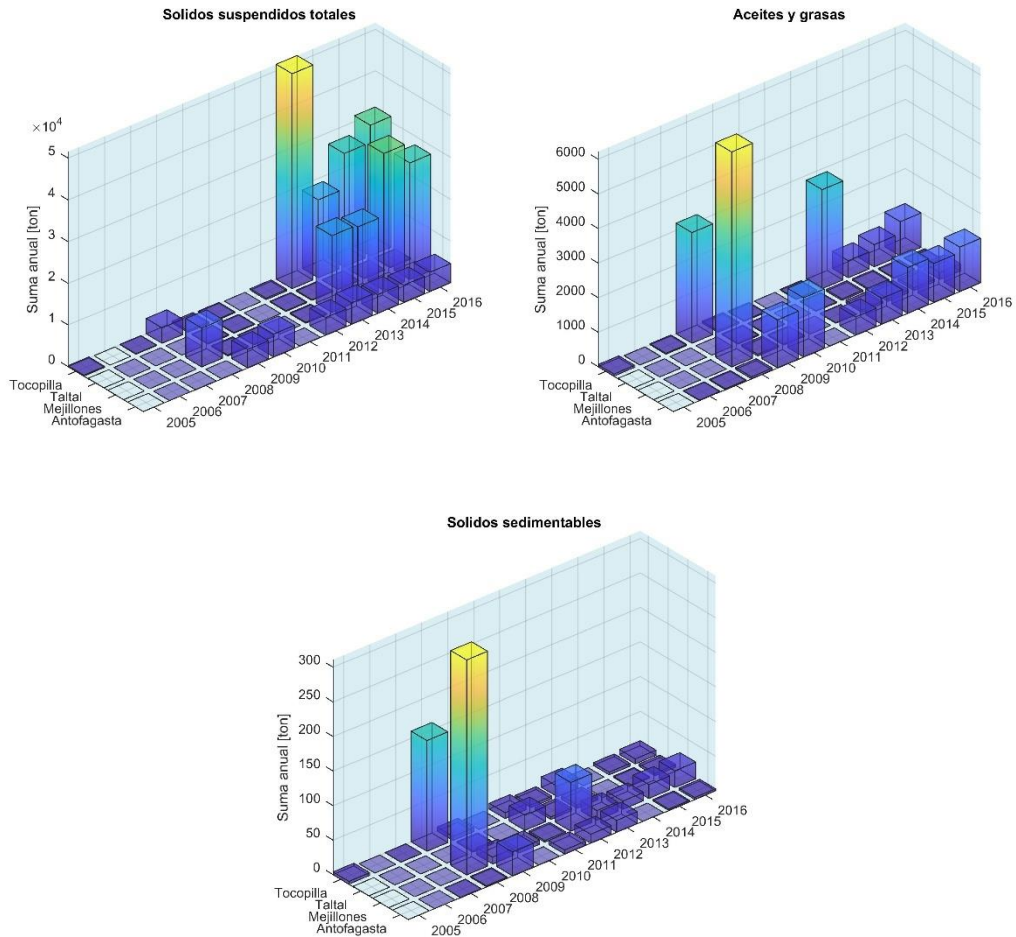


Figura 5.2-133 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de parámetros físicos en distintas comunas costeras cercanas a Antofagasta.

d) *Otros parámetros de interés ambiental*

Un total de 14 agentes categorizados como “otros parámetros de interés ambiental” han sido informados como emisiones al cuerpo receptor agua durante el 2005 al 2016. La Tabla 5.2-17 y Figura 5.2-134 dan cuenta de las cifras reportadas por las empresas a través del RETC.

Tabla 5.2-17 Masa de otros parámetros de interés ambiental, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Antofagasta.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Cloruros	-	37,52	2.930.781,04	1.355.856,71	4.286.675,27
Hidrocarburos totales	-	186,36	201,52	352,98	740,86
Sustancias Activas de Azul de Metileno	-	8,46	171,82	124,93	305,21
Fluoruros	-	0,72	175,06	54,76	230,54
Hidrocarburos volátiles	-	2,52	6,77	12,45	21,74
Sulfuros	-	0,21	0,01	4,83	5,05
Hidrocarburos fijos	-	0,01	-	-	0,01
Cianuro	-	0,04	0,01	0,07	0,12
Índice de fenol	-	0,05	0,0001	0,0006	0,05
Xileno	-	0,00020	-	-	0,00020
Tolueno - metil benceno - Toluol - Fenilmetano	-	0,00020	-	-	0,00020
Tetracloroetano	-	0,00001	-	-	0,00001
Triclorometano	-	0,00001	-	-	0,00001
Pentaclorofenol - PCP	-	0,00001	-	-	0,00001



Figura 5.2-134 Masa de otros parámetros de interés ambiental, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Antofagasta.

Se destaca las altas cantidades de cloruros, principalmente en los últimos dos periodos de estudio. Se observa que casi la totalidad de este agente proviene de la empresa Aguas de Antofagasta S.A. Cabe señalar que este agente abunda en el agua de mar, por lo que no representa un elemento de importancia en términos de potencial contaminante.

Un orden de magnitud inferior se encuentran los hidrocarburos totales, con aportes que han ido en aumento en los últimos años. Cabe destacar que el mayor aportante de hidrocarburos totales sería ECONSA S.A., lo cual no responde a sus procesos unitarios propiamente tal y su origen se deba más bien a residuos provenientes de aguas servidas de Antofagasta.

Otro agente de interés que destaca son las sustancias activas de azul de metileno (SAAM), que es un indicador de la cantidad de agentes tensoactivos que existen en el agua. Hubo un incremento en los últimos años, de 8 ton durante el periodo 2008-2010, a más de 100 ton en contraste en los últimos 2 periodos estudiados. Se aprecia que el principal emisor de tensoactivos es ECONSA S.A., el cual presenta emisiones 1 orden de magnitud superior que los demás establecimientos ubicados en la comuna de Antofagasta.

Por último, se destacan las emisiones de fluoruros, los que tienen su origen en su mayor parte de las emisiones Aguas de Antofagasta, aunque no son significativos en términos de considerarse un agente de interés.

Poniendo en contexto estos valores, la Figura 5.2-135 muestra la comparación de los cuatro mayores aportes de masa (exceptuando los cloruros) respecto a bahías cercanas, donde puede verse que Antofagasta tiene un comportamiento diferente en cuanto a los flujos máxicos que ingresan, donde las cifras son inferiores entre 1 a 2 órdenes de magnitud, a excepción del SAAM el cual presenta emisiones superiores en otras bahías, siendo superada solo por Tocopilla durante el 2014 y 2015. Lo anterior indica que Antofagasta se caracterizaría por emisiones de tensoactivos a bahía San Jorge en comparación a otros sectores.

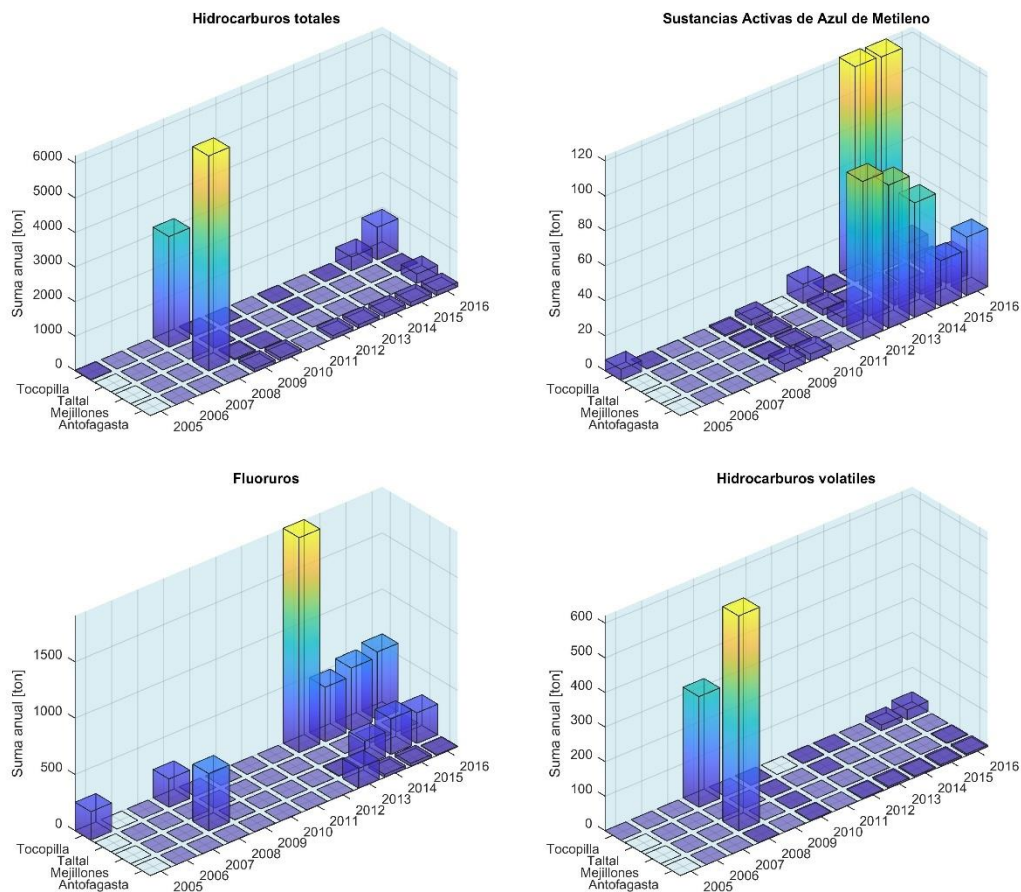


Figura 5.2-135 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de otros parámetros de interés ambiental en distintas comunas costeras cercanas a Antofagasta.

5.2.2.2 Desembarque artesanal

En una escala regional, los mayores desembarques se asocian al grupo de las algas y peces (Figura 5.2-136). El orden decreciente de los desembarques corresponde a algas>peces>moluscos>crustáceos>erizos y piures (Figura 5.2-137; Figura 5.2-138; Figura 5.2-139; Figura 5.2-140; Figura 5.2-141).

En una escala local, los desembarques por caletas indican que los mayores desembarques de algas han sido declarados por caleta Coloso (Figura 5.2-142). Los mayores desembarques de peces han sido declarados por caleta Antofagasta (Figura 5.2-143). Los desembarques de moluscos en orden decreciente corresponden a: caleta Antofagasta>caleta Coloso>Caleta La Chimba>Juan López (Figura 5.2-144). Los mayores desembarques de crustáceos han sido declarados por caleta Coloso (Figura 5.2-145). Los mayores

desembarques de erizos y piures han sido declarados por caleta Antofagasta (Figura 5.2-146).

Con respecto a las especies principales en cada uno de los grupos mencionados anteriormente, en las algas se ha registrado mayoritariamente el Huiro palo. Entre los peces se ha registrado mayoritariamente la Sardina española, Albacora y el Bonito. Entre los moluscos se ha registrado mayoritariamente el Pulpo, Loco, Lapa y Locate.

Por otra parte, en el área de estudio a enero de 2018 existen 4 Áreas de Manejo y Extracción de Recursos Bentónicos (AMERB`s) decretadas y distribuidas de norte a sur: ColoColo, Abtao, La Portada, La Chimba. También, actualmente están en etapa de evaluación la solicitud de 2 áreas de manejo; Caleta La Chimba y Península Guamán. Las áreas de manejo Punta Jorge y Playa Brava están rechazadas por la autoridad correspondiente (SUBPESCA). (Figura 5.2-147).

Los recursos principales extraídos en las áreas de manejo administradas por Caleta Antofagasta corresponden a Lapa negra, Lapa rosada, Loco y Erizo. Los recursos principales extraídos en las áreas de manejo administradas por Caleta Coloso corresponden a Pulpo del norte, Loco y Erizo. Ambas administraciones cuentan con registros declarados entre los años 2003 y 2011, por lo tanto, la mayoría de los recursos se extraen desde áreas no administradas como AMERB (Figura 5.2-146, Figura 5.2-148, Figura 5.2-149).

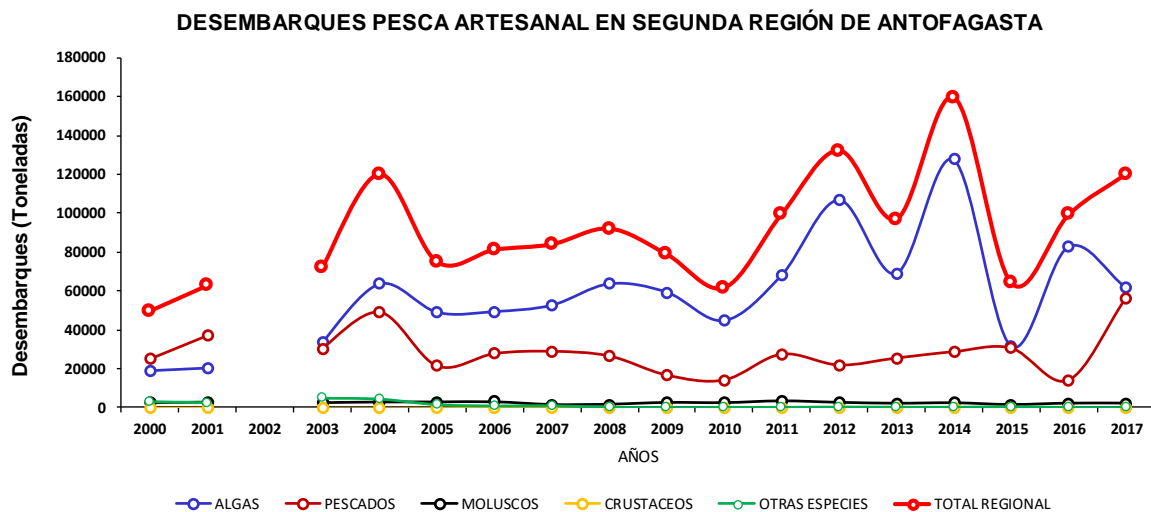


Figura 5.2-136 Desembarques declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta.

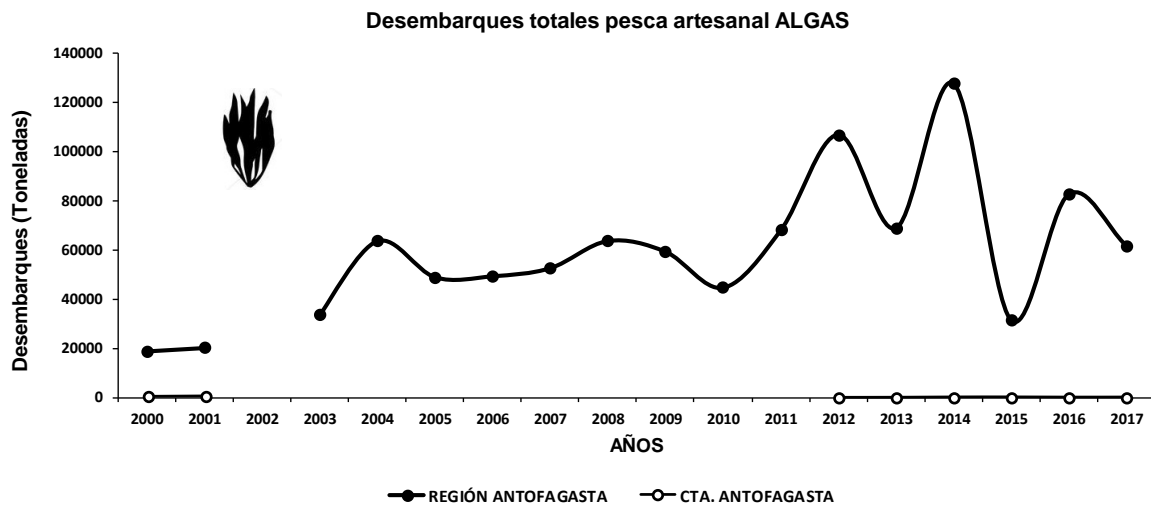


Figura 5.2-137 Desembarques de algas declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta.

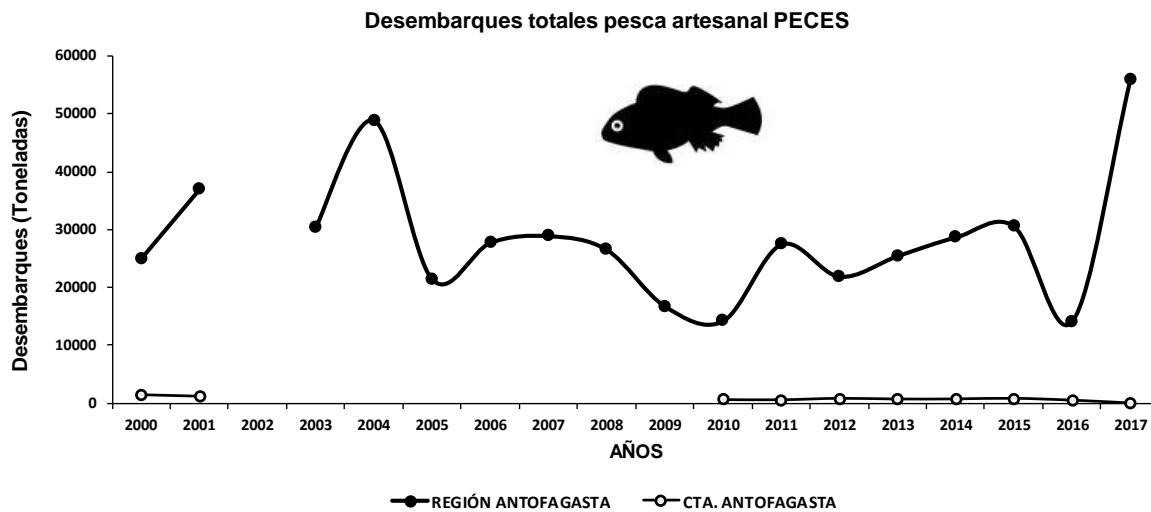


Figura 5.2-138 Desembarques de peces declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta.

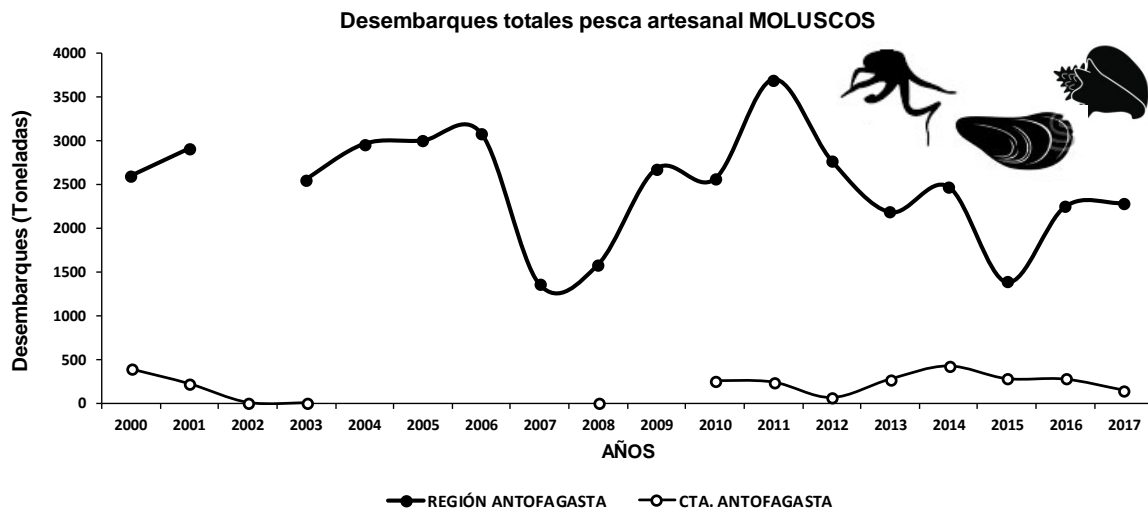


Figura 5.2-139 Desembarques de moluscos declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta. Desembarques de moluscos por caleta.

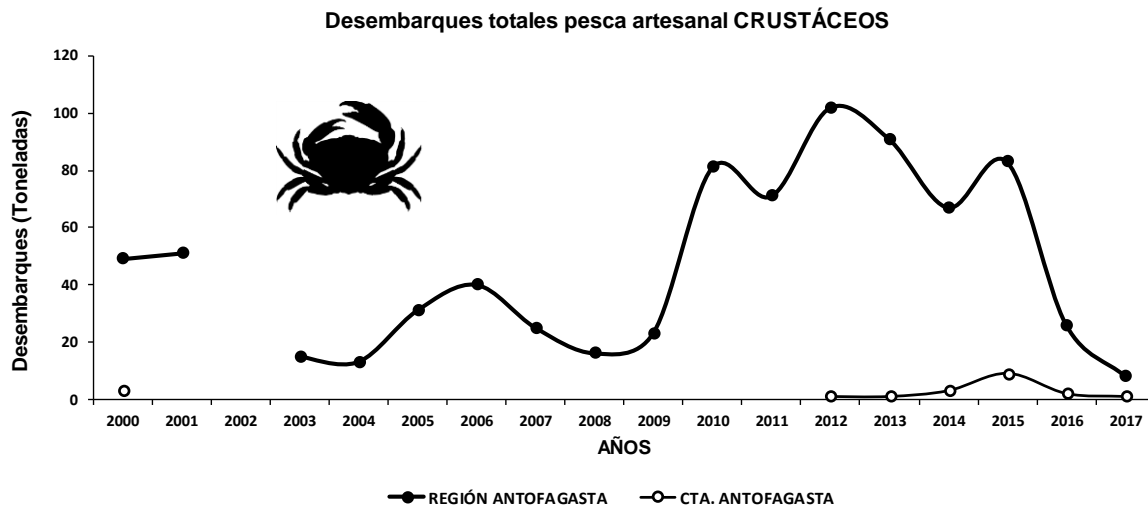


Figura 5.2-140 Desembarques de crustáceos declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta.

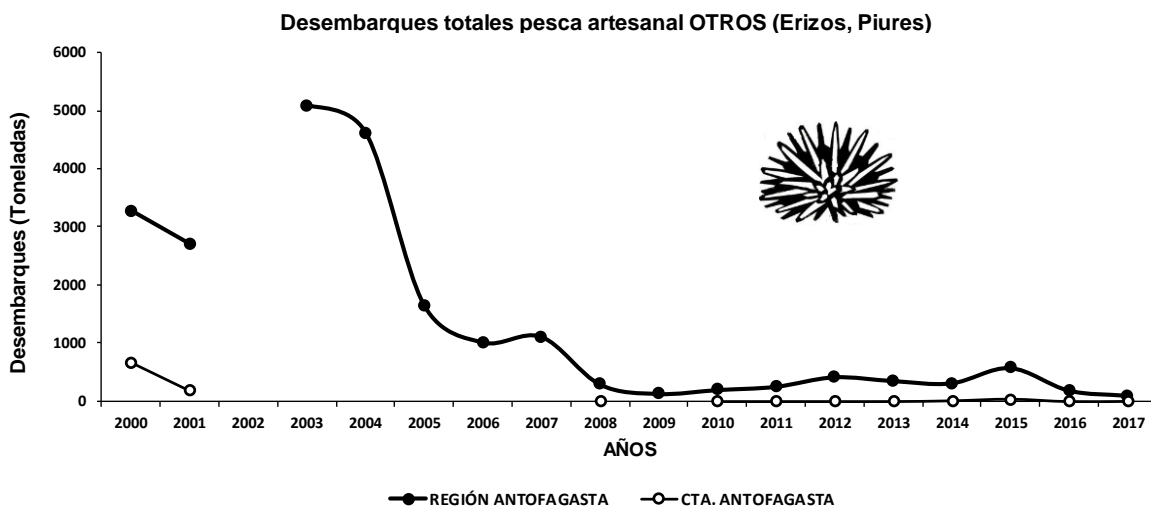


Figura 5.2-141 Desembarques de erizos y piures declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta.

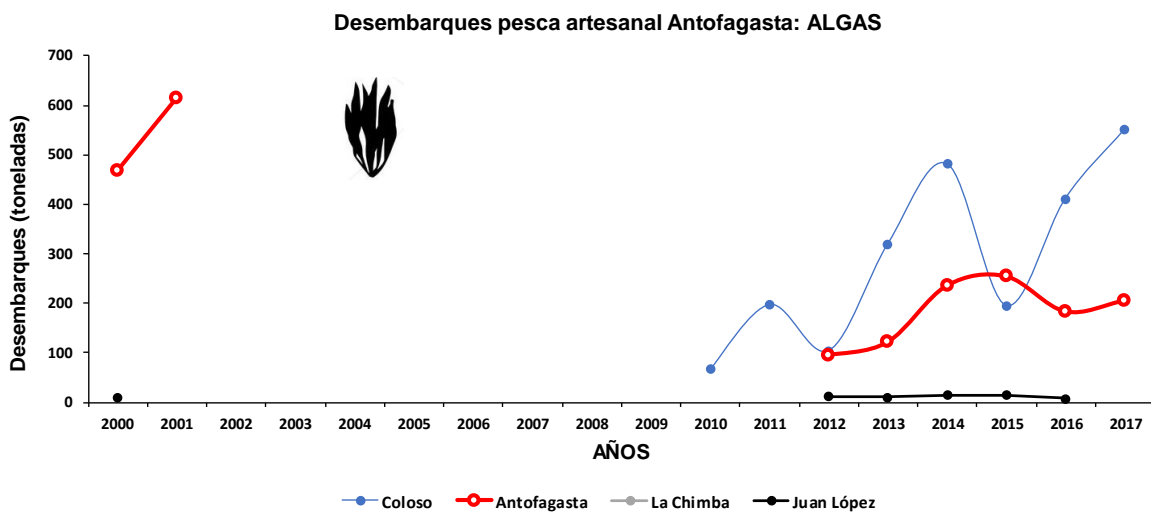


Figura 5.2-142 Desembarques declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta. Desembarques de algas por caleta.

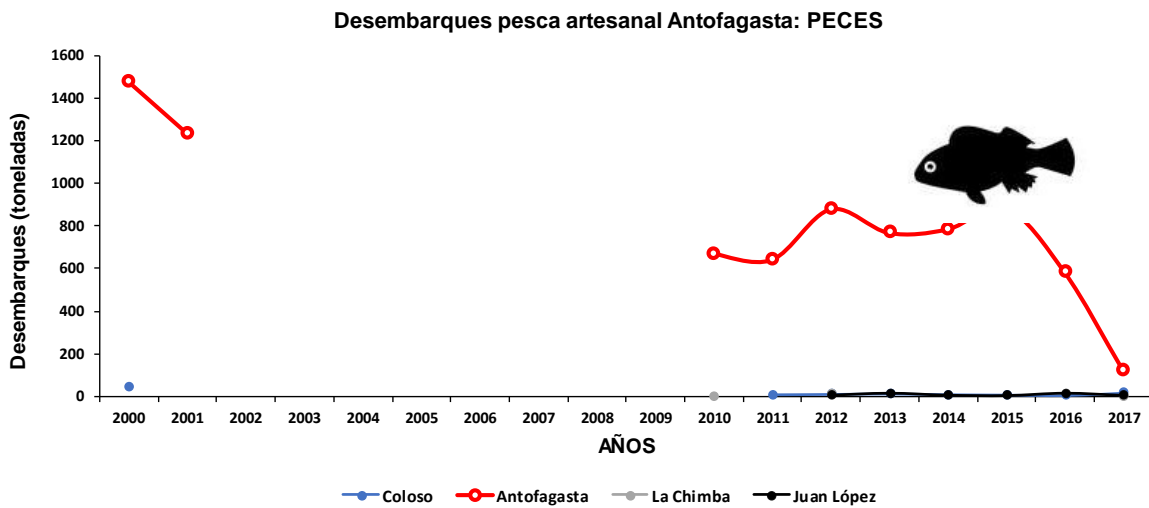


Figura 5.2-143 Desembarques declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta. Desembarques de peces por caleta.

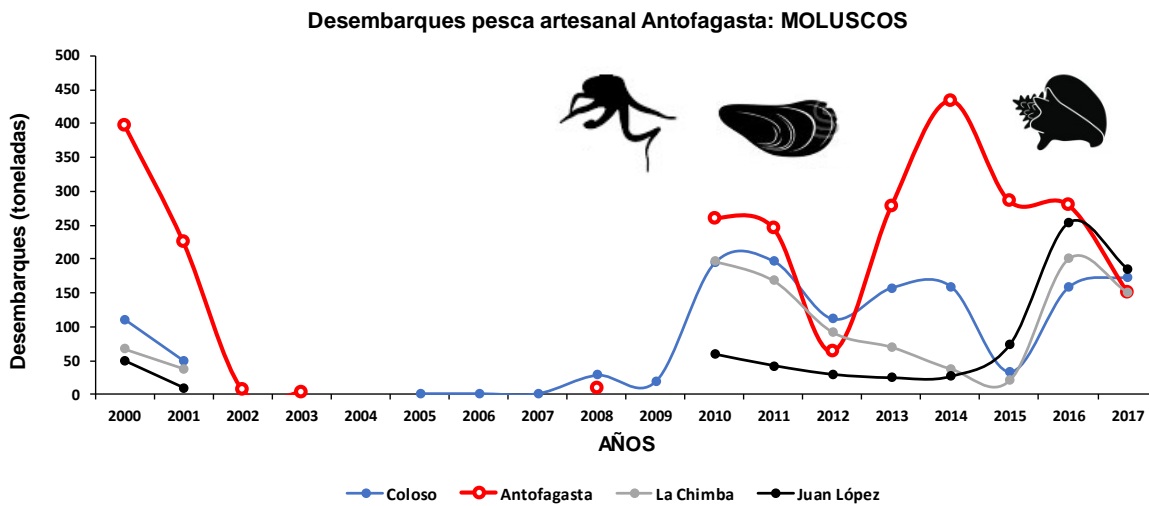


Figura 5.2-144 Desembarques declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta. Desembarques de moluscos por caleta.

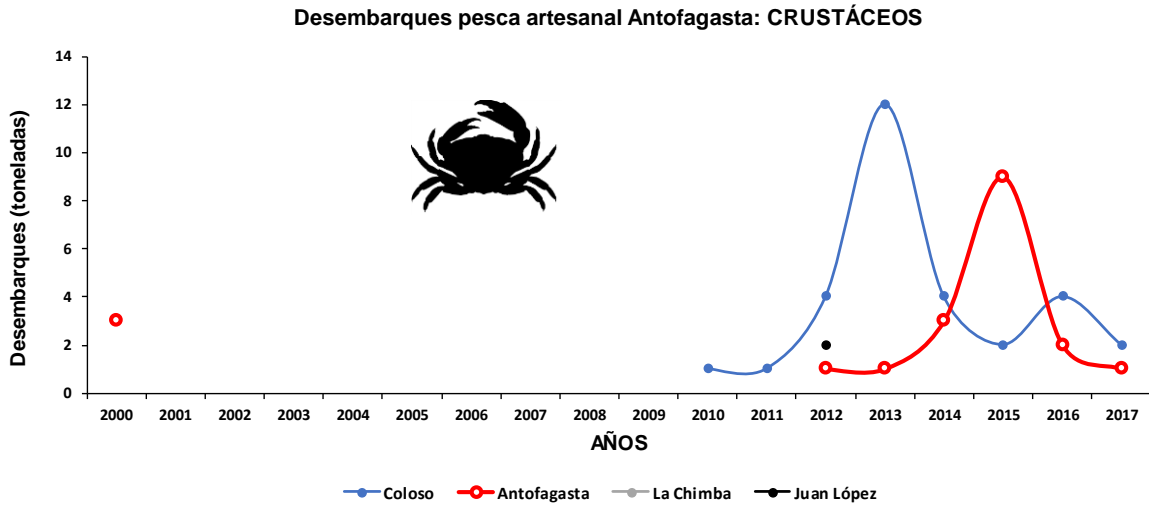


Figura 5.2-145 Desembarques declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta. Desembarques de crustáceos por caleta.

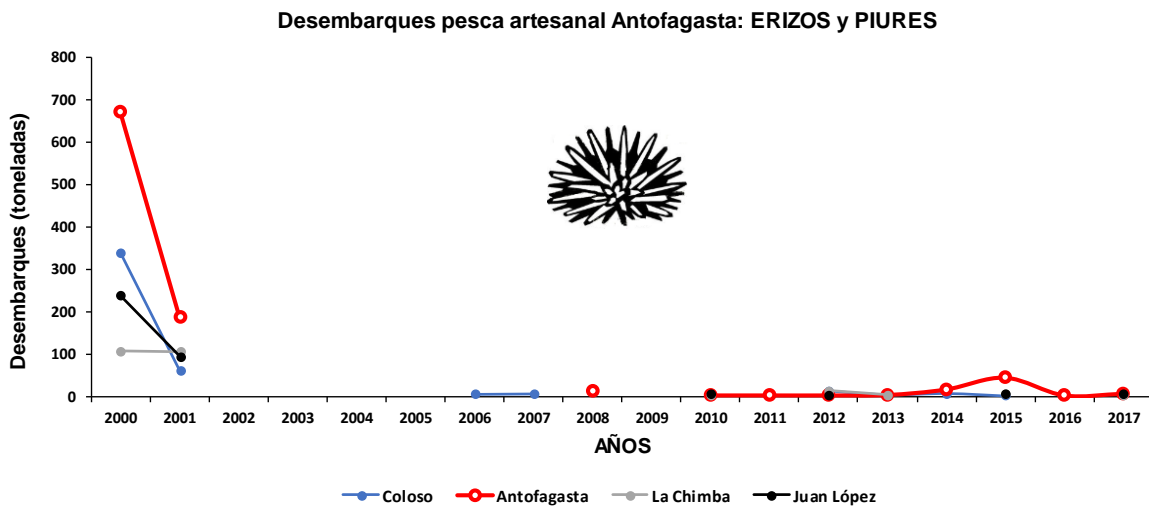


Figura 5.2-146 Desembarques declarados a SERNAPESCA por la pesca artesanal en la segunda región de Antofagasta. Desembarques de erizos y piures por caleta.

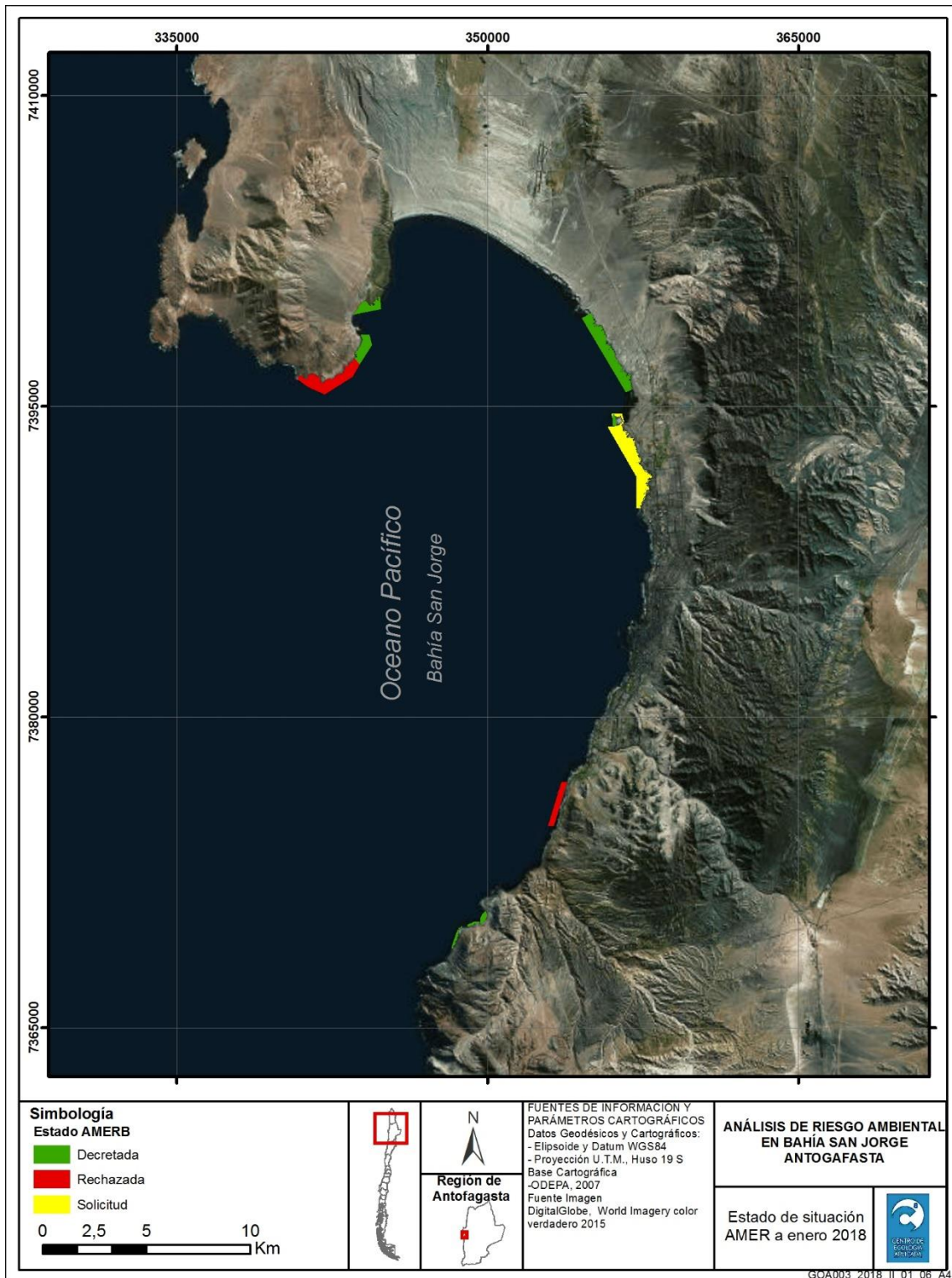


Figura 5.2-147 Distribución espacial y estado de situación a enero 2018 de las Áreas de Manejo y extracción de Recursos Bentónicos. Bahía San Jorge, Antofagasta.

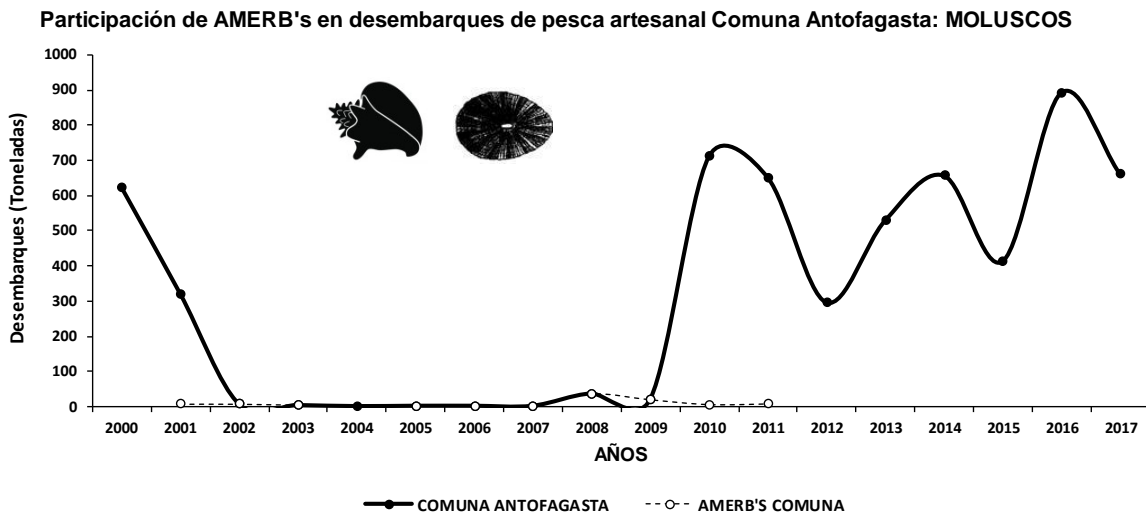


Figura 5.2-148 Desembarques de moluscos declarados a SERNAPESCA, provenientes de las Áreas de Manejo y Extracción de Recursos Bentónicos.

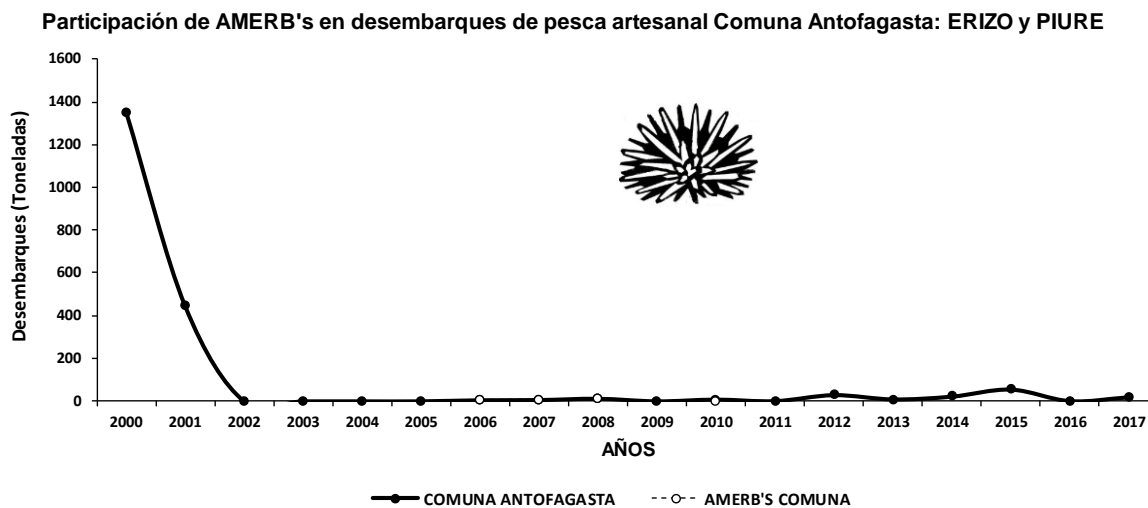


Figura 5.2-149 Desembarques de erizos y piure declarados a SERNAPESCA, provenientes de las Áreas de Manejo y Extracción de Recursos Bentónicos.

5.2.3 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\0_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.

5.2.4 Discusión y conclusión

A continuación se presenta un consolidado de la discusión y conclusiones de los elementos clave que permitirán dar un mejor enfoque en la identificación del o los problemas ambientales que supongan un riesgo tanto al ecosistema como también a la salud de las personas.

La columna de agua de la bahía San Jorge, en términos de los parámetros de condición instantánea tales como: DBO5, Oxígeno Disuelto, pH, Potencial Redox y Temperatura no presentaron una variación temporal definida. Cabe destacar que la bahía posee un Potencial Redox positivo, es decir, oxidante. En cuanto al pH se tiene que el agua es ligeramente alcalina (pH entre 7,38 y 8,22) y que la totalidad de los registros históricos están dentro de los límites sugeridos por el D.S. N°144/2009, EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration) y CCME/2007 (Canadian Council of Ministers of the Environment).

Entre los parámetros definidos como “otros de interés ambiental”, destacan los Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Disueltos Totales que presentaron una tendencia a la disminución dentro de los últimos años de monitoreo. Los valores más elevados de concentración se registraron en la zona cercana al Puerto de Antofagasta, entre los puntos de referencia 3 y 4, es decir, entre Puerto y Centro de Bahía, respectivamente.

Considerando los agentes contaminantes no metálicos, se puede inferir que el ion Amonio presentó una tendencia clara de disminución luego de un peak de concentración entre los años 1997 y 1998, con valores gradualmente menores hasta la actualidad. En el caso de los Hidrocarburos Totales de Petróleo todos los registros están por debajo de diversos límites de detección (<1,0 y <10 mg/L), por lo tanto, no se puede analizar variación temporal. Al igual que los “otros parámetros de interés ambiental”, las mayores concentraciones se registraron entre el sector Puerto y Centro de Bahía.

Por otra parte, en lo que se refiere a los nutrientes, el Nitrógeno en su forma oxidada como Nitrato no presentó grandes variaciones, manteniéndose constante la concentración con un peak en el año 2004. Para el caso del Fósforo Total se observó un patrón de disminución, con concentraciones más altas durante 1994. La distribución espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía muestra que los registros más altos se presentan entre los puntos de referencia 3 y 4.

Las concentraciones de bacterias Coliformes Fecales y Coliformes Totales no presentaron una tendencia o patrón definido, solo concentraciones mayores en el período 1995-1996. Históricamente las mayores concentraciones se han registrado en el sector Puerto. En relación con las concentraciones máximas permitidas por los distintos cuerpos normativos analizados, se tiene que el 1,76% de los registros históricos superan el valor máximo establecido en la normativa nacional por el D.S. N°144 del 2009 para Coliformes Fecales en agua marina.

En zonas industrializadas y portuarias, los residuos de dicha actividad usualmente contienen una alta carga de metales pesados, lo que, eventualmente, puede modificar las concentraciones naturales presentes en los ambientes marinos. A pesar de que diversos metales participan de diferentes procesos metabólicos, un aumento de sus concentraciones puede resultar en efectos tóxicos para las comunidades de organismos marinos y, eventualmente, para la población humana (Moore & Ramamoorthy 1984).

El análisis de la variación temporal histórica de las concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua de la bahía San Jorge arrojó que las fracciones totales de Cobre, Cromo, Plomo y Zinc presentaron un claro patrón de disminución, donde los valores más elevados se registraron al comienzo del período de medición (aproximadamente entre los años 1993 y 2003). Cabe mencionar que los registros de Cobre Disuelto mostraron un aumento de las concentraciones desde el año 2014. Por otro lado la fracción disuelta de Zinc presentó un patrón de ciclicidad, donde las concentraciones más elevadas se registraron en los extremos del período estudiado, en los años 2007 y 2010. En el caso del Plomo y Cromo Disueltos, los valores más elevados se registraron entre los años 2007 y 2008. Las fracciones totales y disueltas de Mercurio se mantienen estables en el tiempo, mientras que las de Arsénico y Cadmio mostraron que no existe un patrón histórico definido.

En cuanto a la variación espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones de Arsénico Disuelto y Total, Cromo Disuelto, Hierro Disuelto y Zinc Total se presentaron en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto. Asimismo, en el caso del Cadmio Total, Cobre Disuelto y Total, Cromo Total, Mercurio Disuelto, Plomo Total y Zinc Disuelto los mayores registros se presentaron entre los puntos de referencia 3-Puerto y 4-Centro de Bahía. Finalmente las concentraciones más elevadas de Cadmio y Plomo Disuelto se registraron a lo largo de toda la bahía San Jorge, entre los puntos de referencia 1 y 7, es decir, entre Coloso y La Rinconada, respectivamente.

En relación con los umbrales máximos permitidos por las normas nacionales e internacionales analizadas para metales en la columna de agua, se observó que las fracciones disueltas de Cadmio, Cobre, Mercurio y Zinc registran un alto porcentaje de excedencia en algunos de estos umbrales. En el caso de la normativa canadiense CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007) se observó que el 54,1% de los registros históricos de Cadmio superaron el límite máximo. Igualmente se registró que la norma de Australia y Nueva Zelanda (2000) fue sobrepasada por un 92,0% de los registros de Cobre y un 3,21% de los valores de Zinc. El criterio EPA WQG/2009 CCC (concentración más alta ante la cual en una comunidad acuática puede estar expuesta indefinidamente sin que ello resulte en un efecto inaceptable) fue superado por un 19,0% de los registros de Cobre y un 11,3% de las mediciones de Mercurio. Asimismo un 12,6% de los registros de Cobre sobrepasa el criterio EPA WQG/2009 CMC (concentración más alta ante la cual una comunidad acuática puede ser expuesta brevemente sin que ello resulte en un efecto inaceptable). Es preciso mencionar que el Cobre Disuelto es el parámetro que sobrepasa la mayor cantidad de normativas y en mayor proporción. Por otro lado; Arsénico Disuelto, Cromo Total, Plomo Disuelto y Vanadio Total registraron la totalidad de sus valores bajo los límites máximos sugeridos por las normativas.

Chile carece de una normativa de calidad de sedimentos acuáticos y organismos marinos de consumo humano, lo que impide una aplicación eficiente de medidas de control de la actividad antrópica desarrollada en los ambientes costeros (Calderón & Valdés, 2012).

Los sedimentos submareales de la bahía San Jorge, en términos de parámetros de condición instantánea tales como: pH, Potencial Redox y Temperatura presentaron un sedimento ligeramente alcalino entre 7,50 y 8,20 unidades. El Potencial Redox, al igual que el de la columna de agua, es oxidante.

En cuanto a los Hidrocarburos Totales de Petróleo, se observó que la variación temporal muestra una tendencia al aumento dentro de los últimos años de monitoreo. Es necesario señalar que no existen valores de concentración para sedimentos submareales en la legislación revisada.

En lo que se refiere a parámetros de productividad y nutrientes, la concentración de Fósforo y Nitrógeno Total han variado temporalmente según un patrón de disminución, donde las mayores concentraciones se registraron al comienzo de la medición, entre los años 1994 y 1996. Además, considerando la distribución espacial de las concentraciones dentro de los sectores de la bahía, se observó que los valores más altos se presentaron en el punto de referencia 3, es decir, en el sector Puerto. La Materia Orgánica presentó valores promedios menores al 10% con excepción de un máximo de 31,9% registrado en el punto 110-S-An en el año 2002.

El conocimiento de la distribución de los metales traza en los sedimentos, permite determinar su disponibilidad en el sistema marino (Cosma et al., 1982), ya que su inclusión

en esta matriz ambiental representa un importante reservorio de metales desde donde pueden, eventualmente, retornar a la columna de agua por procesos de difusión y mezcla, actividad de los organismos bentónicos y resuspensión (Meyerson et al., 1981). Adicionalmente, la biodisponibilidad de metales en los sedimentos tiene una acción directa sobre algunas especies acuáticas, muchas de las cuales acumulan altas concentraciones con efectos crónicos en sus poblaciones (Acosta et al., 2002).

En general, las concentraciones históricas de los distintos metales y metaloides estudiados en los sedimentos submareales de la bahía San Jorge, indican que existe un patrón de disminución en la variación temporal para el Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc donde las mayores concentraciones fueron registradas al comienzo del periodo de medición en la década de los 90. Por el contrario, el Arsénico y Cromo presentaron un patrón de crecimiento para el último período de monitoreo y es en esta etapa donde la mayor cantidad de muestras superaron las normativas nacionales e internacionales. Por otra parte, el Mercurio no ha presentado un patrón claro de evolución y los registros de Hierro mostraron las mayores concentraciones entre el 2014 y 2015 evidenciando un patrón de disminución hacia el 2018.

En cuanto a la distribución espacial de las concentraciones de todos los metales pesados analizados, se observó que los valores más altos se presentaron en el punto de referencia 3-sector Puerto.

El análisis con respecto a las concentraciones máximas permitidas por los cuerpos normativos analizados mostró que todos los metales superaron el límite máximo permitido por la normativa nacional definido por el MOP (1994), el cual se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de Arsénico, Cobre, Mercurio y Plomo. Ordenados de mayor a menor porcentaje, según los registros históricos por sobre la normativa, se tiene que Cu (58,2%) > Zn (49,4%) > Pb (44,3%) > Cd (42,9%) > Hg (39,2%) > Cr (7,39%) > As (4,81%). Por otra parte, el valor más restrictivo es presentado por la norma canadiense de calidad de sedimentos para protección de la vida acuática (CCME, 2002), el valor ISQG (concentración bajo la cual raramente ocurren efectos biológicos adversos en la biota) es superado por todos los metales y ordenados de la misma manera que anteriormente se tiene que Cu (83,5%) > Pb (61,1%) > Zn (51,0%) > Cd (48,9%) > Hg (46,6%) > As (33,2%) > Cr (7,67%). Es necesario señalar que para el caso del Hierro no existen valores normados en la legislación revisada.

Cobre, Plomo y Zinc son los metales que tienen un mayor porcentaje de registros históricos por sobre la normativa (nacional e internacional) en sedimentos. Dichos metales constituyen los principales productos de la actividad minera que son almacenados y exportados, como concentrado y otras formas, a través de los dos puertos existentes en la bahía. En general, la distribución de estos 3 metales dentro de la bahía San Jorge sugiere que las actividades antrópicas desarrolladas en la zona costera tienen un impacto sobre el contenido de metales en los sedimentos marinos, y que los puertos de embarque de

mineral revisten un riesgo para las comunidades de organismos bentónicos (Calderón & Valdés, 2012).

En el “Estudio Levantamiento De Información Para El Control Ambiental De La Bahía De San Jorge” (FNDR-CONAMA, 2012) se señala que “Los sedimentos de la bahía San Jorge presentan cargas importantes de metales pesados, siendo una parte de ellos consecuencia de los aportes naturales producidos en el ambiente marino. Sin embargo, existen metales como el Cu, Zn y Pb que evidencian un enriquecimiento asociado a la actividad de embarque de minerales que se desarrolla en la bahía. Los sectores que evidenciaron este enriquecimiento corresponden a Coloso Puerto Antofagasta y Petroleras.”

Finalmente, considerando todas las variables anteriores, se efectuó una selección de 6 elementos potencialmente contaminantes: **Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo y Zinc**. Esta preselección es analizada en detalle en la Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE) y a la Salud (ERSH), en los acápite siguientes.

En el caso del impacto de estas concentraciones en la componente biótica, hasta la fecha se han registrado 3 fuentes de información que contienen datos de metales en organismos: i) POAL, ii) Castro and Valdés 2012 y iii) Valdés et al. 2014. Todas con énfasis en organismos bentónicos, tanto del ambiente submareal como del ambiente intermareal. No se registran análisis de contenido de metales en peces.

Los datos provenientes del POAL corresponden a un muestreo sistemático, que considera 3 puntos de muestreo y una serie temporal desde el año 1993 hasta el 2017. Los análisis son realizados en tejido de Chorito maico.

Los datos provenientes de publicaciones científicas corresponden a muestreos puntuales realizados en el año 2009. Los análisis son realizados en tejidos de diferentes organismos bentónicos, en función de su ubicación en las redes tróficas.

El contenido de los metales As, Cu y Pb en tejido de Chorito maico, supera los límites establecidos por el DS 977/96 y por las referencias de la FAO/OMS y La Unión Europea. Esto ocurre en la mayoría de los puntos de muestreo y en la mayoría de las campañas de muestreo.

Las mayores magnitudes y varianza del contenido de los metales As, Cd, Cr, Hg y Zn en Chorito maico, ocurren en el punto de muestreo ubicado al sur del Puerto de Antofagasta.

Las mayores magnitudes y varianza del contenido de Cu en Chorito maico, ocurren en el punto de muestreo ubicado inmediatamente al norte del Puerto de Antofagasta.

Las mayores magnitudes y varianza del contenido de Pb en Chorito maico, ocurren en los puntos de muestreo ubicado al sur e inmediatamente al norte del Puerto de Antofagasta.

Al considerar el contenido de metales en el tejido de la Pulga de mar, en general, las mayores magnitudes de los metales analizados se observaron en los organismos recolectados desde Playa Paraíso. En ambos sectores de muestreo los organismos presentaron mayor contenido de Plomo en comparación con el resto de los metales. El contenido de Plomo en los organismos provenientes de ambos sectores, supera los límites establecidos por la normativa nacional DS. 977/96 (2 mg/Kg) y la referencia de la Unión Europea (1,5 mg/Kg).

Al considerar en análisis de metales en organismos con un enfoque en las redes tróficas, se observó biomagnificación de Cu y Zn en las especies carnívoras *H. helianthus* (Sol de mar), *Octopus* sp. (Pulpo), *L. magallanica* (Estrella negra) y *Concholepas concholepas* (Loco) en La Chimba. La biomagnificación de Pb se observó en *H. helianthus* en Carrizo y La Chimba, y solamente en los carnívoros *Octopus* sp. y *L. magallanica* en La Chimba. En el caso de Carrizo, se observaron elevados valores de biotransferencia de Pb en la secuencia *Fissurella* sp., *Crassilabrum* sp. y *H. helianthus*, lo cual sugiere un proceso de biomagnificación efectivo.

Los procesos de biomagnificación de Cu y Pb registrados en Carrizo, La Chimba y La Rinconada coinciden con las máximas concentraciones de estos metales registradas dentro de la bahía San Jorge, lo cual sugiere una cierta influencia de la carga de metales en los sedimentos donde viven estos organismos bentónicos.

Con respecto a la normativa asociada al consumo humano de recursos marinos, los contenidos de Plomo y Cobre exceden los límites establecidos por la referencia nacional DS. 977/96, en los recursos Loco, Pulpo, Locote, Lapa, Ostión y Navajuela. Lo anterior adquiere mayor relevancia al considerar que estos recursos representan los mayores desembarques de la pesca artesanal, constituyendo una potencial vía de exposición del ser humano a metales por ingesta de éstos, sin embargo, estos resultados se deben tomar con cautela porque provienen de muestreos puntuales que carecen de replicabilidad temporal.

El análisis de los desembarques artesanales de recursos marinos indicó que el orden decreciente (Toneladas anuales) corresponde a: algas>peces>moluscos>crustáceos>erizos y piures. El análisis por caletas indicó que: i) Caleta Coloso presenta los mayores desembarques de algas y crustáceos, ii) Caleta Antofagasta presenta los mayores desembarques de peces, moluscos, erizos y piures. Con respecto a las especies principales en cada uno de los grupos mencionados anteriormente, se registra lo siguiente: i) Algas_Huiro ii) Peces_Sardina española, Albacora y el Bonito, iii) Moluscos_Pulpo, Loco, Lapa y Locate.

En relación con los flujos de origen antrópico, a través de los datos del RETC, se identificó que la comuna de Antofagasta presenta ingresos de materiales metálicos a la bahía a través de RILES que no guardan relación a los procesos unitarios de las empresas que los emiten, por cuanto éstas se encuentran asociadas al rubro Eliminación de desperdicios y aguas

residuales- saneamiento y actividades similares (plantas de tratamiento de aguas). Los metales y metaloides que más se emiten serían hierro, manganeso, boro, cobre y estaño, pero no tendrían significancia en términos de cantidad al compararlo con otras bahías, a excepción del boro que presenta un aporte constante durante los últimos años. No se aprecia un aporte de nutrientes ni de otros parámetros que afecten la física del medio marino, no ocurre así con el indicador de tensoactivos que muestra aportes mayores en la comuna de Antofagasta en comparación a las demás bahías colindantes, por lo que se debe tener especial atención a este agente, el cual también tiene su origen en los emisarios asociados a la industria de saneamiento de aguas.

5.3 Objetivo Específico 2 (OE-2)

OE2: Definir el modelo conceptual de las sustancias potencialmente contaminantes que puedan producir efectos negativos en las matrices ambientales agua, sedimento y biota.

5.3.1 Definición de parámetros objetivo

5.3.1.1 Identificación de elementos potencialmente contaminantes

Como se mencionó en la caracterización del área de estudio, en el análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento se logró identificar 6 agentes potencialmente contaminantes. A continuación, se analizan estos elementos en función de su disponibilidad en el medio como también de su toxicidad.

Entre los contaminantes más perjudiciales del ambiente se encuentran los metales pesados, ya que éstos no se degradan, sino que permanecen en él por tiempo indefinido. Al mismo tiempo se ha demostrado que dichos elementos producen daños morfológicos y fisiológicos en los organismos. Los sedimentos de los cuerpos acuáticos son los depósitos preferidos por los metales pesados, por lo que es posible encontrarlos en altas concentraciones, cuando éstos se encuentran como contaminantes en las aguas (González, 1996).

En la actualidad se acepta de forma generalizada que la distribución, movilidad, disponibilidad biológica y toxicidad de los elementos químicos no es función de la concentración total de los mismos, sino que dependen de la forma química en la que se encuentren (Carusso J.A. et.al, 2003; Hirose, K. 2006). Es necesario conocer las especies químicas de los elementos para comprender las reacciones químicas y bioquímicas en las que intervienen, y, por tanto, obtener información relativa al carácter esencial y tóxico de los elementos químicos. Los análisis de especiación se convertirán en una herramienta esencial para la evaluación de riesgos en el medioambiente, permitiendo que se realicen diagnósticos y controles de los elementos trazas más efectivos. En última instancia, este tipo de investigación puede dar lugar a una legislación ambiental basada en la concentración máxima permisible de especies químicas, en vez de una legislación basada en concentraciones totales de los elementos (Michalke, 2003; Sigg L. et.al, 2006).

A continuación, se realiza una caracterización de los elementos potencialmente contaminantes según las condiciones predominantes en la bahía San Jorge. La especiación y solubilidad de los metales, clave en la biodisponibilidad, fueron analizadas mediante el uso de diagramas de Pourbaix, también conocidos como diagramas de potencial Redox-pH. Para esto se usaron valores promedio de pH y potencial Redox registrados históricamente en la bahía, con valores de 7,9 unidades y 214 mV, respectivamente. Cabe destacar que este tipo de diagramas, generalmente son aplicados para aguas continentales, por lo que no incluyen las altas concentraciones de cloruros y otros iones, presentes en el agua marina.

5.3.1.1.1 Arsénico

El Arsénico se ubica en el grupo V-A de la tabla periódica de los elementos, generalmente se encuentra presente en minerales como la arsenopirita (FeAsS) y como trióxido de arsénico (As_2O_3) y puede obtenerse del procesamiento de minerales que contienen Cu, Pb, Zn, Ag y Au. Se libera al ambiente a través de cenizas de combustión de carbón y por el uso de pesticidas y herbicidas que lo contienen, así como por residuos generados en actividades como la minería y la metalurgia (Volke y col, 2005).

El As tiene una química bastante compleja y puede encontrarse con tres estados de oxidación: -III, +III y +V. En los sistemas acuáticos oxidantes, el As (V) es la forma dominante, usualmente como arseniato (AsO_4^{3-}) en varios estados de protonación: H_3AsO_4 , H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} . El arseniato también puede coprecipitar o adsorberse en oxihidróxidos de hierro bajo condiciones moderadamente reductoras o ácidas. Los coprecipitados son inmóviles en estas condiciones, pero la movilidad del As aumenta con el pH. En condiciones reductoras, el As (III) es la forma dominante, en forma de arsenito (AsO_3^{3-}) y sus formas protonadas (H_3AsO_3 , H_2AsO_3^- , HAsO_3^{2-}) (Ortega, 2012).

Las formas solubles de arsénico pueden moverse a través de la columna de agua durante largas distancias, sin embargo, el arsénico se adsorbe fuertemente en sedimentos (Sharma & Sohn, 2009). En sistemas con valores de pH ácidos y neutros, As(V) se encuentra predominantemente adsorbido, mientras que As(III), se encuentra débilmente adsorbido. Por otro lado, a altos valores de pH, ambos estados de oxidación presentan poca adsorción en sedimentos. En sistemas marinos, la forma más tóxica de este metal, As(III), se encuentra en fracciones menores al 20% del total (Neff, 1997). En sedimentos oxidantes está primariamente asociado a minerales de hierro, mientras que en ambientes reductores se encuentra en forma de sulfuros precipitados.

Considerando los valores de pH y potencial Redox promedio registrados históricamente en la bahía San Jorge, el Arsénico estaría presente en el sistema como HAsO_4^{2-} según lo establecido por el diagrama de Pourbaix.

5.3.1.1.2 Cadmio

El cadmio es un elemento metálico de transición que pertenece al grupo II-B de la tabla periódica y se encuentra de forma natural como CdS o CdCO_3 , normalmente, se encuentra como impureza en minerales de Zinc, Cobre y Plomo, al igual que en el carbón y en el petróleo crudo (Ortega, 2012).

Antropogénicamente el cadmio se produce fundamentalmente como un subproducto de la minería, fundición y refinación de minerales de Zinc, y en menor medida, Plomo y Cobre (Hutton, 1987). Este elemento tiende a depositarse y adherirse a la materia orgánica del suelo; sin embargo, parte de él se disuelve en agua, por lo que puede llegar a contaminar los cuerpos de agua (Volke y col, 2005).

La movilidad y biodisponibilidad depende principalmente de su especie química, en comparación con otros metales pesados, el cadmio y los compuestos de cadmio son relativamente solubles en agua. Son también, en general, más biodisponibles y móviles. En aguas con un pH inferior a 6 todo el cadmio disuelto aparece como ion libre, para un pH entre 6 y 8,2 predominan las especies carbonato, como CdHCO_3^+ y CdCO_3 , y en sistemas con un pH entre 8,2 y 10 aparece como carbonato sin carga. En general, la movilidad y biodisponibilidad de cadmio en los ecosistemas acuáticos se ve favorecida por los pH bajos, bajos niveles de dureza, bajos niveles de materia en suspensión, alto potencial redox y baja salinidad (Martorell, 2010).

En sedimentos con valores de $\text{pH} > 8$ el cadmio fundamentalmente se encuentra en las fracciones asociadas a la materia orgánica, óxidos de Fe-Mn y la fase residual. Valores elevados de pH favorecen la precipitación de metales por la formación de compuestos insolubles mayoritariamente hidróxidos (Arribas et al., 1995). En cambio, en sedimentos con $\text{pH} < 8$ y bajo condiciones oxidantes el cadmio está principalmente en forma de iones intercambiables y carbonatos (Khalid et al., 1981).

Según los valores de pH y potencial Redox promedio registrados históricamente en la bahía San Jorge, el cadmio estaría presente en el sistema como Cd^{2+} según lo establecido por el diagrama de Pourbaix, sin embargo, éste no considera los iones cloruro presentes en el agua de mar, los cuales formarán complejos con los iones de cadmio formando CdCl_2 (cloruro de cadmio), el cual es menos biodisponible y tóxico que el ion metálico libre.

5.3.1.1.3 Cobre

El cobre es un metal de transición que pertenece al grupo I-B de la tabla periódica. Es un metal maleable, dúctil con una muy buena conductividad al calor y la electricidad (Bradl et al., 2005). Presenta tres estados de oxidación 0, +I, +II.

En el estado de oxidación +II el cobre es isomorfo con los iones Zn^{2+} , Mg^{2+} y Fe^{2+} . El cobre aparece en una gran variedad de formas: sulfuros, sulfatos, carbonatos, y también como cobre elemental (Martorell, 2010).

La mayoría de las sales cúpricas se disuelven en agua liberando el ion libre hidratado. El Cu^{2+} es un ion que fácilmente forma complejos y en su forma libre catiónica presenta una gran tendencia hacia la hidrólisis. Existen fundamentalmente tres procesos que controlan los niveles de cobre en disolución, su transformación en las distintas formas químicas, su movilidad en los ecosistemas acuáticos y su disponibilidad para la biota, que son: 1) complejación, 2) precipitación y 3) adsorción. Estos procesos, así como la resultante especiación, reparto y biodisponibilidad del cobre, están gobernados por la química del Cu (II) (Martorell, 2010).

Los principales ligandos inorgánicos que forman complejos con el cobre en las aguas naturales son los iones hidroxilo (OH^-) y carbonato (CO_3^{2-}), dependiendo del pH y la dureza

del agua. Otros ligandos inorgánicos importantes capaces de formar complejos inorgánicos con cobre en algunas aguas naturales son HS^- , PO_4^{3-} , Cl^- , y NH_3 . El papel de estos ligandos, a excepción del Cl^- , es menor en agua de mar que en las aguas naturales debido a las bajas concentraciones que presentan (Martorell, 2010).

Los principales precipitados de Cu que se forman en las aguas naturales incluyen $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuO , $\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)$ (carbonato de cobre) y $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ (azurita). Los fosfatos también forman precipitados con cobre. Los carbonatos y sulfuros presentes en los sedimentos contribuyen a la retención y acumulación de cobre (Martorell, 2010).

La adsorción de cobre y su reparto entre los sedimentos y el compartimento acuático depende de las características adsorbentes del sedimento, las características metálicas y algunos parámetros medioambientales. Los factores que afectan a los procesos de adsorción/desorción de cobre en los medios naturales incluyen el pH, la concentración de Cu y de adsorbentes, el tipo de ligando y su concentración, y los cationes competidores. En general, la adsorción de cobre por las arcillas y la materia orgánica es función directa del pH, con una adsorción máxima para un pH de 7,0 (Martorell, 2010).

Teniendo en cuenta los valores de pH y potencial Redox promedio registrados históricamente en la bahía San Jorge, el Cobre estaría presente en el sistema como Cu^{2+} , CuO (óxido de cobre II) y CuOH^+ (hidróxido de cobre) según lo establecido por el diagrama de Pourbaix. En agua marina los iones Cobre forman Cloruro de Cobre CuCl_2 , el cual es menos biodisponible.

5.3.1.1.4 Mercurio

El Mercurio es un elemento metálico de transición que pertenece al grupo II-B de la tabla periódica y se encuentra mayormente en la atmósfera, pudiendo depositarse en la superficie de los cuerpos de agua.

Los estados de oxidación más comunes son 0, +I y +II. El Hg tiene una tendencia preferente a encontrarse en su estado de oxidación 0, es decir, como mercurio metálico, excepto cuando forma cianuros y sulfatos debido, por un lado, a la formación de un complejo estable $\text{Hg}(\text{CN})_4^{2-}$, y por otro, a compuestos muy insolubles (HgS). El metal es tóxico en la forma Hg^{2+} , Hg_2^{2+} y muy tóxico como CH_3Hg^+ , mientras que es poco tóxico en su forma elemental.

Los compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados por microorganismos autóctonos de suelos, agua dulce y agua salada, bajo condiciones oxidantes o reductoras, lo cual puede ocurrir en un periodo de 30 a 50 días. No se espera que los compuestos de mercurio se bioconcentren, a no ser que se encuentren como metil-mercurio en el ambiente ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) (United States National Library of Medicine, 2018).

Del diagrama de Pourbaix y las condiciones promedio registradas en la bahía San Jorge, el Mercurio se encontraría en su forma metálica precipitada, por lo que no estaría disponible desde la columna de agua o la fase de agua intersticial del sedimento.

5.3.1.1.5 Plomo

Se ubica en el grupo IV-A de la tabla periódica de los elementos. Este elemento es generalmente obtenido de la galena (PbS), la anglesita (PbSO₄) y la cerusita (PbCO₃). Como fuentes principales de contaminación por Pb se encuentra la fundición, el procesamiento y producción secundaria de metales, la manufactura de baterías de plomo y la de pigmentos químicos; hace algunos años la contaminación atmosférica por el uso de gasolinas con plomo fue de importancia. La mayor parte del Pb liberado en el ambiente es retenida por el suelo; los principales procesos que dictan su destino en dicha matriz incluyen la adsorción, el intercambio iónico, la precipitación y el acomplejamiento con materia orgánica. El tetra-metilo de plomo (compuesto relativamente volátil) puede formarse en sedimentos como resultado de su alquilación microbiana. Como contaminante ambiental, normalmente se encuentra en forma elemental, como óxidos e hidróxidos y como complejos oxianiónicos metálicos.

El Pb tiene dos estados de oxidación: +II y +IV. En la mayoría de sus compuestos inorgánicos el plomo tiene estado de oxidación +II; de éstos, las sales de bromuro y cloruro son ligeramente solubles en agua mientras que las sales de carbonato y las sales básicas son completamente insolubles (Martorell, 2010).

Cuando forma complejos con ligandos orgánicos (ácidos húmicos y fúlvicos) o inorgánicos (Cl⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻), se forman compuestos poco solubles; el carbonato de plomo, formado a pH menor a 6, y el PbS son las formas sólidas más estables (Evanko y Dzombak 1997).

Los compuestos insolubles de plomo se hunden y se adsorben en los sedimentos o bien se adhieren en las partículas en suspensión (especialmente partículas de arcilla), funcionando éstas como secuestrante de compuestos de plomo (Martorell, 2010).

El comportamiento del plomo en los suelos y los sedimentos está controlado por tres factores: en primer lugar su adsorción específica con varias fases sólidas, la precipitación de compuestos de plomo que presentan una elevada estabilidad, y en tercer lugar la formación de complejos o quelatos muy estables con la materia orgánica de los suelos y sedimentos. El plomo presenta una elevada adsorción por los óxidos de manganeso y de hierro, más fuerte que cualquier otro metal, siendo mayor para los óxidos de manganeso (Jaworski, 1987; Bradl y col., 2005).

Considerando los valores de pH y potencial Redox promedio registrados históricamente en la bahía San Jorge, el Plomo estaría presente en el sistema como Pb²⁺ y PbOH⁺ según lo establecido por el diagrama de Pourbaix.

5.3.1.1.6 Zinc

El Zinc es un elemento metálico de transición que pertenece al grupo II-B de la tabla periódica. Su presencia en aguas naturales (superficiales y subterráneas) es rara, pudiendo encontrarse en forma inorgánica, iónica o coloidal, siendo las especies más frecuentes Zn^{2+} , $Zn(OH)^+$ y $ZnCl_3^-$.

El zinc metálico no se encuentra libre en la naturaleza, encontrándose en su estado de oxidación +II. El ion Zn^{2+} es incoloro y existe en forma hidratada en soluciones acuosas neutras y ácidas; sin embargo en solución alcalina precipita el hidróxido, pero en exceso de base de dicho hidróxido se redissuelve para formar el ion cincato, $Zn(OH)_4^{2-}$. Debido a su naturaleza anfótera, el Zinc forma gran variedad de sales; los cloratos, cloruros, sulfatos y nitratos son solubles en agua mientras que los óxidos, carbonatos, fosfatos, silicatos y sulfuros son relativamente insolubles en agua. Los compuestos poco solubles tienen capacidad de adsorberse fuertemente sobre sedimentos y lodos del fondo del lecho de los cauces hídricos (Martorell, 2010).

El zinc puede ser considerado, junto con el cadmio, como un metal muy biodisponible. Entre los factores que afectan a la movilidad y biodisponibilidad del Zinc se encuentran el pH, el contenido de materia orgánica, el contenido de minerales de arcilla y el potencial redox. La movilidad del Zinc decrece con el aumento de los valores de pH (Bradl y col., 2005; EPA, 2005).

Según los valores de pH y potencial Redox promedio registrados históricamente en la bahía San Jorge, el Zinc estaría presente en el sistema como Zn^{2+} y $ZnOH^+$ considerando lo establecido por el diagrama de Pourbaix.

5.3.1.1.7 Discusión

Es importante recalcar, también, que estos resultados no consideran la presencia de materia orgánica, la cual causa efectos variables en la biodisponibilidad de metales (Libes, 2009). Por ejemplo, la toxicidad del cobre puede reducirse gracias a la complejación con materia orgánica, forma no biodisponible para el fitoplancton. Por el contrario, el mercurio ve aumentada su toxicidad a través de la complejación con materia orgánica, ya que los compuestos órgano-, metil- y dimetil-mercurio, son mucho más tóxicos que el mercurio en su forma iónica. En el caso del arsénico, los grupos funcionales de algunas moléculas orgánicas pueden afectar la especiación de arsénico mediante reacciones de óxido-reducción, formación de películas de materia orgánica en la superficie, donde el arsénico podría adsorberse (Sharma & Sohn, 2009). Por otra parte, el cadmio se une fuertemente a la materia orgánica reduciendo la biodisponibilidad (Sánchez, 2016). Para el caso del plomo, al aumentar la materia orgánica y coloides inorgánicos, aumenta la interacción con el suelo/sedimento y con ello disminuye la solubilidad y la biodisponibilidad (Oriundo y Robles, 2009). Finalmente, la fijación zinc es mayor en los suelos con más elevados contenidos de materia orgánica, textura más fina y mayor capacidad de intercambio

catiónico efectiva (Estévez et al., 2000), lo que resulta en la disminución de la biodisponibilidad.

Según los resultados encontrados, tanto los metales como compuestos orgánicos tienden a acumularse en sedimentos (Gao et al., 2016), los cuales sirven como reservas temporales de contaminantes, y pueden entrar a cadenas alimenticias por distintas rutas, primariamente por la acumulación en organismos bentónicos (EPA, 2007; Díaz de Alba et al., 2016). Estos incluyen organismos que viven total o parcialmente en los sedimentos, o aquellos que se alimentan de la capa superficial de sedimento. Por ejemplo, para algunos organismos, la ingestión de sedimentos puede significar cerca del 100% de su acumulación para ciertos metales, por ejemplo, mercurio en su forma metilada (Gao et al., 2016).

En sedimentos, los metales pueden encontrarse en diferentes fracciones (disuelta, intercambiable, carbonato, óxido de hierro-manganeso, orgánica y cristalina), y dependiendo de la fracción en la que se encuentren, muestran diferentes niveles de movilidad (Kastratovic et al., 2013; Nayak, 2015). La fracción biodisponible en sedimentos corresponde principalmente a la fracción intercambiable, la cual consiste en metales enlazados a material coloidal o particulado. Los cambios de temperatura, pH, potencial Redox, tipo de sedimento, actividad microbiológica, concentración de ligandos orgánicos, pueden conducir a la liberación de metales desde la fase sólida (Jamshidi-Zanjani et al., 2015). Así, los metales presentes en complejos con carbonato aumentan su biodisponibilidad si las condiciones son más ácidas (Nayak, 2015). Aquellos presentes en la fase de óxido de hierro-manganeso se solubilizan en condiciones ácidas, y cuando los sedimentos pasan de un estado oxidante a reductor. La fracción orgánica, se vuelve más soluble en condiciones oxidantes, mientras que otras fracciones del metal no pueden ser movilizadas.

Al aumentar el valor del pH, los metales pesados son removidos de la solución del suelo y son absorbidos por los coloides que se encuentran en el suelo, disminuyendo su biodisponibilidad (Lasat, 2001). Por lo tanto, para que las fracciones de metal no disponible en sedimentos cambien de especiación y aumenten su biodisponibilidad, es necesario que las condiciones de pH y potencial Redox se modifiquen. En el caso de los metales asociados a la materia orgánica y sulfhídrica se necesitan condiciones de acidez extrema y ambientes altamente oxidantes (Nayak, 2015; Hunt and Smith, 1983). Por el contrario, en el caso de los metales asociados a los óxidos de hierro y manganeso, estos pasarán a la columna de agua cuando se encuentre bajo condiciones reductoras (Martorell, 2010).

5.3.1.2 Vías de exposición

En bahía San Jorge existen tres vías de exposición generales para los organismos marinos: absorción (contacto directo), ingestión a través de la malla trófica e ingestión a través de las partículas de materia orgánica.

Los ecosistemas acuáticos, están naturalmente expuestos a una variedad de metales cuyas formas químicas y concentraciones se rigen por procesos geoquímicos naturales y actividades antropogénicas. Tales metales pueden ser elementos esenciales necesarios para apoyar los procesos biológicos, o bien no esenciales sin función biológica conocida. El efecto de los metales pesados sobre los organismos vivos no solo depende de la concentración en la que se encuentren presentes, sino también de otros factores tanto intrínsecos a la naturaleza del propio organismo (familia y especie a la que pertenece, mecanismos de regulación de metales, edad, estrés, etc.) como a las características del hábitat, al tiempo al que hayan estado expuestos al metal (efectos agudos o crónicos) y el grado de accesibilidad de éstos por parte de los organismos vivos (Martorell, 2010).

A continuación, se presenta un análisis de las vías de exposición sobre los 6 metales seleccionados para el presente estudio preliminar.

5.3.1.2.1 Arsénico

Las propiedades venenosas de los compuestos de As se conocen desde la antigüedad. El gas arsina (AsH_3) es el compuesto de arsénico más tóxico, su dosis mortal es de 250 mg/m³ para una exposición de 30 minutos. La dosis letal (DL50) para algunos compuestos de arsénico son 34,5 mg/kg para el trióxido de arsénico, 4,5 mg/kg para el arsenito sódico y de 14 a 18 mg/kg en el caso del arseniato de sodio (Martorell, 2010).

El arsénico trivalente se absorbe más rápidamente que el arsénico pentavalente en los sistemas biológicos, aunque ambos estados de oxidación inhiben los procesos energéticos vinculados a las funciones de la mitocondria. Los compuestos de As(III) tienen una alta afinidad por los grupos sulfhidrilo de las proteínas provocando la desactivación de las enzimas. Por su parte los compuestos de As(V) compiten con los fosfatos en las reacciones celulares pudiendo desacoplar la fosforilación oxidativa, de modo que no se conserven los enlaces trifosfatos de alta energía de la adenosina. También se piensa que los compuestos orgánicos del As ejercen efectos tóxicos en los organismos vivos a través de su metabolización a la especie de trióxido de arsénico (Martorell, 2010).

En los invertebrados acuáticos, tales como mejillones, crustáceos y moluscos, se ha demostrado que la absorción de arsénico es directamente proporcional a la concentración de As en el medio; por el contrario no parece que el arsénico se bioacumule en los peces. Los peces son capaces de retener más del 99 % del arsénico ingerido en forma orgánica. En general, el arsénico no se biomagnifica a través de la cadena alimenticia y los factores de bioconcentración observados para los organismos acuáticos son relativamente bajos, excepto en el caso de las algas (Bradl y col, 2005). Poco se sabe acerca de los mecanismos de toxicidad del arsénico a niveles subletales en peces, sin embargo se ha observado que bajas concentraciones de As afectan a procesos fisiológicos que están involucrados en los procesos que regulan el estrés. Así, se observa que cuando aumenta la concentración de especies nocivas de arsénico en los peces ocurre un crecimiento anormal, se reduce la capacidad de aclimatación a los cambios en la temperatura y salinidad y se observan

cambios en la reproducción (Bears y col, 2006). Aunque se ha observado que el arsénico se acumula primero en la retina, el hígado y la piel de los peces, puede interferir con el sistema inmune de los peces suprimiendo la producción de anticuerpos y citoquinas, haciéndolos más susceptibles a las infecciones (Datta y col, 2009).

5.3.1.2.2 Cadmio

Se ha comprobado que a concentraciones relativamente bajas, el cadmio, es tóxico para prácticamente todas las formas de vida, incluyendo microorganismos, plantas, animales y el hombre (Martorell, 2010).

El modo de acción del cadmio se basa en la competición con otros metales, especialmente con Zn, Fe, Cu y Ca. Así, desplaza al Zn como cofactor de ciertas reacciones enzimáticas, perturbando sus funciones normales; compite de forma activa con el Ca en los sistemas enzimáticos implicados en la contracción muscular, sobre todo a nivel de las fibras musculares lisas vasculares; y ejerce una acción competitiva con el hierro y el cobre como cofactor del sistema enzimático de las monoaminooxidasas, disminuyendo su actividad. No obstante, esta competición puede jugar un papel preventivo frente a la intoxicación. Además, presenta una gran afinidad por los grupos tiol, perturbando el metabolismo de los aminoácidos sulfurados y el funcionamiento de numerosas enzimas (ATPasas, deshidrogenasas, anhidrasa carbónica, etc.). El cadmio inhibe la fosforilación oxidativa en las mitocondrias, desacoplando las reacciones redox, también puede inhibir la ω -oxidación de los ácidos grasos, etc. Por otra parte, este metal aumenta el catabolismo de ciertas proteínas, como la seroalbúmina y disminuye el catabolismo de proteínas reabsorbidas por las células del túbulo proximal del riñón, habiéndose comprobado la disminución de la síntesis de proteínas y anticuerpos *in vitro*. En consecuencia, el cadmio produce alteraciones en diversos procesos metabólicos, perturbando la maquinaria energética celular (Martorell, 2010).

La toxicidad del cadmio en los sistemas acuáticos está controlada por la concentración de cadmio libre, la cual a su vez está condicionada a la dureza del agua. De acuerdo con este hecho los organismos de agua dulce resultan más afectados que los de agua de mar; dentro de los organismos marinos, los más sensibles son algas y crustáceos y a su vez, dentro de los de agua dulce los salmónidos. En estudios experimentales, concentraciones de 1 mg/L en agua dulce producen efectos tóxicos, mientras que en aguas marinas requieren concentraciones entre 10 y 20 mg/L (Repetto, 1995). En cuanto a los efectos tóxicos en organismos acuáticos, la toxicidad aguda del cadmio es variable, incluso entre especies estrechamente emparentadas. El cadmio interacciona con el metabolismo del calcio provocando hipocalcemia en los peces. También se han observado efectos subletales en los peces, en particular malformaciones en la espina dorsal. Las fases biológicas más susceptibles a los efectos tóxicos de este metal son el embrión y la larva joven; los huevos son los menos vulnerables. El zinc aumenta la toxicidad del cadmio en los invertebrados acuáticos en los que se han observado efectos subletales en el crecimiento y la

reproducción, así como modificaciones estructurales en las branquias (Castañe y col., 2003; Nordic Council of Minister, 2003).

5.3.1.2.3 Cobre

Al igual que el Zn, es un oligoelemento esencial para la biosfera. La esencialidad del cobre se manifiesta en que es un elemento prostético de numerosas enzimas y puede servir como cofactor para la activación enzimática (participa en la formación de más de 30 enzimas), sobre todo de las enzimas asociadas con el metabolismo oxidativo. Puede unirse también a proteínas, tales como la citocromo oxidasa (Chang, 1996). La deficiencia de Cu se asocia con la hemoglobina y elastina reducidas y la teratogénesis y actividad anormal de la amino oxidasa; además, afecta al metabolismo de los hidratos de carbono y a la biosíntesis de la catecolamina. En exceso el Cu puede unirse a ligandos no específicos de los iones metálicos, ocupando así espacios celulares o receptores cuya función es bloqueada por su presencia. El mayor impacto medioambiental del Cu ocurre en los ecosistemas acuáticos. En general los peces y crustáceos son del orden de 10 a 100 veces más sensibles al Cu que los mamíferos, y las algas son 1000 veces más sensibles (Wright y Welbourn, 2001). Algunos animales marinos filtradores, como las ostras, pueden llegar a tener una riqueza excepcional en los tejidos (hasta 60 mg/kg peso fresco) (Martorell, 2010).

En los sistemas acuáticos se ha observado que la toxicidad del Cu aumenta cuando disminuye la dureza del agua y el oxígeno disuelto, decrece en presencia de agentes quelatantes, ácidos húmicos, aminoácidos y sólidos en suspensión esenciales para atrapar metales (Armendáriz Sáenz y col., 2008). En peces se han descrito lesiones morfológicas en los órganos sensoriales inducidas por Cu, como por ejemplo desintegración celular en las papilas gustativas de peces de colores, así como lesiones en los órganos olfativos y las células receptoras de la línea lateral en los teleósteos, también se observan cambios en las córneas lo que sugiere un trastorno del sistema visual. Además, este metal afecta a la actividad colinesterasa de los peces en el cerebro y músculo, disminuyendo su actividad y provocando un aumento en el contenido de acetilcolina en las terminaciones nerviosas interrumpiendo la transmisión del impulso nervioso (Baatrup, 1990). Otros efectos negativos debido a un exceso de cobre son el estrés oxidativo y efectos nocivos sobre los órganos osmoregulatorios, branquias, como por ejemplo la inhibición del transporte de iones sodio debido a la inhibición de la enzima Na^+/K^+ -ATPasa en peces y la inhibición de la anhidrasa carbónica en los crustáceos (Grosell y col., 2004).

5.3.1.2.4 Mercurio

El mercurio y sus compuestos no tienen ninguna función biológica conocida, sin embargo, la presencia del metal en las células de los organismos vivos es potencialmente tóxica. El mercurio puede bioconcentrarse en los organismos y biomagnificarse en las cadenas alimentarias (Eisler, 1988).

La especiación química es una de las variables más importante que influye en la ecotoxicología del mercurio (Storelli & Marcotrigiano, 2002). El metilmercurio es la especie de mercurio más peligrosa debido a su alta estabilidad, su solubilidad en lípidos, y su posesión de propiedades iónicas que llevan a una alta capacidad de penetrar en las membranas de los organismos vivos (Boszke et al., 2002). Para todos los organismos, las primeras etapas de desarrollo son las más sensibles, siendo el metilmercurio la forma inorgánica más tóxica. Numerosos factores biológicos y abióticos modifican la toxicidad de los compuestos del mercurio, sin embargo, los mecanismos de acción aún no son claros.

La toxicidad del mercurio es mayor cuando las temperaturas del medio son elevadas, la salinidad es reducida y en presencia de otros metales como el zinc y el plomo (Eisler, 1988).

Los signos de intoxicación aguda por mercurio en el pescado producen la quema de opérculos, aumento de la frecuencia respiratoria, pérdida de equilibrio, y lentitud. Los signos de intoxicación crónica por mercurio producen emaciación (debido a la pérdida de apetito), lesiones cerebrales, cataratas, disminución de la respuesta a cambios en la intensidad de la luz, incapacidad para capturar el alimento, la coordinación motora anormal, y varios comportamientos erráticos (Eisler, 1988).

5.3.1.2.5 Plomo

Es el metal tóxico más extendido y es destacable su presencia en casi todos los compartimentos ambientales. El envenenamiento subletal por plomo en vertebrados se caracteriza por la aparición de fallos neurológicos, disfunción del riñón y anemia. El Pb bloquea la transmisión del impulso nervioso y la liberación de la acetilcolina. La anemia se produce como resultado de dos efectos básicos: disminución de la longevidad de los glóbulos rojos y la inhibición de numerosas enzimas que intervienen en la síntesis de hemoglobina. En este sentido, también provoca la inhibición del metabolismo de los nucleótidos de pirimidina, que causa una acumulación de Pb en los glóbulos rojos, así como efectos en el metabolismo del triptófano bloqueando una de sus vías metabólicas. Asimismo, induce la inhibición en la síntesis de proteínas y la reducción reversible del ADN y ARN en cultivos celulares. Se han descrito efectos sobre diversas enzimas, como la disminución de la actividad de la ATPasa a nivel de la membrana de los hematíes, riñón e hígado y se ha reseñado un marcado aumento de enzimas en el suero acompañando a lesiones hepáticas. Por último, cabe destacar la gran afinidad del plomo por las mitocondrias, donde inhibe la fosforilación oxidativa (Ferrer, 2003).

En ecosistemas dulceacuícolas, se han señalado distintos efectos del plomo. Los peces presentan ennegrecimiento de las aletas y curvatura espinal; ambos procesos normalmente son reversibles, excepto en casos muy agudos. También se ha podido demostrar una disminución de la toxicidad del plomo al aumentar la dureza del agua en éstos. No obstante, el grupo más sensible de los invertebrados de agua dulce son los crustáceos, pero no se ha podido demostrar el efecto de la dureza del agua. En ecosistemas marinos los datos son confusos debido a la relativa insolubilidad de los compuestos de plomo; esto ha dado lugar

a la descripción de efectos adversos muy variados y en algunos casos opuestos (Crompton, 1997).

5.3.1.2.6 Zinc

El Zn es un oligoelemento esencial de la biosfera. La esencialidad de este metal se muestra en su actuación en un gran número de funciones fisiológicas, derivadas de su presencia como cofactor en más de 200 enzimas, lo que provoca que sus niveles en los tejidos animales sean muy similares (Martorell, 2010).

La toxicidad del zinc en los organismos acuáticos es mayor para valores de pH bajos, poco contenido de oxígeno disuelto y temperaturas elevadas. En estas condiciones se producen daños en las células epiteliales de las branquias que pueden llegar a ocasionar la muerte. A nivel bioquímico la intoxicación por Zn provoca una disminución significativa en el contenido de glucógeno, proteína y lípidos en los tejidos, unido a la disminución del valor calorífico afectando al valor nutritivo de los peces siendo el hígado el tejido que se ve más afectado. Esta disminución en el contenido calorífico causada por la exposición a Zn provoca un aumento de la tasa metabólica de los peces (Malik y Sastri, 1998; Palaniappan y Renju, 2009).

5.3.1.3 *Posibles receptores*

Considerando el concepto de sistema ambiental y el transporte de materiales que ocurre en éste, principalmente de metales (de origen natural y/o antrópico), la identificación de los posibles receptores (posibles organismos afectados) se realizó en función de tres aspectos. Primero se analizaron los principales desembarques pesqueros artesanales, considerando que es el sector pesquero que opera más cerca del borde costero, en donde ocurre el sistema ambiental Bahía San Jorge. En segundo lugar, se caracterizó la red trófica del sistema para generar una aproximación a los grupos funcionales existentes y enfatizar en aquellos que podrían servir como bioindicadores y/o constituir una potencial vía de exposición del ser humano a metales por ingesta de recursos marinos. En tercer lugar, se realizó una consulta a los actores locales, incluidos los pescadores y buzos artesanales, donde existe un extenso conocimiento no solo de los organismos, sino también de la historia de Bahía San Jorge desde el punto de vista de la distribución espacial de los recursos marinos, y las contingencias ambientales que han ocurrido.

El análisis de los desembarques artesanales de recursos marinos indicó que el orden decreciente (Toneladas anuales) corresponde a: algas>peces>moluscos>crustáceos>erizos y piures. El análisis por caletas indicó que: i) Caleta Coloso presenta los mayores desembarques de algas y crustáceos, ii) Caleta Antofagasta presenta los mayores desembarques de peces, moluscos, erizos y piures. Con respecto a las especies principales en cada uno de los grupos mencionados anteriormente, se registra lo siguiente: i)

Algas_Huiro ii) Peces_Sardina española, Albacora y el Bonito, iii) Moluscos_Pulpo, Loco, Lapa y Locate. El análisis de las AMERB indicó que los mayores desembarques están asociados a los recursos Pulpo, Loco, Lapa y Erizo.

La caracterización de las redes tróficas en Bahía San Jorge fue realizada en el proyecto “Estudio levantamiento de información para el control ambiental de la bahía de San Jorge” código BIP 30059576, esfuerzo impulsado y financiado desde el Gobierno Regional, coordinado por la SEREMI de Medio Ambiente y ejecutado por la Universidad de Antofagasta. Entre los productos de este estudio se generaron una serie de publicaciones científicas, entre las cuales, 2 consideraron las redes tróficas de Bahía San Jorge. La caracterización de las redes tróficas consideró principalmente dos aspectos; i) Distribución de metales (Cu, Pb y Zn) y eventuales procesos de biomagnificación en cadenas tróficas bentónicas (Valdés et al. 2014) y ii) Modelación trófica cuantitativa (Ortiz et al. 2015).

Para el estudio de la distribución de metales, Valdés et al. (2014) determinó la estructura de las redes tróficas mediante una revisión de estudios ecológicos que incluyeran información sobre el contenido estomacal, las estrategias de alimentación y las preferencias de hábitat de las diferentes especies bentónicas presentes en la bahía San Jorge. Las especies fueron divididas en cuatro grupos tróficos: filtradores, suspensívoros, herbívoros y carnívoros. Dado que solamente se puede hablar de biotransferencia positiva de metales cuando se tienen dos o más niveles tróficos, sólo fue posible evaluar este proceso en cuatro de los siete sectores estudiados: Carrizo, Puerto, La Chimba y La Rinconada. Se observó biomagnificación de Cu y Zn en las especies carnívoras *H. helianthus*, *Octopus* sp., *L. magellanica* y *Concholepas concholepas* en La Chimba. La biomagnificación de Pb se observó en *H. helianthus* en Carrizo y La Chimba, y solamente en los carnívoros *Octopus* sp. y *L. magellanica* en La Chimba. En el caso de Carrizo, se observaron elevados valores de biotransferencia de Pb en la secuencia *Fissurella* sp., *Crassilabrum* sp. y *H. helianthus*, lo cual sugiere un proceso de biomagnificación efectivo (Figura 5.3-1, Figura 5.3-2, Figura 5.3-3).

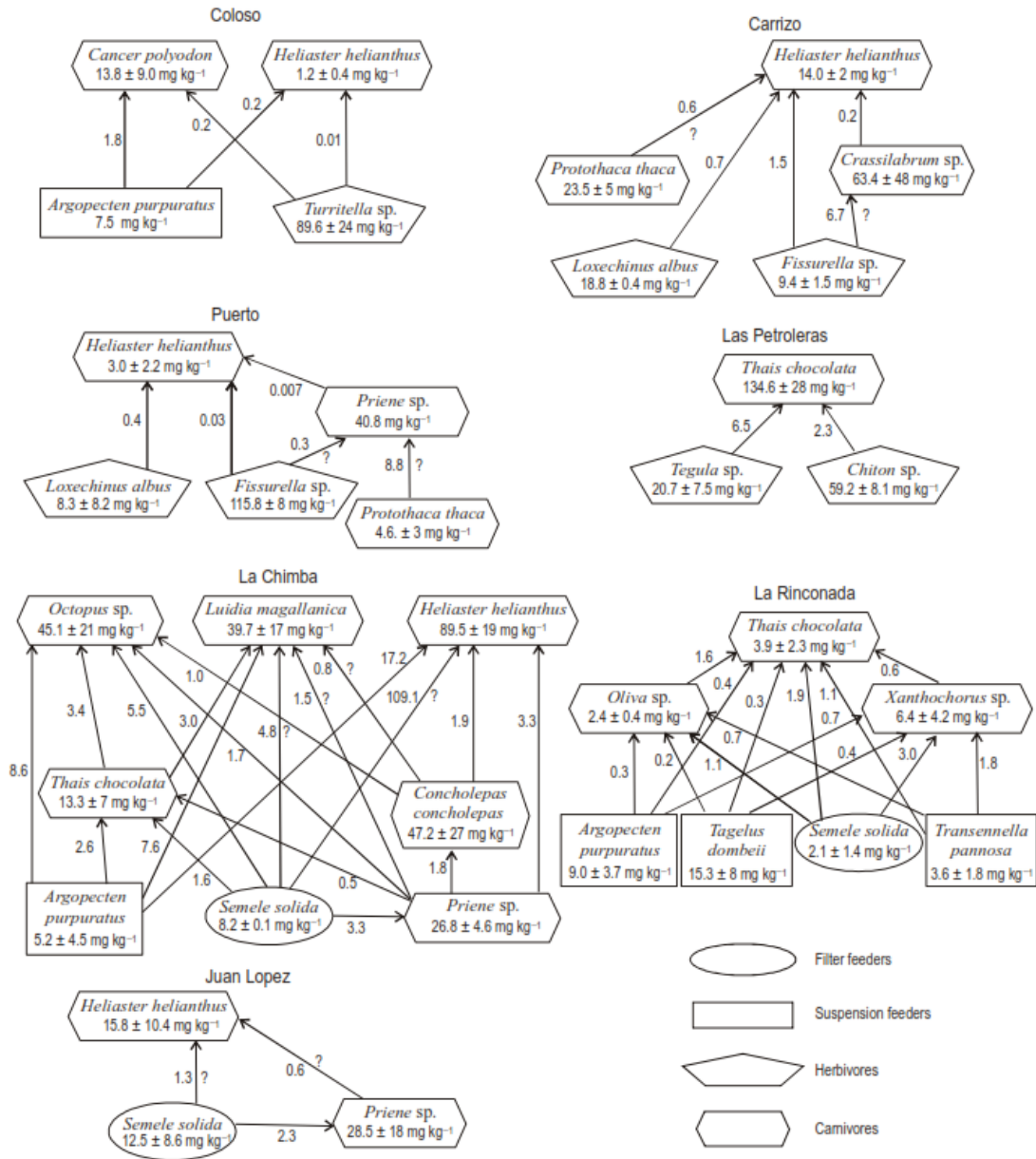


Figura 5.3-1 Transferencia de Cu en las tramas tróficas de la bahía San Jorge (Chile). Las flechas indican el sentido del flujo de energía, los números al costado de las flechas indican el factor de transferencia y los números dentro de cada polígono indican la concentración media y desviación estándar de Cu. Los valores de concentración sin desviación estándar corresponden a especies con un máximo de dos mediciones (Valdés et al. 2014).

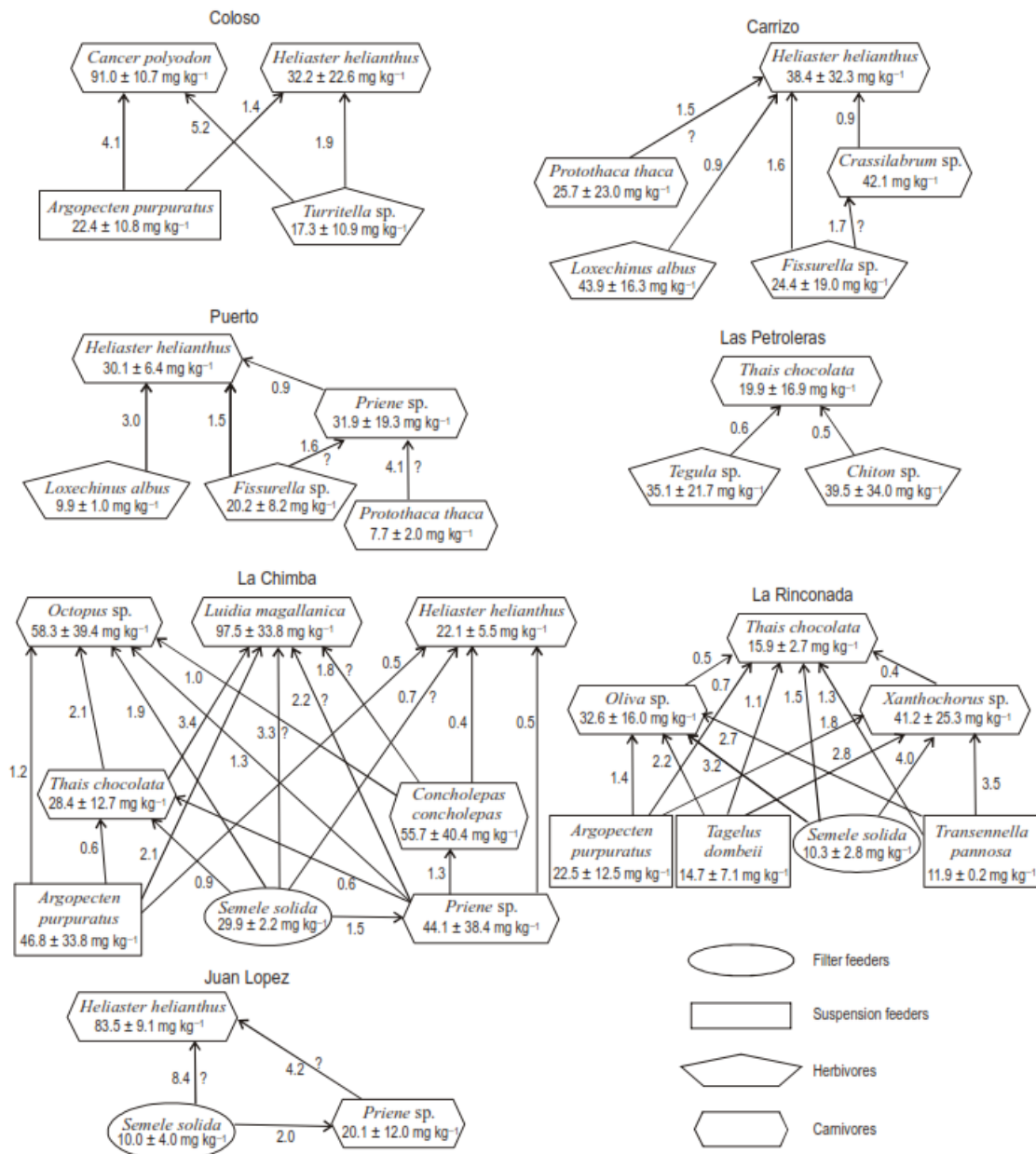


Figura 5.3-2 Transferencia de Zn en las tramas tróficas de la bahía San Jorge (Chile). Las flechas indican el sentido del flujo de energía, los números al costado de las flechas indican el factor de transferencia y los números dentro de cada polígono indican la concentración media y desviación estándar de Zn. Los valores de concentración sin desviación estándar corresponden a especies con un máximo de dos mediciones Valdés et al. (2014).

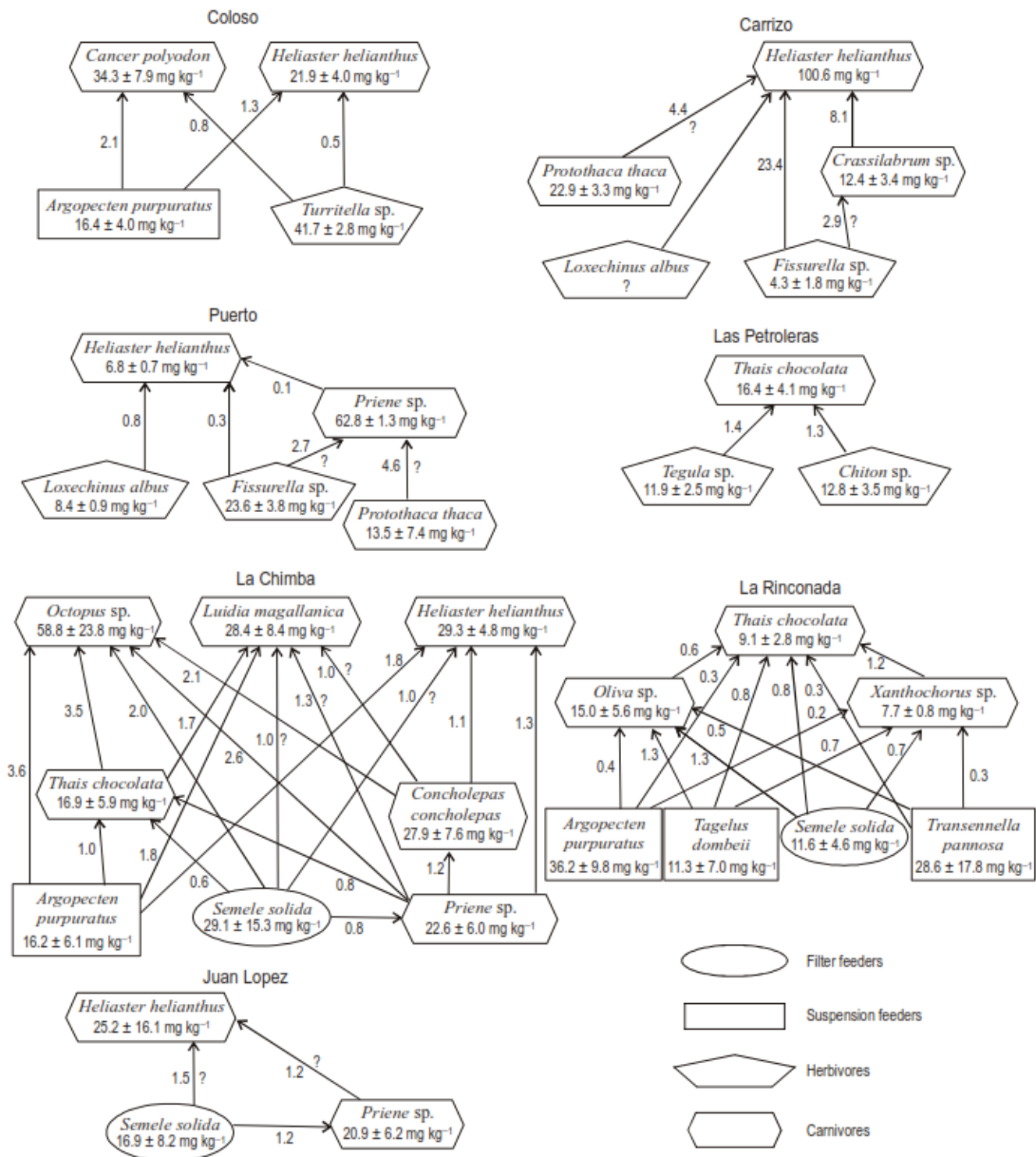


Figura 5.3-3 Transferencia de Pb en las tramas tróficas de la bahía San Jorge (Chile). Las flechas indican el sentido del flujo de energía, los números al costado de las flechas indican el factor de transferencia y los números dentro de cada polígono indican la concentración media y desviación estándar de Pb. Los valores de concentración sin desviación estándar corresponden a especies con un máximo de dos mediciones. Valdés et al. (2014)

Con respecto a la modelación trófica cuantitativa, Ortiz et al. (2015) construyó un modelo global para la bahía. De la biodiversidad observada en cada uno de los sectores estudiados, se seleccionaron las especies individuales más relevantes (abundantes o con importancia económica), y se conformaron grupos funcionales que agruparon organismos con una función trófica similar. Las especies individuales relevantes correspondieron al ostión *Argopecten purpuratus*; las almejas *Tranzenella pannosa* y *Tagelus dombeii*; el alga parda *Lessonia trabeculata*; los caracoles *Concholepas concholepas* y *Thais chocolata* y el pulpo *Octopus vulgaris*. El grupo funcional de estrellas de mar (seastar) comprende a *Heliaster helianthus*, *Meyenaster gelatinosus*; organismos filtradores (Filter Feeders) incluye a *Anthothoe chilensis*, *Phymantea pluvia*, *Pyura chilensis*, *Semele solida*; *Cancer* spp. agrupa a *Cancer coronatus*, *Cancer polyodon*; SEH (herbívoros pequeños) incluye a *Chiton* sp., *Tegula* spp. *Fissurella peruviana*, *Tonicia* spp. y *Turritella cingulata*; SEC (carnívoros pequeños) comprende a *Nassarius gayi*, *Priene* spp., *Xanthochorus* spp., *Oliva peruviana*, *Aneator fontanei*, *Patiria chilensis*, Ofiuroides; LE (gran epifauna) agrupa a *Homalaspis plana*, *Pagurus* spp., *Paraxanthus barbiger*, *Hepatus chilensis*, *Pilmnoides perlatus*; Chlorophyta incluye a las algas verdes *Chaetomorpha* sp.; Rhodophyta agrupa a las algas rojas *Ceramium* sp., *Gelidium* sp., *Rhodymenia* sp., *Hypnaea* sp.; y Phaeophyta incluye a las algas pardas *Halopteris* sp., *Glosophora* sp. (Figura 5.3-4).

B. Antofagasta bay

- (1) *Lessonia trabeculata*
- (2) Chlorophyta
- (3) Rhodophyta
- (4) Phaeophyta
- (5) *Argopecten purpuratus*
- (6) *Aulacomya ater*
- (7) *Tagelus dombeii*
- (8) *Choromytilus chorus*
- (9) *Transennella pannosa*
- (10) Other Filter Feeders (OFF)
- (11) *Protothaca thaca*
- (12) *Tegula* spp.
- (13) Small Epifauna Herbivore (SEH)
- (14) Sea urchin species (SUS)
- (15) Small Epifauna Carnivore (SEC)
- (16) Large Epifauna (LE)
- (17) *Cancer* spp.
- (18) *Thais chocolata*
- (19) *Concholepas concholepas*
- (20) *Octopus vulgaris*
- (21) *Luidia magallanica*
- (22) Other Sea Star Species (OSS)
- (23) Zooplankton
- (24) Phytoplankton
- (25) Detritus

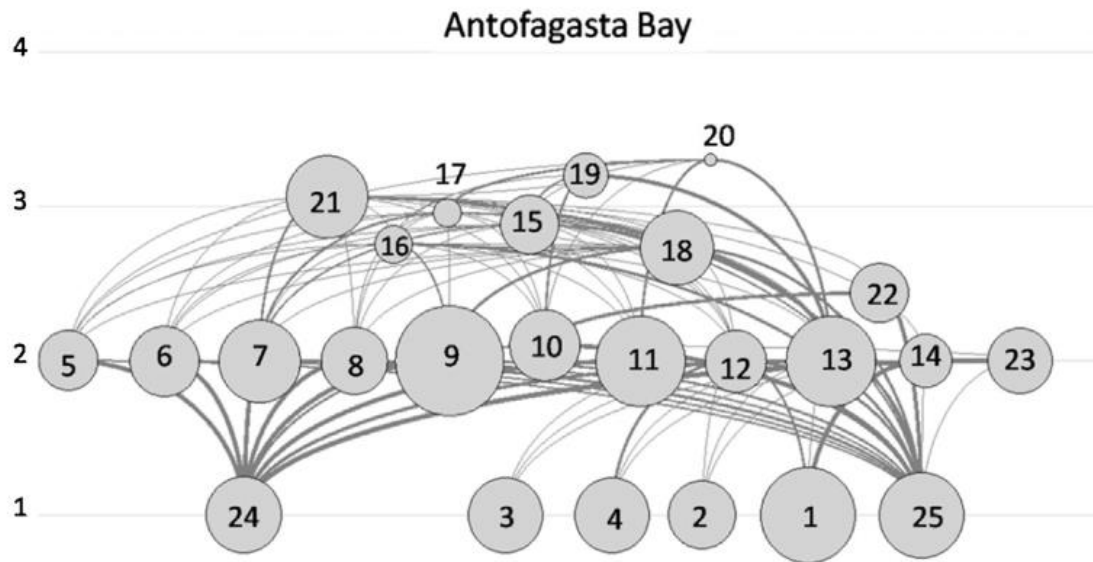


Figura 5.3-4 Modelo trófico global del sistema ecológico bentónico en Bahía San Jorge. La posición vertical se aproxima al nivel trófico. El tamaño del círculo es proporcional a la biomasa del compartimento (poblaciones y/o grupos funcionales). El número en círculo corresponde a la especie o grupo funcional. Mayores detalles ver en Ortiz et al. 2015.

La estimación de efectos directos e indirectos como respuesta a perturbaciones indicó que el grupo funcional de los organismos filtradores, herbívoros pequeños y los carnívoros pequeños emergen como los más sensibles, propagando los mayores cambios en las restantes variables. Esto es muy relevante pues muchas de las especies que conforman estos grupos presentan altos niveles de metales pesados en sus tejidos. Apoyados en la modelación dinámica espacial es posible establecer que ellos responderían de una manera similar si la perturbación ingresa a los sistemas a través de las especies explotadas (Ortiz et al. 2015).

Por último, la consulta a los actores locales indicó como especies de interés a los recursos indicados en la Tabla 5.3.1:

Tabla 5.3.1 listado de especies de interés para los actores locales. Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.

Peces	Carnívoros	Alga	Herbívoros	Filtradores
Sargo	Loco	Huiro	Lapa	Piure
Cabrilla	Pulpo		Erizo rojo	Choro
Tomoyo	Locate		Chiton-apretador	Cholga
Jurel	Jaiba			Culengue
Lenguado	Sol de mar			Almeja
Caballa				Choro maltón
Congrio				Cholga
Sardina				Ostión
Vieja colorada				

Luego del análisis de los tres aspectos mencionados anteriormente, se ha propuesto un total de 33 especies a ser recolectadas su análisis. Cabe señalar que el análisis de tejido en biota se enfocará mayoritariamente en metales, mientras que el análisis de hidrocarburos se realizará solo en las especies que son de consumo humano. La Tabla 5.3.2 muestra los 33 organismos a muestrear.

Tabla 5.3.2 Listado de especies propuesto por CEA como posibles receptores.

Fuente	Taxa	Nombre común	Grupo funcional
(Valdés et al. 2014) Pescadores locales	<i>Argopecten purpuratus</i>	Ostión	Filtrador
(Valdés et al. 2014) Pescadores locales	<i>Cancer Polyodon</i>	Jaiba	Carnívoro
(Valdés et al. 2014) (Castro and Valdés 2012) Pescadores locales	<i>Concholepas concholepas</i>	Loco	Carnívoro
(Valdés et al. 2014) (Castro and Valdés 2012)	<i>Fissurella sp.</i>	Lapa	Herbívoro
(Valdés et al. 2014) (Castro and Valdés 2012) Pescadores locales	<i>Loxechinus albus</i>	Erizo rojo	Herbívoro
(Valdés et al. 2014) Pescadores locales	<i>Octopus sp</i>	Pulpo	Carnívoro
(Valdés et al. 2014) (Castro and Valdés 2012) Pescadores locales	<i>Protothaca thaca</i>	Almeja	Filtrador
(Valdés et al. 2014) (Castro and Valdés 2012)	<i>Tagelus dombeii</i>	Navajuela	Filtrador
(Valdés et al. 2014) Pescadores locales	<i>Thais chocolata</i>	Locate	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Paralichthys adspersus</i>	Lenguado	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Pyura praeputialis</i>	Piure invasor	Suspensívoros
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Choromytilus chorus</i>	Choro maltón	Filtrador
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Anisotremus scapularis</i>	Sargo	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Paralabrax humeralis</i>	Cabrilla	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Labrisomus philippii</i>	Tomoyo	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Trachurus murphyi</i>	Jurel	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Scomber scombrus</i>	Caballa	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Genypterus chilensis</i>	Congrio	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Sardinops sagax</i>	Sardina española	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Acanthistius Pictus</i>	Vieja colorada	Carnívoro
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Aulacomya atra</i>	Cholga	Filtrador
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Gari solida</i>	Culengue	Filtrador

Fuente	Taxa	Nombre común	Grupo funcional
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Mytilus chilensis</i>	Choro	Filtrador
Pescadores locales Caletas Coloso, Antofagasta, La Chimba y Abtao.	<i>Lessonia trabeculata</i>	Huiro	Productor primario
(Valdés et al. 2014) Pescadores locales	<i>Chiton sp</i>	Apretador	Herbívoro
(Valdés et al. 2014)	<i>Crassilabrum sp</i>	Caracol triton	Carnívoro
(Valdés et al. 2014) (Castro and Valdes 2012) Pescadores locales	<i>Heliasther helianthus</i>	Sol de mar	Carnívoro
(Valdés et al. 2014)	<i>Luida magallanica</i>	Estrella negra	Carnívoro
(Valdés et al. 2014)	<i>Oliva sp</i>	(en blanco)	Carnívoro
(Valdés et al. 2014)	<i>Priene sp</i>	Caracol rubio	Herbívoro
(Valdés et al. 2014)	<i>Tegula sp</i>	Caracol negro	Herbívoro
(Valdés et al. 2014)	<i>Turritella sp</i>	Turritella	Herbívoro
(Valdés et al. 2014)	<i>Xanthochorus sp</i>	Caracol espiral	Herbívoro

La última etapa de este proceso corresponde a la validación por parte del comité de expertos locales, actividad realizada el miércoles 16 de enero de 2019 (5.6.4 Taller de expertos).

5.3.2 Modelo conceptual de riesgo ecológico

El modelo conceptual de riesgo surge en base a la definición de parámetros objetivo, como también el conocer cuáles serían las fuentes de tales agentes potencialmente contaminantes, basado principalmente en el conocimiento de los flujos antrópicos.

Cabe señalar que el análisis de flujos antrópicos de tipo fuentes puntuales determinó que los principales aportantes de agentes potencialmente contaminantes serían ciertos metales, los cuales no guardan relación con los procesos unitarios de la industria que los descarga, como es el caso de la industria sanitaria, quienes estarían emitiendo ciertos elementos metálicos.

La caracterización fisicoquímica en bahía de San Jorge da cuenta que las mayores concentraciones de elementos de origen antrópico (xenobióticos) se encontrarían cercanos al puerto, lo que es consistente con estudios anteriores donde se ha determinado que existen zonas de acumulación de agentes en el sedimento, particularmente en el sector de Coloso y el puerto.

Los párrafos anteriores permiten inferir que existirían fuentes difusas que estarían incorporando cantidades de elementos metálicos en el medio marino, lo cual sumado a las condiciones de pH y Redox del sedimento, este actuaría como un sumidero de agentes potencialmente contaminantes. Esto es consistente con las cargas de elementos metálicos encontradas en el sedimento, lo cual nuevamente es consistente con estudios anteriores, donde se destaca el cobre, plomo y zinc, como xenobióticos que son incorporados producto de la actividad humana.

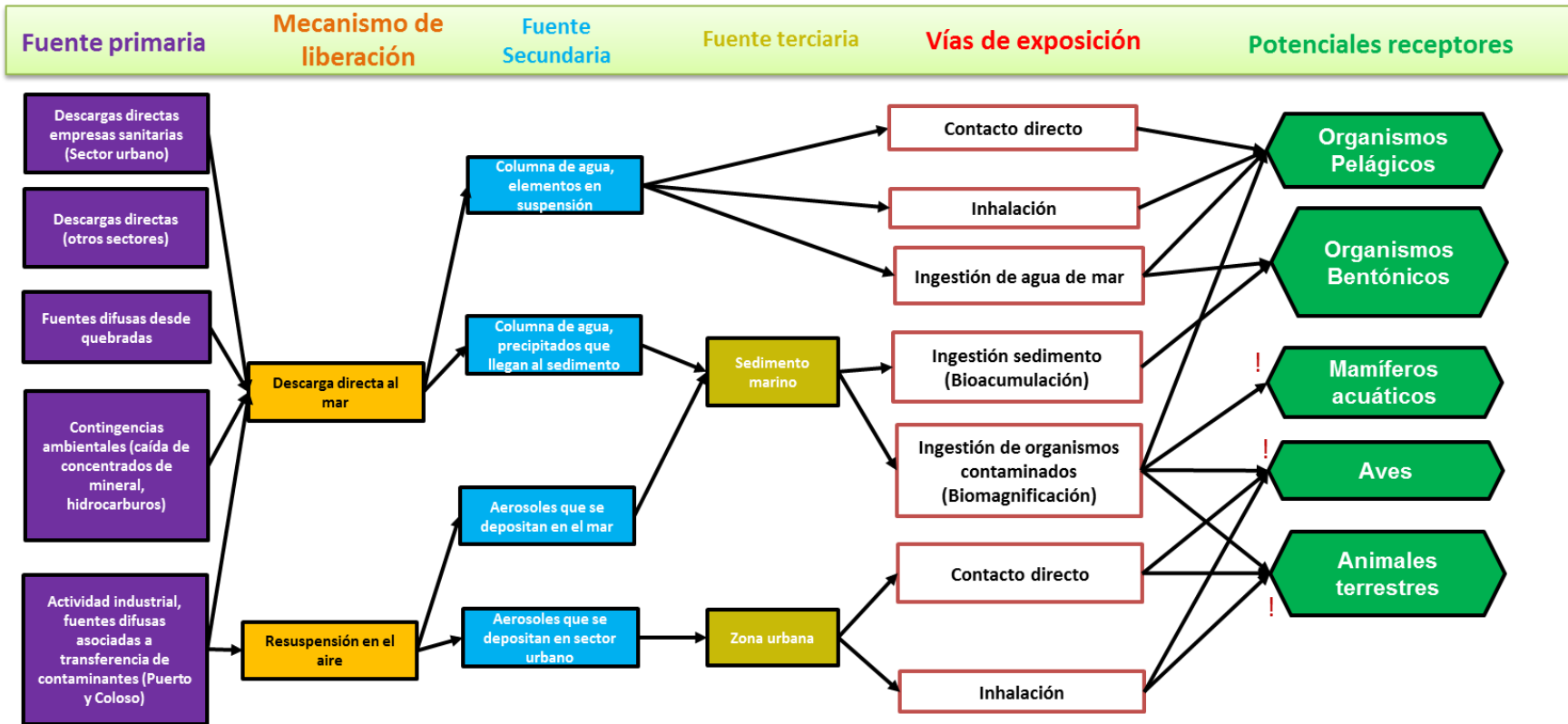
Se han identificado como vías de exposición de estos elementos ciertos organismos que son filtradores o detritívoros (chorito, pulga de mar), los que incorporarían agentes a la malla trófica en diferentes medidas, con cargas importantes de arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio y zinc, en comparación a límites internacionales para el consumo humano. Por otro lado, estudios de Valdes et al. (2014) dan cuenta de procesos de bioacumulación y biomagnificación en al menos 2 a 3 niveles tróficos en bahía San Jorge. Los procesos de biomagnificación de Cu y Pb registrados en Carrizo, La Chimba y La Rinconada coinciden con las máximas concentraciones de estos metales registradas dentro de la bahía San Jorge, lo cual sugiere una cierta influencia de la carga de metales en los sedimentos donde viven estos organismos bentónicos.

En resumen, los posibles receptores de estos agentes estresores que significan un riesgo al ecosistema, se encontraría gran parte de las tramas tróficas. Lo anterior adquiere mayor relevancia al considerar que ciertos recursos representan los mayores desembarques de la

actividad artesanal, constituyendo una potencial vía de exposición del ser humano a metales por ingesta de éstos, sin embargo, estos resultados se deben tomar con cautela porque provienen de muestreos puntuales que carecen de replicabilidad temporal.

Lo anterior permitiría concluir que se ha identificado un potencial problema tanto para el ecosistema como para el ser humano, por cuanto se han identificado fuentes de contaminantes, sus vías de exposición, y potenciales receptores. En lo que respecta al modelo conceptual de riesgo ecológico, si bien guarda directa con el modelo de riesgo a la salud humana al incorporar la relación de organismos para consumo humano, con los procesos de bioacumulación y biomagnificación de recursos marinos, se ha decidido separar tal modelo, a objeto de destacar el riesgo a la salud humana, identificando claramente sus vías de exposición. La fase 2 del estudio permitirá validar la presente hipótesis de riesgo, mediante el análisis de los agentes potencialmente contaminantes y organismos centinela u objetivo, que permitirán corroborar esta conjetura.

La Figura 5.3-5 muestra el modelo conceptual de riesgo ecológico, basado en un diagrama unidireccional desde Fuente- Vías de Exposición – Potenciales Receptores, definido en el presente estudio.



!: No evaluado en el presente estudio

Figura 5.3-5 Modelo conceptual de riesgo ecológico definido en bahía San Jorge, Antofagasta.

5.4 Objetivo Específico 3 (OE-3)

OE-3: Realizar una evaluación de riesgo para la salud de las personas y evaluación de riesgo ecológico, para la Bahía San Jorge.

Para cumplir este objetivo, el ERE cuenta con 3 fases consecutivas:

1. Evaluación de riesgo ecológico
 - a. Formulación del problema
 - b. Evaluación del riesgo
 - c. Caracterización del riesgo

Por otro lado, el ERSH cuenta con 5 etapas:

2. Evaluación de riesgo para la salud humana
 - a. Revisión sistemática de publicaciones científicas
 - b. Identificación del peligro
 - c. Factores de exposición
 - d. Caracterización y Evaluación del riesgo para la salud humana
 - e. Análisis de incertidumbre

En el presente estudio, el ERE ha sido seccionado en función de los objetivos específicos, tomando en cuenta la estructura del Ministerio del Medio Ambiente:

- Fase 1: Identificación del problema → OE-1 y OE-2
- Fase 2: Análisis del riesgo → OE-3
- Fase 3: Caracterización del Riesgo → OE-3
- Fase 4: Gestión y comunicación del riesgo → OE-4 y OE-5 respectivamente.

Por otro lado, la ERSH va por un lineamiento paralelo en el sentido de que este enfoque es especie-específico (ser humano), por lo tanto, la recopilación y análisis de la información va en el sentido de analizar directamente los efectos en el ser humano, considerando una revisión bibliográfica independiente. No obstante, la identificación de los elementos potencialmente contaminantes definidos en el ERE es crucial para la identificación en el ser humano, por cuanto las especies de interés guardan relación con el consumo humano de organismos marinos, especialmente bentónicos, que puedan representar un riesgo para la salud de la población.

De este modo, existe una interrelación entre el ERE y el ERSH al suponer que especies que presenten una bioacumulación de agentes potencialmente contaminantes, sean ingeridos por el ser humano, representando un potencial riesgo.

Finalmente, es importante señalar que la definición de los agentes potencialmente contaminantes y los organismos de interés para este estudio, fueron validados en un Taller

de Expertos (5.6.4 Taller de expertos), el cual reunió los principales exponentes en el área científico-técnico, como también profesionales en el ámbito público y privado de la Región.

5.4.1 Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE)

5.4.1.1 Fase 1: Definición del problema

La definición del problema, esto es, lograr identificar un potencial riesgo al ecosistema, se realizó en el objetivo específico 2 y objetivo específico 1 del estudio. Se definieron los parámetros objetivo mediante la revisión e identificación de elementos potencialmente contaminantes, sus vías de exposición y consecuentemente, potenciales receptores.

De esta etapa, se identificaron 6 parámetros potencialmente contaminantes al estar presentes en el medio acuático (columna de agua y sedimento): arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Para la determinación de la concentración de contaminantes en las matrices de agua y sedimentos, se utilizó la información obtenida del análisis de data histórica y de los muestreos de CEA.

5.4.1.2 Fase 2: Análisis del riesgo

5.4.1.2.1 Análisis de la exposición (PEC)

i. Modelo de circulación costera

Como parte de los análisis y para una profundización de los análisis, se desarrolló una modelación hidrodinámica de Bahía San Jorge en el modo numérico AEM3D, que corresponde a una herramienta de modelación numérica 3D con alto desarrollo y uso a nivel internacional. El objetivo del uso de la herramienta fue caracterizar la dinámica de corrientes y las variaciones de la estructura de la columna de agua de la bahía, las cuales son responsables de la movilización y mezcla de cualquier agente que sea descargado en la bahía.

Una vez realizada la caracterización hidrodinámica en el modelo, se incluyeron las fuentes de descarga de Riles que pudiesen tener influencia en el área de estudio, de manera de estimar zonas de riesgo potencial, en términos de acumulación y concentración de los contaminantes seleccionados en el dominio de la modelación.

a) *Descripción general de la simulación*

Como parte del estudio se desarrollaron dos simulaciones, ambas para el año 2018 pero con distintas condiciones de borde. La primera modelación se realizó para generar las condiciones de borde e iniciales para la segunda, lo anterior se realiza con el objetivo de disminuir el efecto de las condiciones iniciales en la simulación mediante la independización de las condiciones iniciales, y con ello utilizar un dominio que ya cuenta con una dinámica

ad hoc a la zona. Se consideró un intervalo temporal de 60 segundos de paso y un periodo de registros de resultados cada 1 hora.

La zona que comprende el estudio se localiza en la comuna de Antofagasta, específicamente en la bahía San Jorge, entre los sectores de Punta Jorge y Punta Coloso, entre las coordenadas 334.708 E y 7.399.428 N, y 349.927 E y 7.371.645 N (Figura 5.4-1). En la Sección siguiente se define el dominio de la bahía de San Jorge que fue modelada.

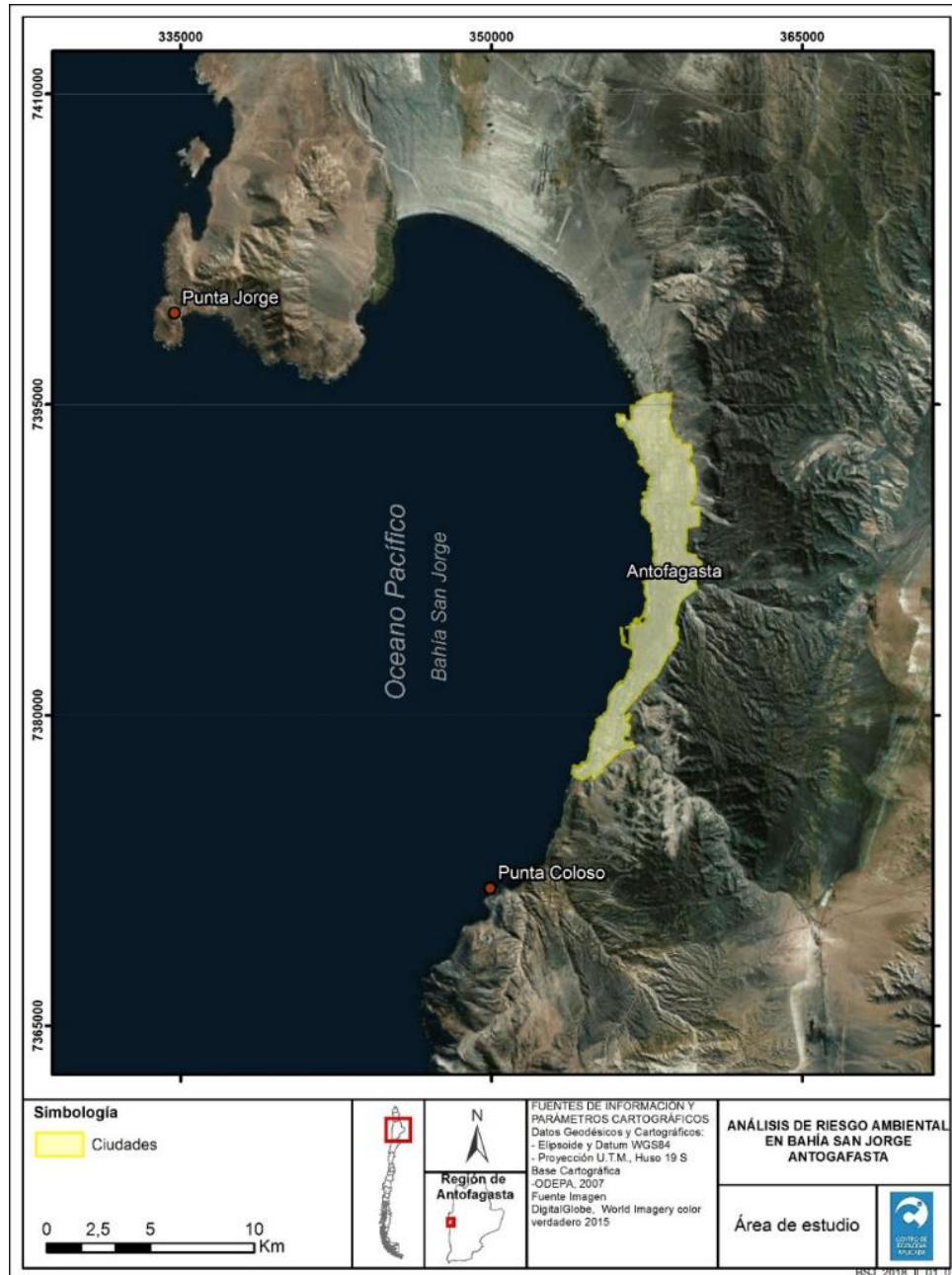


Figura 5.4-1 Ubicación geográfica de la Bahía San Jorge, Región de Antofagasta.

b) Antecedentes del modelo utilizado: AEM3D

AEM3D (de la sigla en inglés de Aquatic Ecosystem Model 3D) es una herramienta de modelación numérica desarrollada por HydroNumerics (Australia). El modelo está basado en el internacionalmente reconocido modelo ELCOM-CAEDYM, desarrollado por el Centre for Water Research (CWR) de la University of Western Australia, el cual ha sido ampliamente validado en el estudio de lagos, estuarios y zonas costeras, siendo actualmente uno de los modelos hidrodinámicos con mayor número de publicaciones y citas científicas (Trolle et al., 2012). Cabe señalar que el equipo de trabajo de HydroNumerics fue integrante base del equipo de desarrollo de ELCOM-CAEDYM, por lo que cuenta con un amplio soporte y mejoras en las prestaciones. El modelo AEM3D se utiliza para predecir la velocidad, temperatura, salinidad, nutrientes y bioquímica de cuerpos de agua sometidos a forzantes ambientales o antrópicas como el viento, la marea, calentamiento y enfriamiento superficial por radiación, caudales afluentes y efluentes, extracciones, etc. El método de solución hidrodinámica de este modelo es por medio de la resolución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes para flujo incompresible, utilizando la hipótesis hidrostática de presión, lo que permite la simulación numérica de procesos que incluyen una respuesta baroclínica y barotrópica, efectos de rotación terrestre, efectos de marea y efectos del viento (Hodges & Dallimore, 2016).

A continuación, se detalla la información requerida como dato de entrada para el modelo numérico, correspondiente a información de batimetría del dominio a modelar, las condiciones de borde que forzarán el sistema y las condiciones iniciales de simulación.

c) Batimetría y dominio de Bahía San Jorge

Como entrada al modelo numérico se requiere de una grilla tridimensional, la que es construida con la información batimétrica disponible. Esta grilla permite definir geoméricamente el dominio en estudio. Para ello se utilizó información batimétrica obtenida desde las cartas náuticas generadas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), las que se detallan en la Tabla 5.4-1. La información extraída desde las cartas corresponde a los datos de mediciones puntuales de profundidad georreferenciados.

Tabla 5.4-1: Cartas náuticas del SHOA utilizadas para generación de batimetría.

Nombre	Código plano	SKU	Escala	Carta
Bahía de San Jorge a Puerto	CL2AN020	CL2002	1:500000	2000
Caleta Coloso	CL5AN030	CL5006	1:10000	2113
Caleta Chimba	CL5AN025	CL5006	1:10000	2112
Caleta Abtao	CL5AN020	CL5006	1:15000	2112
Rada de Antofagasta	CL5AN015	CL5005	1:8000	2111

El dominio utilizado en la simulación de bahía San Jorge se desarrolla entre las coordenadas 326.900 m y 358.100 m Este, y 7.366.750 m y 7.405.150 m Norte, huso 19K, correspondiente a un área efectiva de aproximadamente 1.200 km². La grilla planimétrica posee una resolución espacial de 150 m x 150 m. Por otro lado, dado que el rango batimétrico se encuentra entre 0 y 1.708 m de profundidad, la grilla vertical adoptada para cubrir este rango fue variable, la que consideró espaciamientos verticales de 0.25 m en la cercanía a la superficie, hasta espaciamientos verticales de 140 m en la zona más profundida. Esto último, permite contar con una adecuada resolución vertical del grilla en las zonas más someras (que incluye toda la zona costera) y disminuir la resolución en la zona más profunda.

Para completar la información de las cartas náuticas del SHOA de la Tabla 5.4-1, en los sectores donde existía poca densidad de puntos batimétricos se realizó un levantamiento batimétrico mediante el uso de una ecosonda, equipo que permite el registro de puntos con ubicación geográfica, profundidad, fecha y hora. Dichas mediciones fueron efectuadas en los sectores de Rinconada, Petroleras y Carrizo, entre el 8 y 13 de febrero de 2019. En la Figura 5.4-2 se muestran los puntos batimétricos tanto del SHOA como la información registrada en terreno por CEA.

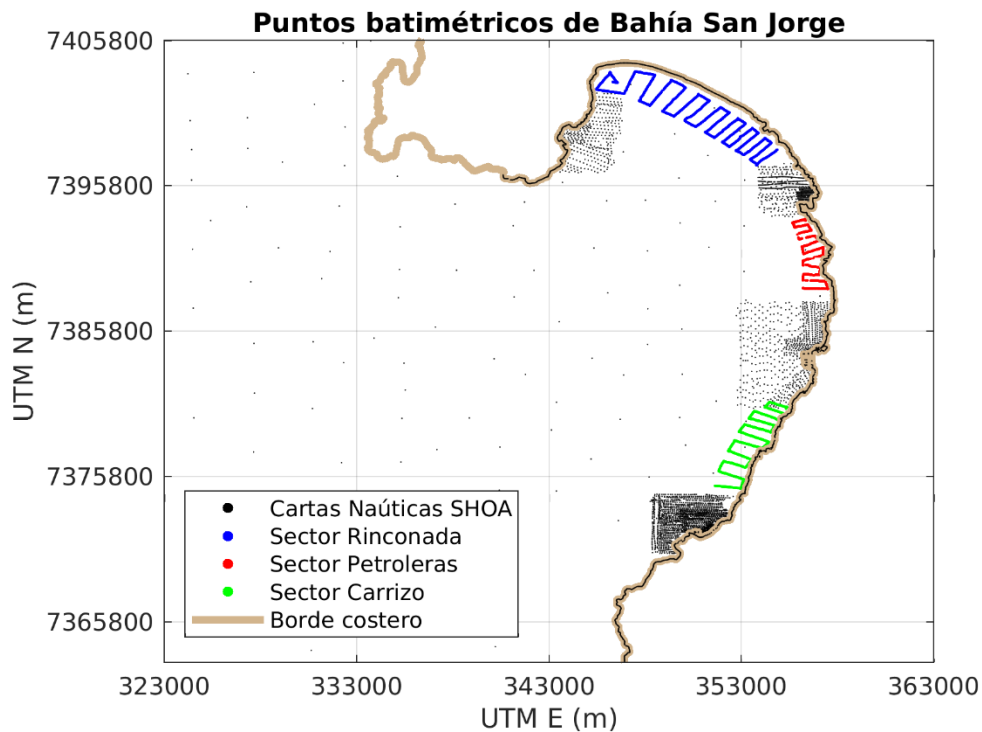


Figura 5.4-2 Ubicación de registro de profundidades para generar el modelo batimétrico a utilizar en la modelación de Bahía San Jorge.

La información presentada en la Figura 5.4-2 para los sectores de Rinconada, Petroleras y Carrizo, se corrigió para referenciar toda la información al mismo datum que utilizan las cartas náuticas del SHOA, correspondiente al nivel de reducción de sondas (NRS), esquematizado en la Figura 5.4-3. Para esto, se utilizaron los datos de altura de marea que se presenta para cada medición de profundidad efectuada por la ecosonda, asignándole la altura de marea correspondiente al momento de registro y corrigiendo mediante la Ecuación (1).

$$prof = prof_0 - h_m + cal \quad (1)$$

Donde $prof$ es la profundidad batimétrica referenciada al NRS, $prof_0$ es la profundidad batimétrica registrada por la ecosonda, h_m es la altura de marea correspondiente al momento de los registros y cal es el calado de la embarcación el cual se consideró constante e igual a 0,5 m. En la Figura 5.4-4 se muestra un gráfico de la altura de marea (h_m) utilizada para corregir las mediciones de batimetría en los sectores mencionados.

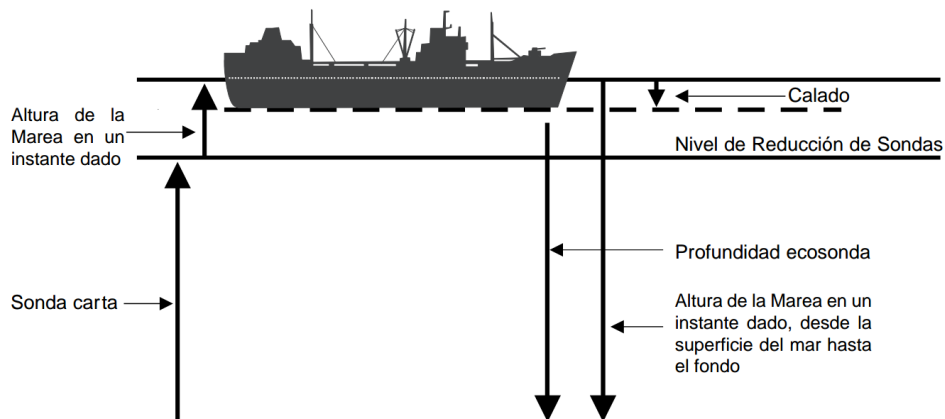


Figura 5.4-3 Esquema de profundidad ecosonda ($prof_0$), altura de marea en un instante dado (h_m) y calado (cal). Tablas de marea de la costa de Chile, SHOA, 2018.

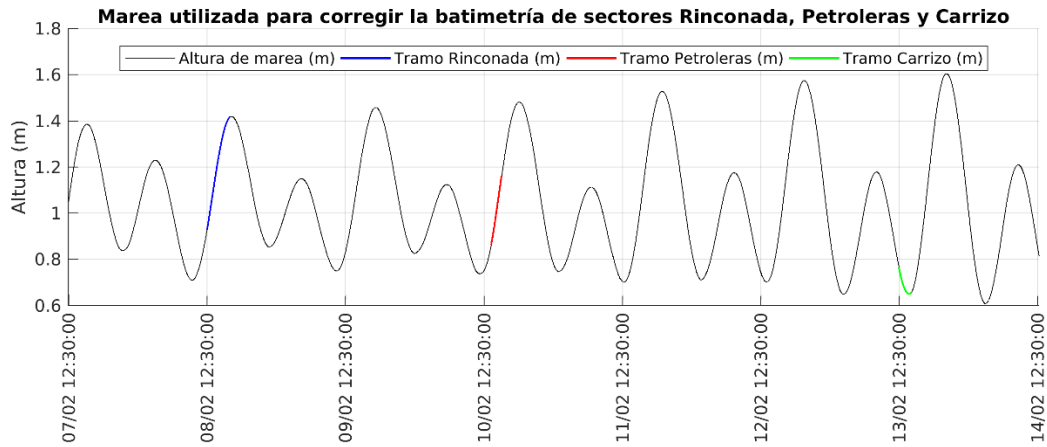


Figura 5.4-4 Tramos de registro de marea (h_m) utilizados para referenciar la profundidad al NRS, según la Ecuación (1).

En base a la información de profundidades corregidas, se obtiene un perfil batimétrico de la zona el cual es utilizado en el modelo numérico (Figura 5.4-5).

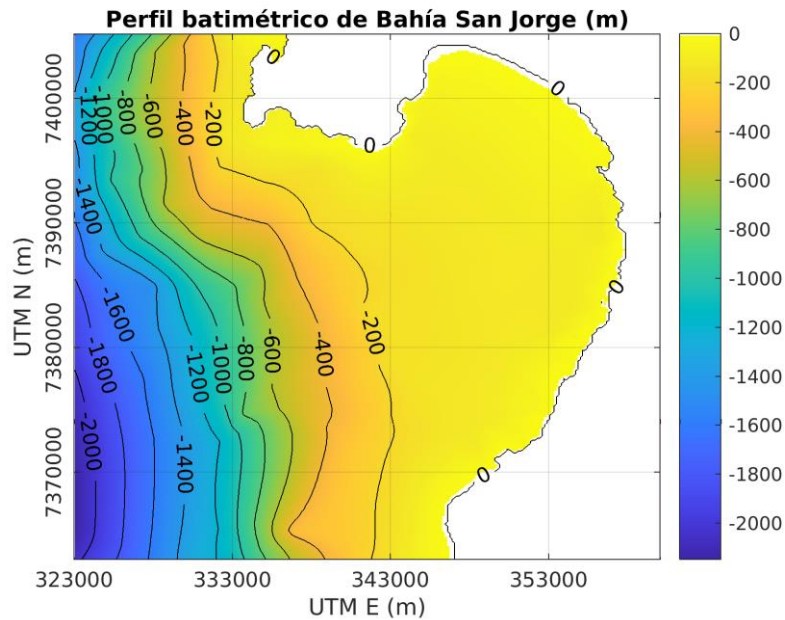


Figura 5.4-5 Batimetría construida y utilizada en la modelación de Bahía San Jorge.

d) *Condiciones de borde*

Las condiciones de borde requeridas por el modelo numérico corresponden a las condiciones meteorológicas en el tiempo y a la altura de marea en los bordes del dominio, siendo estas las forzantes del modelo. Además, las otras forzantes corresponderán a los RILES que son descargados al dominio, que son representados a través de un caudal y concentración de las sustancias estudiadas que entran a la Bahía. Cada una de estas condiciones de borde, son explicadas y presentadas a continuación.

· Meteorología

Dentro de las principales forzantes de los modelos hidrodinámicos se tiene a las variables atmosféricas, las que se son ingresadas a la modelación como grillas espaciales con una cierta resolución temporal. Con estos datos se busca representar los fenómenos físicos, químicos y biológicos de respuesta a las variables forzantes, como pueden ser los cambios de temperatura por la radiación solar, los niveles turbulencia existente en la columna de agua como consecuencia de la acción del viento, entre otros.

La información de las condiciones meteorológicas se obtuvo de los registros de la estación Altos la Portada del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ubicada al norte del sector La Chimba (356.577,89 m Este; 7.399.972,75 m Norte), y que cuenta con una elevación de 105 m.s.n.m. Del registro de la estación se utilizaron los datos de temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, precipitación, presión atmosférica, humedad relativa y de radiación de onda corta. Por otra parte, la radiación de onda larga se obtuvo a partir de información del modelo de reanálisis NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR). Los registros corresponden al año 2018 y sus resultados gráficos se muestran a continuación. Cabe mencionar que en el gráfico de la Figura 5.4-9, en donde se muestra la rosa de los vientos utilizados, se observa que las direcciones que destacan son la suroeste (S-W): 37,6% y sur (S): 26,7%, seguidas de los vientos provenientes del norte (N): 12,3% y del noreste (N-E): 11,1%. El resto de porcentajes se detalla en la Tabla 5.4-2, en donde se observa que prácticamente no se registran vientos sureste, los cuales corresponden a un 0,5% del total de registros, y por lo que no son posibles de visualizarse en la Figura 5.4-9. En cuanto a la magnitud de los vientos, ellos se encuentran ajustados por altura, utilizando la relación $v(h) = v_o(h/h_o)^\alpha$, desde una altura inicial h_o de 2 m hasta h de 10 m, utilizando el registro del INIA (v_o) y un coeficiente α igual a 0,27 (aire estable sobre la superficie del agua abierta). Se obtiene un rango de velocidades entre 0 y 6 m/s, el cual se divide en rangos de 1 m/s en la Figura 5.4-9.

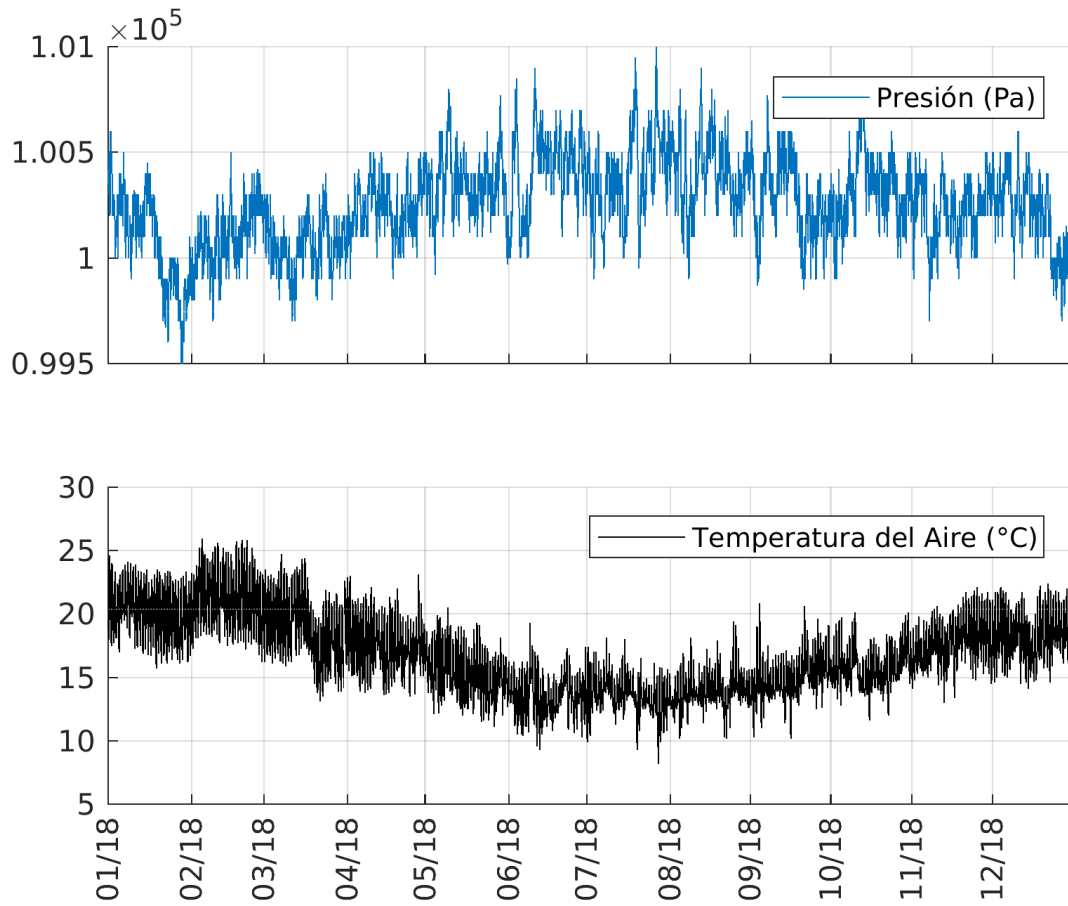


Figura 5.4-6 Series de tiempo (mes/año) de la temperatura del aire y presión atmosférica, utilizadas como condición de borde en modelación.

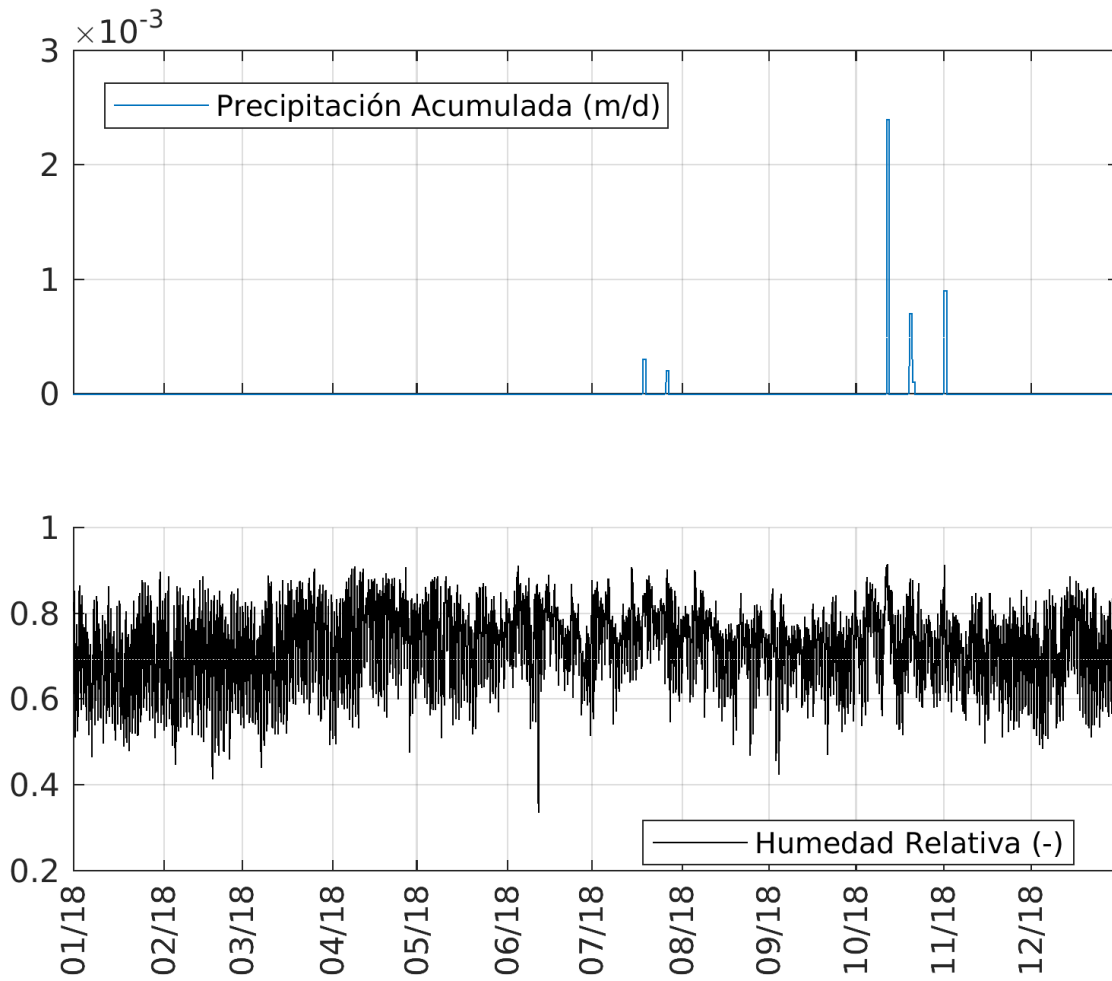


Figura 5.4-7 Series de tiempo (mes/año) de la precipitación diaria acumulada y humedad relativa, utilizadas como condición de borde en modelación.

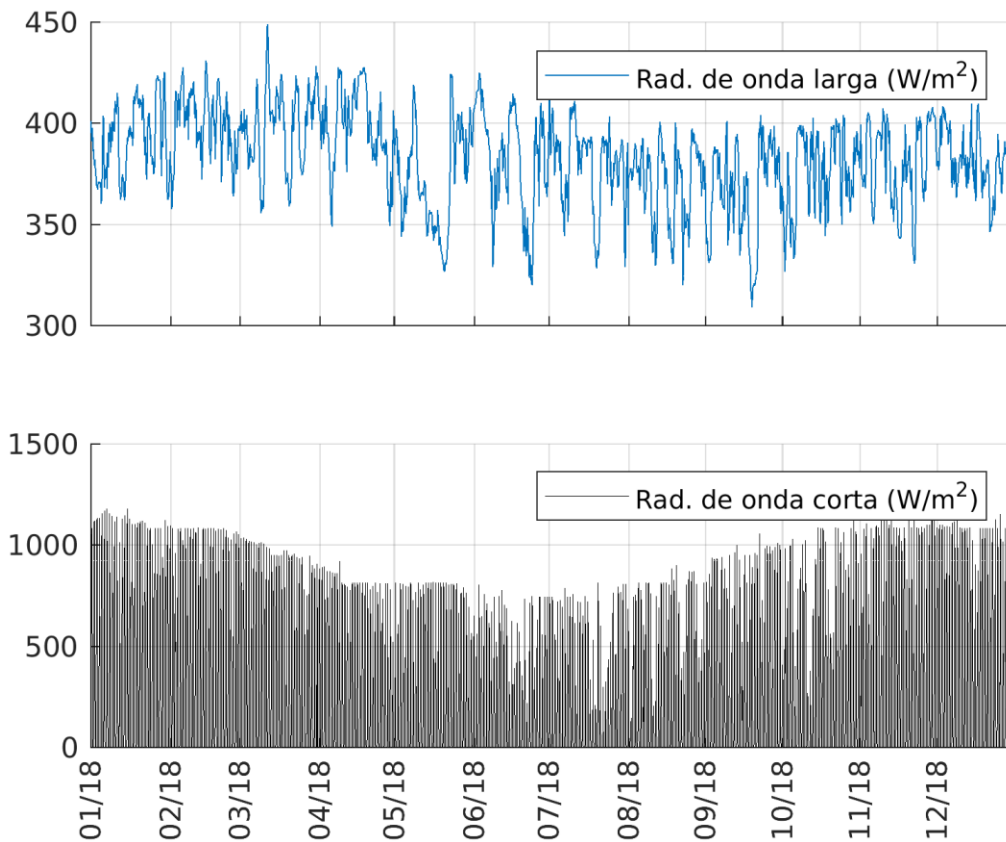


Figura 5.4-8 Series de tiempo (mes/año) de la radiación de onda larga y corta incidente, utilizadas como condición de borde en modelación.

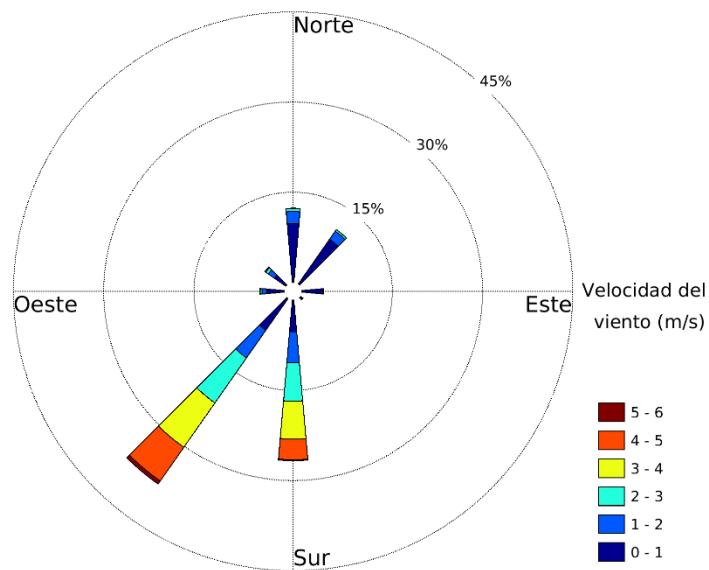


Figura 5.4-9 Rosa de los vientos año 2018; magnitud (0-6 m/s) y dirección del viento utilizados como condición de borde. Se observa la dominancia de los vientos S-W y S.

Tabla 5.4-2: Porcentaje de las direcciones del viento, 2018.

N	N-E	E	S-E	S	S-W	W	N-W
12,3%	11,1%	3,6%	0,5%	26,7%	37,6%	4,0%	4,2%

- Datos de marea

Para poder considerar en la modelación la dinámica de mareas en la bahía, se ingresó la altura de marea en los márgenes norte, sur y poniente del dominio considerado. El registro de mareas correspondiente se presenta en la Figura 5.4-10.

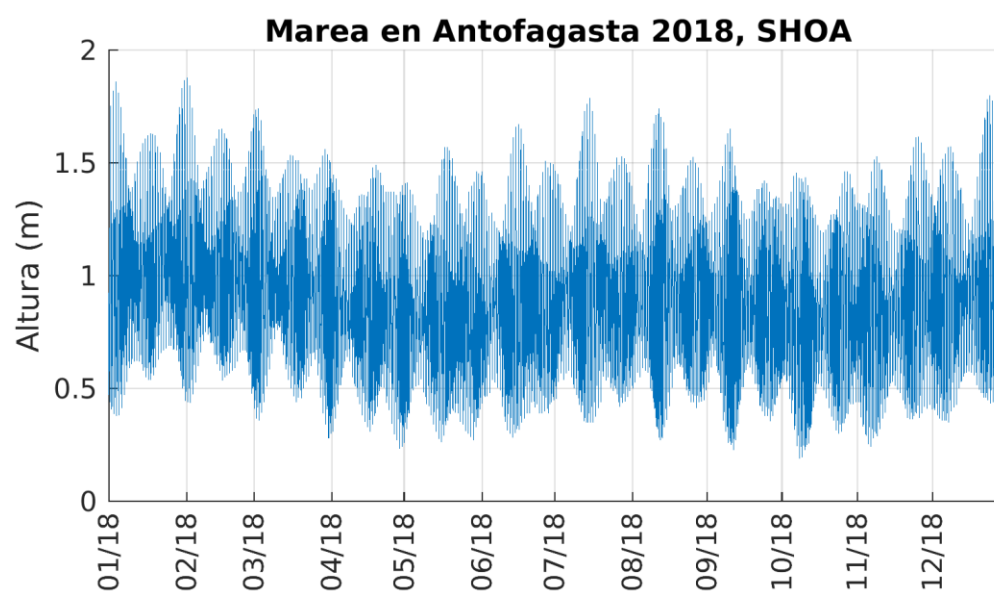


Figura 5.4-10 Mareas obtenidas a partir del SHOA, Tablas de marea de la costa de Chile (2018) en Puerto Patrón Antofagasta (Lat: 23° 39' S, Lon: 70° 25' W).

La altura de marea que se utilizó corresponde a las mareas entregadas por SHOA en su publicación “Tablas de marea de la costa de Chile 2018”, en el Puerto Patrón Antofagasta (Lat: 23° 39' S, Lon: 70° 25' W) las cuales fueron corregidas por los registros de presión atmosférica (Patm) de la estación meteorológica Altos la Portada del INIA (Figura 5.4-6), según la información que se presenta en la Tabla 5.4-3. Para encontrar la corrección de marea asociada a un valor de presión atmosférica fuera del rango o entre dos valores de Patm de los que se muestran en la Tabla 5.4-3, se realizó una extrapolación o interpolación lineal, respectivamente, considerando el ajuste lineal que se muestra en la Ecuación (2).

$$\text{Corrección (m)} = -0,01 \cdot \text{Patm(hPa)} + 10,3 \quad (2)$$

En la Figura 5.4-11, se muestra el ajuste lineal empleado y los puntos de la Tabla 5.4-3. Cabe mencionar que el coeficiente de correlación de estos datos es igual a 1.

Tabla 5.4-3: Tabla de correcciones para las alturas de marea en función de la presión atmosférica (SHOA: Tablas de marea de la costa de Chile 2018).

Presión Atmosférica (Patm)		Corrección (m)
Hectopascales (hPa)	Milímetros de mercurio (mmHg)	
963	722	+0,50
968	726	+0,45
973	730	+0,40
978	734	+0,35
983	738	+0,30
988	741	+0,25
993	745	+0,20
998	749	+0,15
1003	752	+0,10
1008	756	+0,05
1013	760	0,00
1018	764	-0,05
1023	768	-0,10
1028	771	-0,15
1033	775	-0,20
1038	779	-0,25

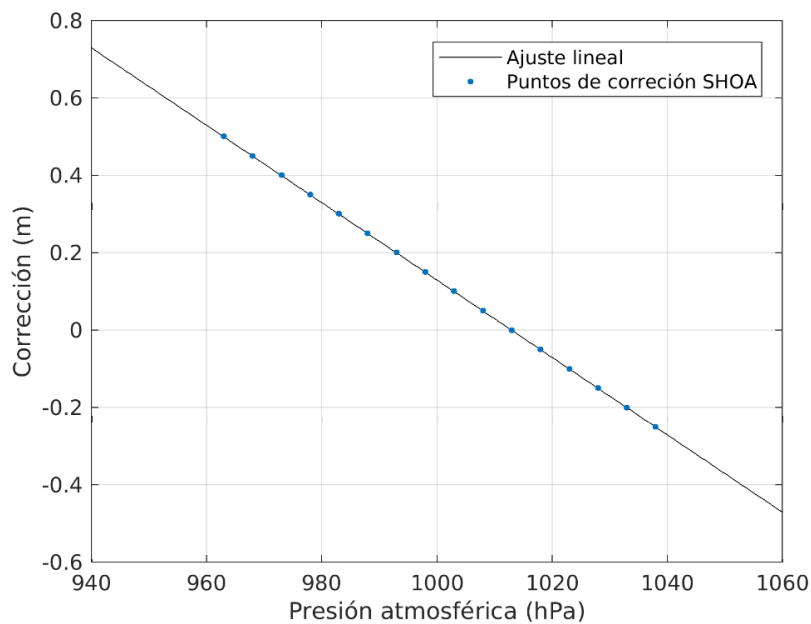


Figura 5.4-11 Ajuste lineal para obtener la corrección de mareas por presión atmosférica (**Corrección (m) = $-0,01 \cdot Patm(hPa) + 10,3$**).

Dado que el tamaño del dominio es pequeño, no se consideró variaciones en los valores de altura de marea en función de las coordenadas E y N según UTM 19K, por lo que se utilizó la misma condición de borde de marea para las celdas de los bordes norte, sur y poniente.

· RILES

Respecto a las descargas de RILES en la bahía, se consideraron las fuentes de emisión que se muestran en la Tabla 5.4-4, las que se obtuvieron a partir de la recopilación de información de las fuentes SMA y SISS. Cada una de las descargas fue caracterizada por un valor de caudal y una concentración promedio del agente relevante al estudio. Dependiendo de las características del RIL, ellos podrán tener o no los diferentes agentes estudiados, los que se indican y caracterizan por cada RIL en la Tabla 5.4-5.

Tabla 5.4-4 Plantas asociadas a descargas de RILES en Bahía de San Jorge.

ID	Rut	UTM E	UTM N	Razón Social	Planta	Punto
ID 01	61103019-3	353.406	7.406.190	Fuerza Aérea de Chile III Brigada Aérea - ALA BASE N.1	BASE AÉREA CERRO MORENO	C. MORENO
ID 02	79587210-8	349.933	7.370.869	MINERA ESCONDIDA LIMITADA	PUNTA COLOSO 0	PUNTO 1 COLOSO
ID 03	79587210-8	349.718	7.371.557	MINERA ESCONDIDA LIMITADA	PUNTA COLOSO 0	PUNTO 2 EWS
ID 04	99540870-8	356.810	7.395.724	AGUAS DE ANTOFAGASTA S A	PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR LA CHIMBA	AWT
ID 05	96653590-3	344.717	7.400.202	Granja Marina S.A.	Hatchery de Ostiones	Punta Colorado
ID 06	96579410-7	358.082	7.388.063	EMPRESA CONCESIONARIA DE SERVICIOS SANITARIOS S.A.	ES - GRAN ANTOFAGASTA	EMISARIO SUB- MARINO

Tabla 5.4-5 Valores promedio de concentración de parámetros en mg/l y caudales característicos para cada una de las descargas consideradas y sus respectivas desviaciones estándar.

Parámetro	ID 01	ID 02	ID 03	ID 04	ID05*	ID06
Caudal (m ³ /d)	562±209	13979±5153	157334±49733	90783±6326	864	68488±91066
Aluminio		0,257±0.495		0,002*		1,00**
Cobre	0,018±0.016	0,088±0,074	0,099±0.072		0,140	
Cromo Total		0,068±0.100		0,023*		
Estaño				0,030±0.020		
Hierro total	0,579±2.392	0,072±0.216		0,043±0.023		
Manganeso	0,025±0.023	0,017±0.038				
Níquel		0,055±0.098				
Plomo		0,046±0.048				
Zinc	0,081±0.069	0,021±0.078	0,005±0.015		0,060	

* Sólo se cuenta con datos de valor medio, por lo que no se pudo calcular desviación estándar.

** No se tiene información de metales ni nutrientes de la descarga de la PTAS, por lo tanto, se consideró un valor unitario para la modelación y poder estudiar la trayectoria de dispersión y advección del fluido descargado.

Debido a que la información de la descarga ID06 de la Planta de tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), no cuenta con datos de metales ni nutrientes, para efectos de la modelación se consideró un trazador de concentración unitaria para analizar la trayectoria y las zonas de influencias, producto de los fenómenos de dispersión y advección que afectarían a un determinado elemento presente en el fluido. En la Figura 5.4-12, se muestra el resultado de este análisis y se puede notar que la zona que podría estar influenciada por un contaminante es principalmente la costa, tanto hacia el sur como hacia el norte del punto de descarga.

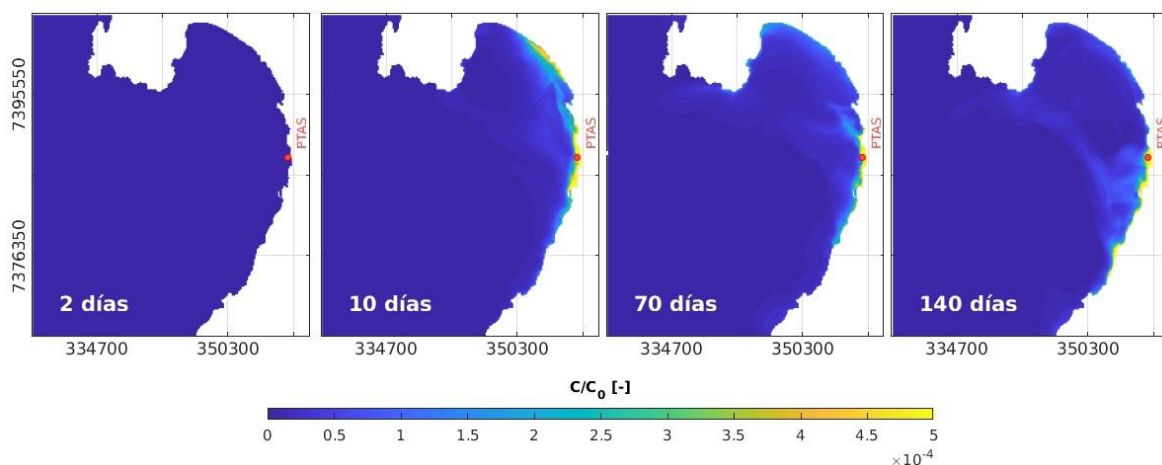


Figura 5.4-12 Modelación en AEM3D de un trazador unitario para analizar zona de influencia de las descargas desde la PTAS.

Las coordenadas de los puntos de descarga de RILES de la Tabla 5.4-4 se mantuvieron al ser ingresados al modelo, con excepción de las coordenadas del punto de descarga “ID 01”; para el cual se mantuvo su coordenada Este, pero donde se debió reposicionar en la coordenada Norte para que este pudiera coincidir con el borde costero. Esto debido al error asociado a la discretización del espacio en el modelo. Un esquema de la ubicación de los puntos de descarga de RILES ingresados al modelo se muestra en la Figura 5.4-13.

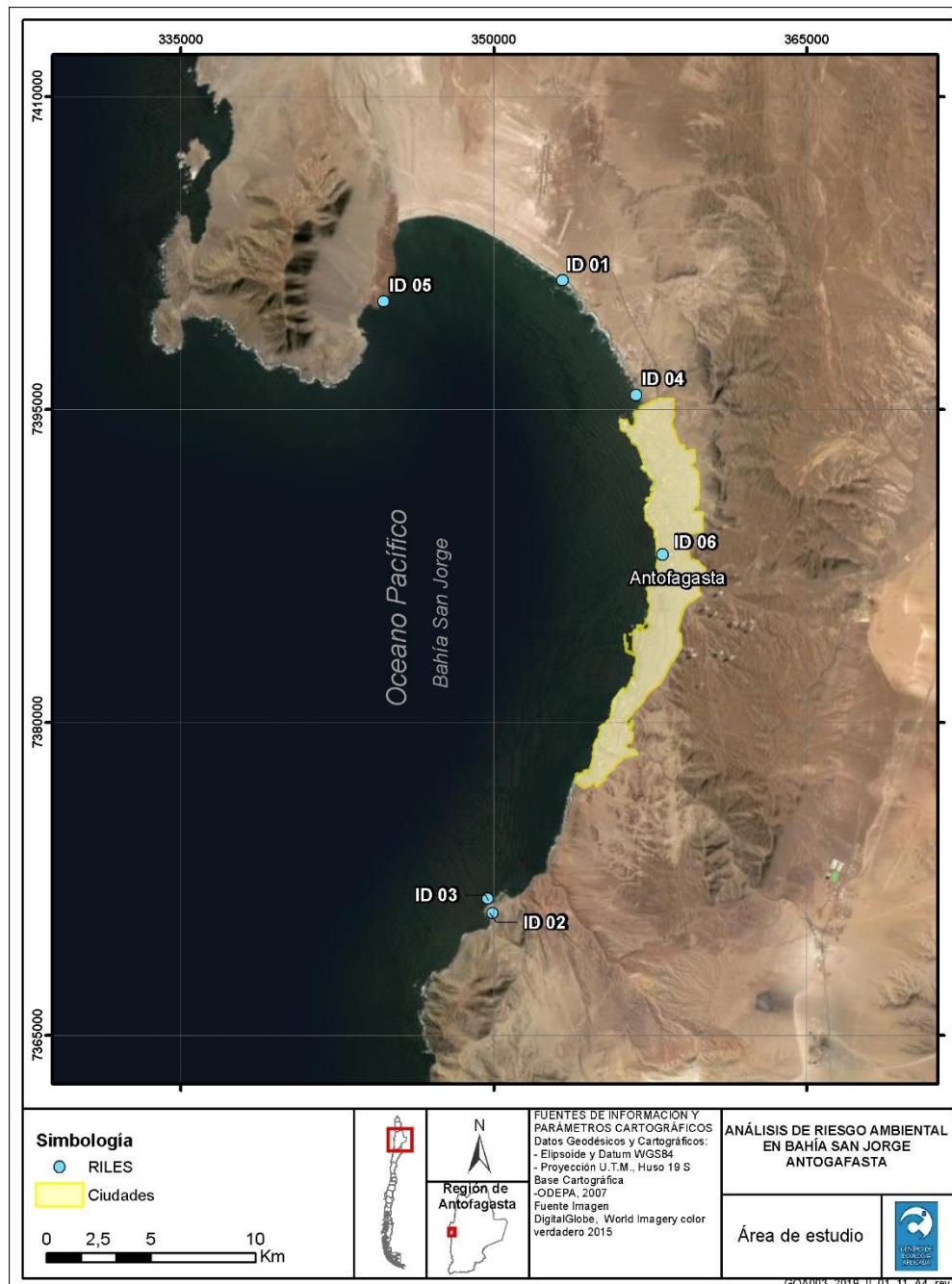


Figura 5.4-13 Ubicación de los puntos de descarga de RILES en el modelo AEM3D.

· Condiciones iniciales

Para la definición de las condiciones iniciales al interior del dominio de simulación, se consideraron los valores de los parámetros entregados en la Tabla 5.4-6. En el caso de la altura superficial del agua y temperatura del agua, se utilizaron como referencia los registros de la Figura 5.4-10 y Figura 5.4-6, respectivamente. En el caso de los parámetros de salinidad y oxígeno disuelto, se utilizaron valores estándar.

Tabla 5.4-6: Condiciones iniciales isotrópicas para el dominio considerado.

Parámetro	ID Modelo	Valor	Unidad
Altura superficial del agua	HEIGHT	0,91	msnm
Magnitud de viento	WIND_SPEED	0,0	m/s
Dirección de viento	WIND_DIR	0,0	°
Temperatura del agua	WTR_TEMP	15,0	°C
Salinidad	SALINITY	35,0	mg/l
Diatomeas	FDIAT	0,0	µg/L
Cianobacterias	CYANO	0,0	µg/L
Sólidos suspendidos totales en sedimento	SSOL1_SED	0,0	mg/L
Oxígeno disuelto	DO	9,0	mg/L
Nitrato	NO3	0,0	mg/L
Fósforo	PO4	0,0	mg/L
Sílice	SiO2	0,0	mg/L
Sólidos suspendidos totales	SSOL1	0,0	mg/L
Amonio	NH4	0,0	mg/L

e) Resultados

Como parte del análisis de los resultados, se evaluó la confianza de los resultados modelados, por lo que se deben tomar en cuenta las posibles fuentes de error, como por ejemplo, la incertidumbre en las mediciones y la complejidad inherente a representar los procesos naturales a través de un modelo.

Luego, se pueden tener errores del modelo que derivan de las inexactitudes en la descripción de los procesos, parametrizaciones, condiciones iniciales y forzantes, mientras que los errores en las observaciones surgen del error de medición básico, escalas inapropiadas para representar procesos (por ejemplo, datos que son influenciados por procesos a pequeña escala), falta de replicación en sistemas altamente heterogéneos y/o problemas en las instalaciones de medición (Allen, 2007).

Para evaluar los errores, se utilizó la *función de costo (CF)*, la cual es un valor adimensional que indica la bondad del ajuste cuantificando la diferencia entre resultados del modelo y datos de medición (OSPAR Commission, 1998). Esta función se muestra en la Ecuación (3).

$$CF = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|D_i - M_i|}{\sigma_D} \quad (3)$$

Donde D son los datos medidos, M los resultados del modelo, N el total de datos y σ_D es la desviación estándar de los datos medidos. Este indicador es una medida de relación entre la diferencia de los datos medidos y los modelados, y una medida de la varianza de los datos. Así, mientras más cerca esté el valor de cero mejor es la bondad del modelo. El criterio utilizado para determinar la calidad del ajuste se establece en la Tabla 5.4-7.

Tabla 5.4-7: Criterio para evaluar la calidad del ajuste (OSPAR Commission, 1998).

Calidad del ajuste entre datos medidos y modelados	Rango de valores
Muy bueno	<1
Bueno	1-2
Razonable	2-5
Malo	>5

Complementariamente, también es calculado el coeficiente de correlación (R) entre los datos modelados y los medidos, según la Ecuación (4).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2 \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}} \quad (4)$$

En donde \bar{D} y \bar{M} son promedios de los datos medidos y modelados, respectivamente. Mientras más cercano a 1 sea R , mejor es el ajuste de los datos modelados.

En cuanto a los resultados, los datos utilizados para validar el modelo corresponden a las mediciones de las velocidades de corriente en la vertical, efectuadas con el ADCP en una campaña con duración de un mes realizada entre el 5 de septiembre y el 5 de octubre de 2018. Estas mediciones fueron realizadas en punto con coordenadas 357.095,4 m Este y 7.388.197,9 m Norte, Huso 19 K. Así, se comparan los perfiles promedio mensuales del registro del ADCP con los datos modelados en el periodo concurrente y se calculan los estadísticos de CF y R de Ecuación (3) y Ecuación (4), respectivamente. Los resultados de CF y R , calculados para comparar los promedios temporales mensuales del mes de campaña, se muestran en la Figura 5.4-14.

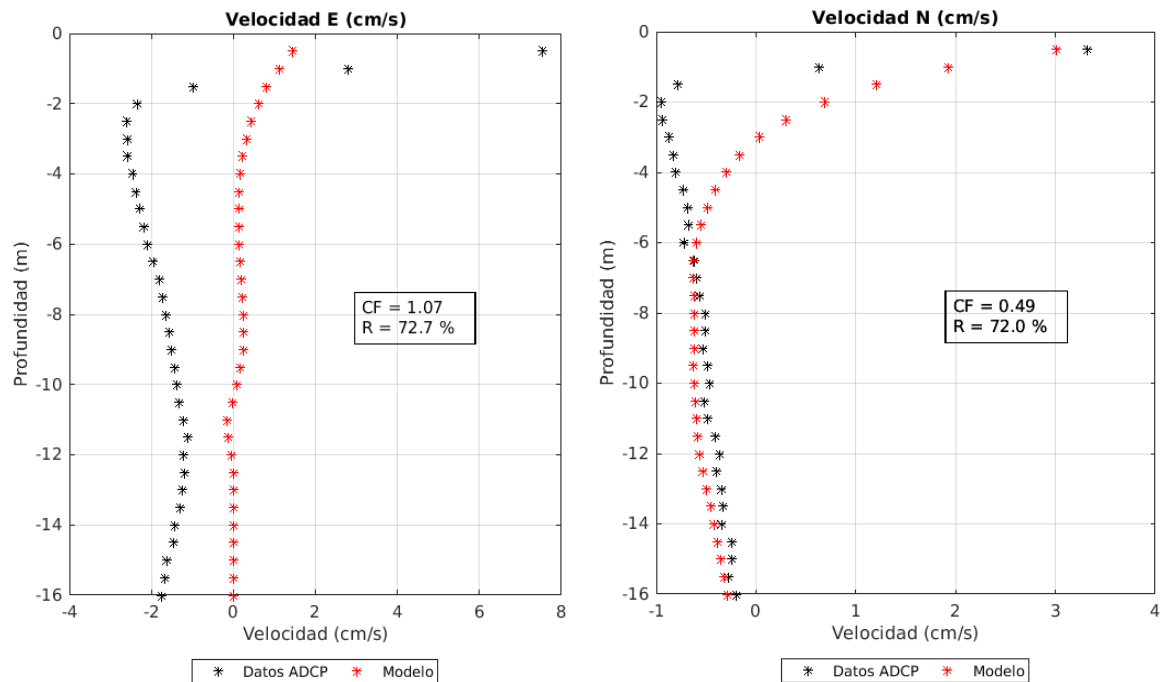


Figura 5.4-14: Resultados de estadísticos CF y R para evaluar la confianza en el ajuste: promedios mensuales de los perfiles verticales de velocidades.

En la Figura 5.4-14 se observa que los coeficientes de correlación de los ajustes del perfil de velocidad promedio temporal Este y Norte son sobre el 70%, y que los valores de CF indican que la bondad de los ajustes es buena (Este) y muy buena (Norte), según la categorización presentada en la Tabla 5.4-7.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones numéricas desarrolladas para bahía de San Jorge. Los resultados son entregados considerando un análisis de la hidrodinámica del sistema en el tiempo, representando la componente física del sistema.

- Campo de velocidades y tiempos de residencia en Bahía San Jorge

A continuación, se presentan los análisis sobre la dinámica de corrientes y patrones de circulación, aproximados por medio del análisis del campo de velocidades y tiempos de residencia. Esta capa es construida con los resultados de todas las capas verticales del modelo, y corresponde al cálculo de la dirección y magnitud promedio en la vertical por cada celda. Esta capa es estimada para cada intervalo de tiempo, y permite representar de forma aproximada las condiciones medias esperadas en la bahía.

Los valores de cada celda son promediados temporalmente, integrando la información en rangos horarios cada seis horas (escala sinóptica), y agrupados según sea la temporada que corresponda (verano, otoño, invierno o primavera). En la Figura 5.4-15 se muestran los resultados del campo de velocidades para esta capa promedio, donde los vectores de dirección del flujo se grafican en blanco, mientras que con la escala de colores se muestran los valores de la magnitud de velocidad correspondiente.

Por otro lado, se calculó un tiempo de residencia (TR) de las partículas de agua en una celda del dominio en el plano x-y (Ecuación (5)). En la Figura 5.4-16 se grafican los resultados obtenidos de este parámetro para el dominio en estudio. Al igual que para el campo de velocidades, se llevó a cabo un análisis temporal en base a la integración por estaciones del año y rangos horarios.

$$TR = \left(\frac{V_x}{dx} + \frac{V_y}{dy} \right)^{-1} \quad (5)$$

En la Figura 5.4-15 se observan los resultados obtenidos para la capa promedio, donde se observa que en todas las estaciones del año existe una circulación anticiclónica en el centro del dominio. Esta circulación muestra mayores velocidades en la rama Este, zona en la cual las corrientes van en sentido S-N y SE-NW. Además, se observa que en algunas zonas puntuales del borde costero existe un aumento de la velocidad, lo cual se asocia a zonas que en general son más someras y reactivas a los efectos del viento. Aun con lo anterior, ellas serán analizadas en mayor profundidad como parte de desarrollo completo de los resultados de la modelación.

En la Figura 5.4-16 se muestran los tiempos de residencia de la capa promedio, donde es posible observar cómo la zona con mayor abrigo contaría mayores tiempos de residencia.

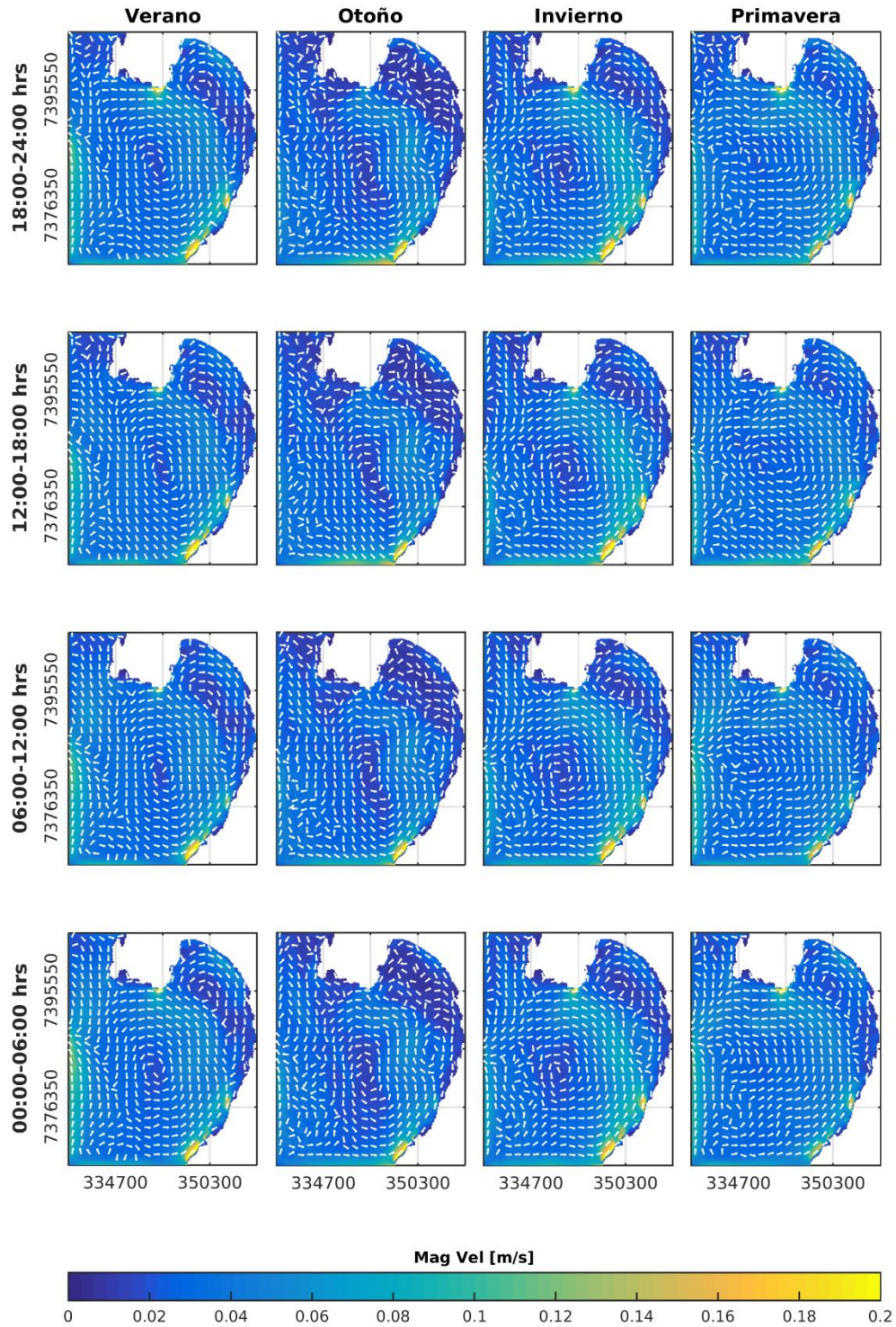


Figura 5.4-15: Campo de velocidades medias en Bahía San Jorge, separadas por estación y rango horario, para capa promediada en la vertical.

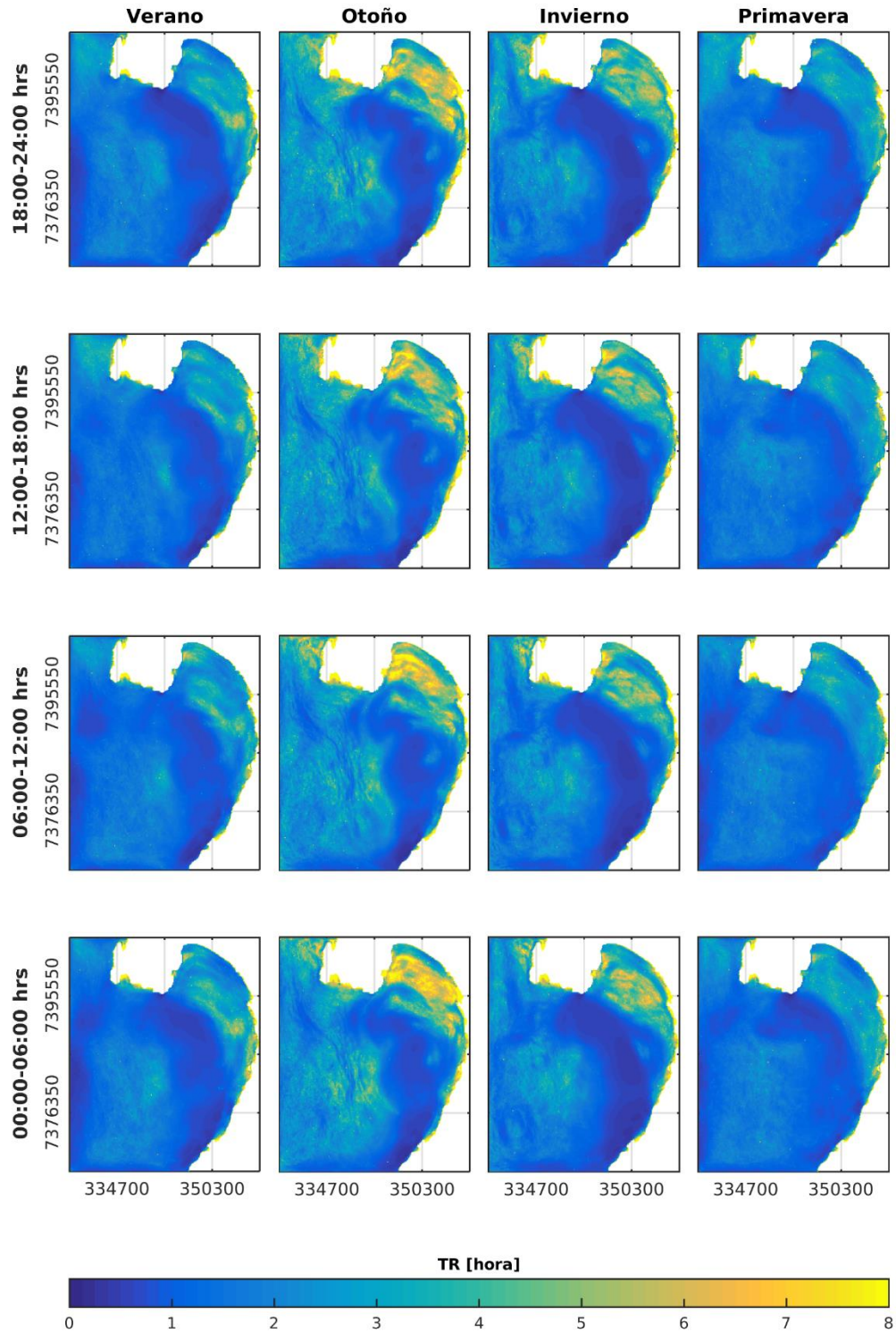


Figura 5.4-16: Tiempos de residencia en Bahía San Jorge, separadas por estación y rango horario, para capa promediada en la vertical.

- ii. Actualización de la información de calidad de agua, sedimentos y biota de la bahía de San Jorge – Campaña Invierno 2018

La campaña de invierno se realizó en 3 periodos. El primero entre el 3 y 10 de septiembre de 2018, donde se realizó calidad de agua, sedimentos submareales, CTD, comunidades planctónicas. Luego, por condición de puerto cerrado y mala visibilidad, debido a marejadas acaecidas entre el 5 y 8 de septiembre de 2018, es que los videos submareales y parte de los lances de derivadores fueron realizados a posteriori, entre el 10 al 15 de noviembre de 2018. Por último, para la componente sedimento intermareal, se realizó una actualización de las coordenadas de los puntos de muestreo el 26 de noviembre de 2018.

De la configuración de muestreo establecida en el Plan de Trabajo, se listan a continuación la totalidad de las actividades realizadas.

- **Calidad fisicoquímica agua y sedimento submareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en bahía San Jorge en estaciones BSJ-1@10.
- **Calidad fisicoquímica sedimento intermareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en bahía San Jorge en estaciones TI-02, TI-05, TI-06 y TI-08, muestras ubicadas en playas recreacionales, en acuerdo con la contraparte técnica.
- **Parámetros fisicoquímicos en la vertical:** Lance de sonda CTD en estaciones BSJ-1@10 para el muestreo de la columna vertical de agua de parámetros físicos: clorofila, conductividad, densidad, potencial redox, oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura y turbidez. Se incorporan datos de disco Secchi durante el lance de la sonda para análisis de visibilidad de fondo.
- **Correntometría euleriana:** Instalación de ADCP para el muestreo de corrientes en la vertical durante un periodo de 30 días. El instrumento se fondeó el 4 de septiembre a las 12:11 horas a una profundidad de 19 m aproximadamente.
- **Correntometría lagrangiana:** Lance de derivadores en 3 puntos (2 estaciones por punto) para el análisis de corrientes durante distintas condiciones de marea (llenante y vaciante) en sus fases lunares mensuales (sicigia y cuadratura).
- **Comunidades planctónicas:** Muestreo de comunidades planctónicas en superficie y profundidad, en estaciones BSJ-1@10.
- **Comunidades bentónicas:** muestreo de la infauna para caracterización de comunidades bentónicas, en estaciones BSJ-1@10.

Cabe señalar que se realizaron modificaciones respecto a la ubicación inicial de algunas estaciones establecidas en el plan de trabajo. A continuación, se mencionan y se fundamenta tal modificación, como sigue:

- La estación BSJ-1 presentó problemas en el muestreo en sedimentos producto que el estrato es del tipo rocoso. Por lo cual se modificó la ubicación original, quedando en las cercanías de playa Juan López.
- A solicitud de la contraparte técnica, las estaciones de muestreo de sedimentos intermareales fueron modificadas para ser tomadas dentro de las playas de recreación de San Jorge, ya que la ubicación anterior solo se encontraba cercana a las playas, pero no insertas en ella. Lo anterior fue modificado durante la segunda parte de la campaña a terreno, donde se realizó un remuestreo en las playas. Producto de lo anterior, es que este muestreo se realizó entre los días 10 al 15 de noviembre de 2018.

La Tabla 5.4-8 muestra la ubicación final de las estaciones de muestreo del terreno.

Tabla 5.4-8 Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de calidad fisicoquímica y biológica en bahía San Jorge, actualizada en base a los alcances del terreno

UTM WGS 84 Zona 19K		Punto	Descripción	Sector asociado
Este (m)	Norte (m)			
343.604	7.399.051	BSJ-01	Calidad fisicoquímica agua y sedimento. Comunidades planctónicas y submareales	Juan López
347.002	7.403.653	BSJ-02		La Rinconada
356.597	7.394.491	BSJ-03		La Chimba
357.200	7.387.975	BSJ-04		Las Petroleras
356.583	7.384.462	BSJ-05		Puerto Antofagasta
356.501	7.383.847	BSJ-06*		Puerto Antofagasta
355.405	7.384.622	BSJ-07		Centro de la bahía
354.544	7.378.567	BSJ-08		Quebrada Carrizo
351.072	7.371.887	BSJ-09		Puerto Coloso
350.825	7.371.902	BSJ-10**		Puerto Coloso
357.733	7.391.014	TI-02	Calidad fisicoquímica sedimento. Comunidades intermareales	Playa Trocadero
357.438	7.385.029	TI-05		playa Paraíso
356.326	7.381.518	TI-06		Balneario municipal
351.355	7.371.702	TI-08		Puerto Coloso (Playa Amarilla)
343.556	7.398.876	TI-01	Comunidades intermareales	Juan López
356.574	7.394.223	TI-03		La Chimba
357.975	7.387.930	TI-04		Las Petroleras
354.902	7.378.605	TI-07		Quebrada Carrizo

*: Ubicación estación ATI-2 de PVA Antofagasta Terminal Internacional

** : Ubicación estación SM-12 de PVA Puerto de Minera Escondida (Coloso)

A modo de resumen respecto a lo realizado en la campaña de terreno invierno 2018, la Figura 5.4-17 muestra la ubicación geográfica del muestreo de calidad ambiental de la bahía realizado en San Jorge. Asimismo, la Figura 5.4-18 muestra las coordenadas de lance de derivadores (corrientes lagrangianas) y fondeo de ADCP (corrientes eulerianas).

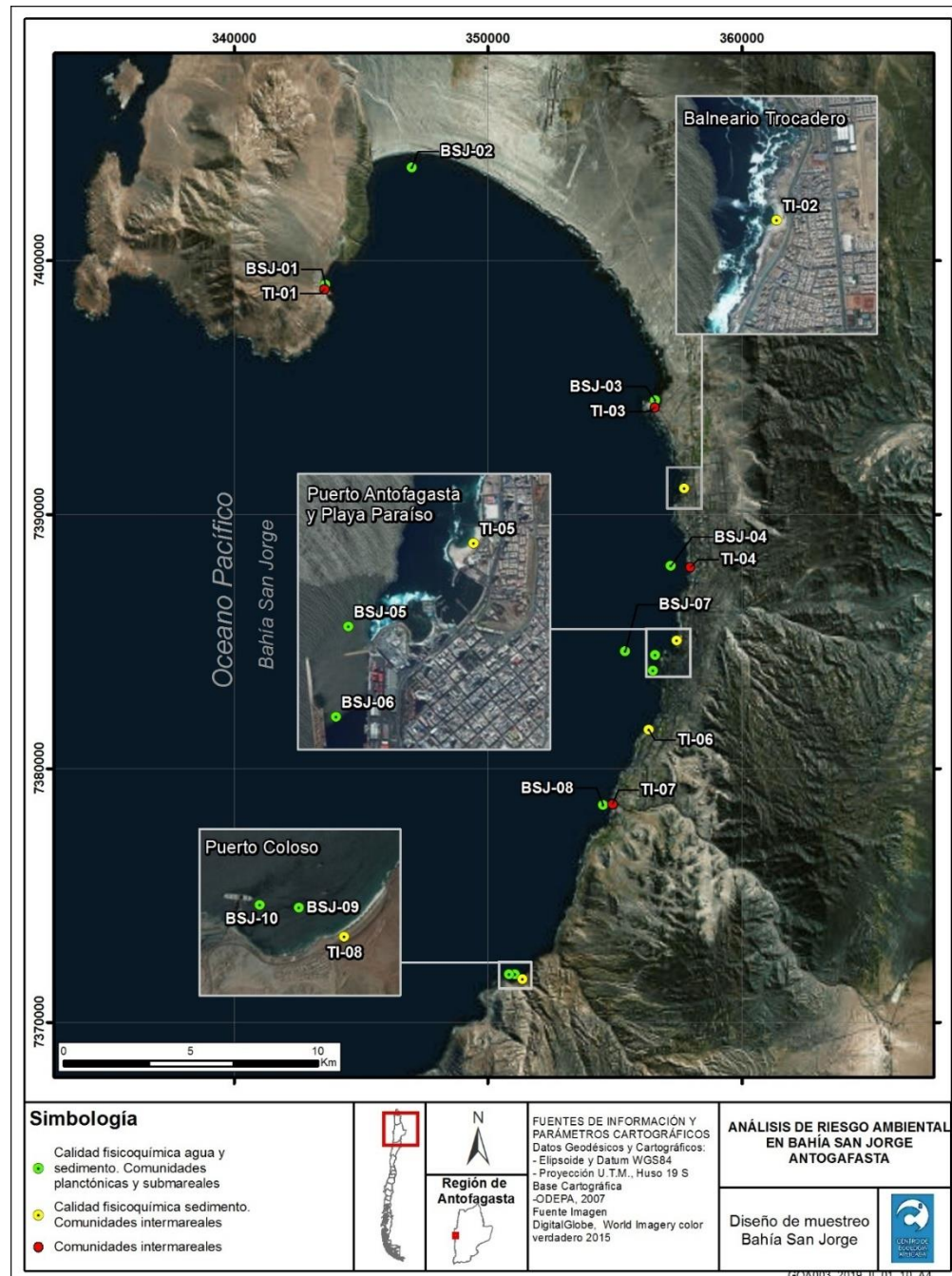


Figura 5.4-17 Ubicación geográfica de estaciones de muestreo de calidad fisicoquímica y biológica ejecutado por CEA en bahía San Jorge. Se muestra ubicación de estaciones actualizadas respecto al plan de trabajo original, en conformidad a lo indicado en la Tabla 5.4-8.

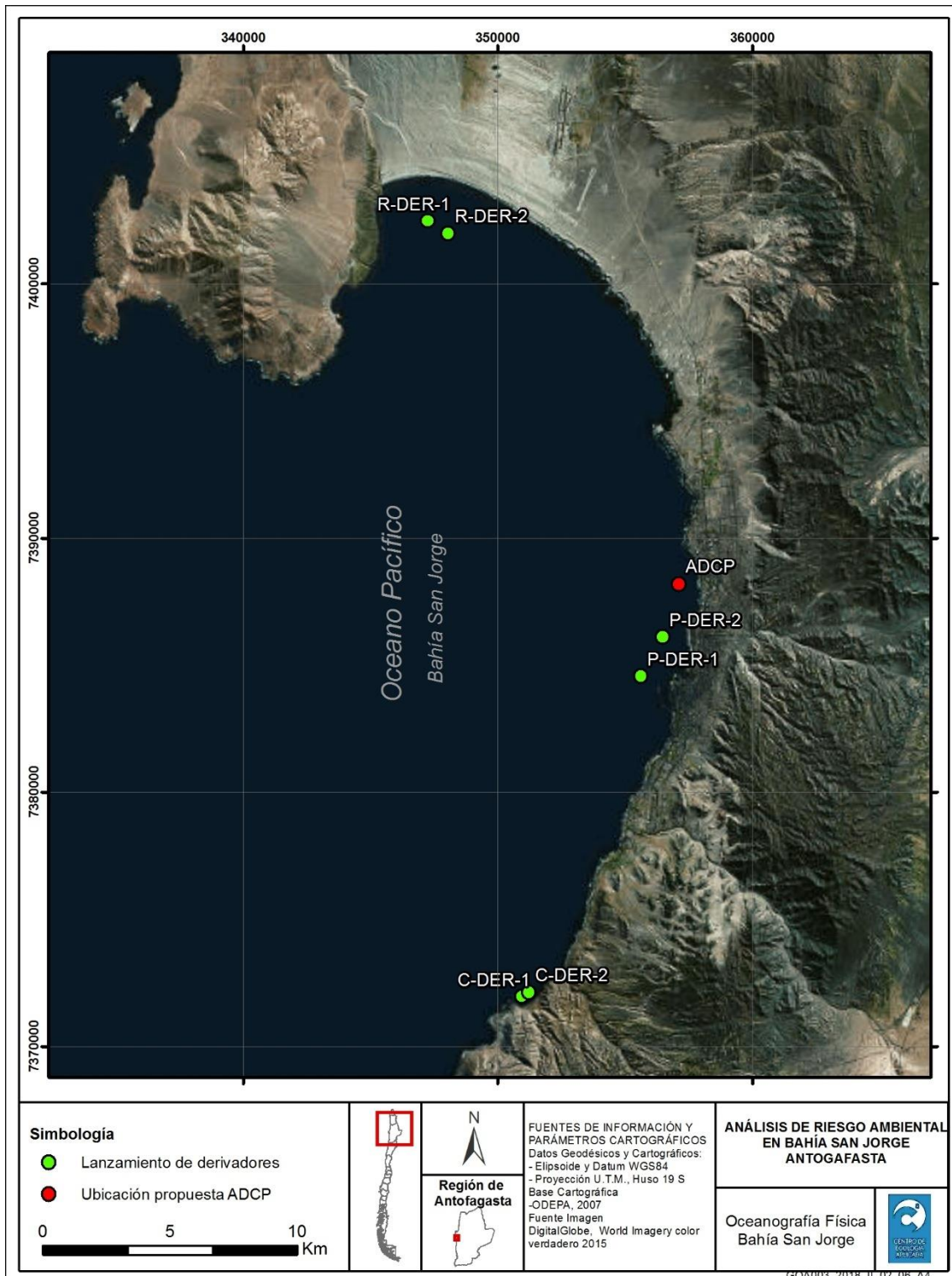


Figura 5.4-18 Ubicación geográfica de muestreo de parámetros asociados a la oceanografía física ejecutado por CEA en bahía San Jorge

A continuación, se presentan los resultados asociados a la campaña de terreno invierno 2018.

a) *Resultados de muestras de calidad química de agua y sedimento invierno 2018*

· Calidad de agua invierno 2018

En la columna de agua de bahía San Jorge, se registraron parámetros *in-situ* (pH, y conductividad). Además, en laboratorio se analizaron parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales y turbidez); nutrientes (amonio y fósforo total); parámetros biológicos (coliformes totales, fecales y DBO5); metales disueltos (aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc); y otros parámetros de importancia ambiental (aceites y grasas, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos totales). A continuación, se describen en mayor detalle los parámetros *in-situ* y los seis metales identificados como agentes potencialmente contaminantes en el Objetivo específico 2. El resto de los resultados se presentan en **Anexos digitales\04_OE3\2_Base_datos_Agua_Sedimentos**.

En general, las aguas presentaron conductividades homogéneas en la bahía San Jorge. Los mayores valores de conductividad se registraron en los puntos BSJ-03 y BSJ-09, estrato fondo y superficial, respectivamente. Al evaluar el comportamiento en la columna de agua, en cada uno de los puntos de muestreo se observaron leves disminuciones desde el estrato superficial al fondo (Tabla 5.4-9)

Las aguas de la bahía San Jorge fueron clasificadas, en general, como moderadamente alcalinas (Hounslow, 1995) a excepción de los puntos BSJ-02, estrato de fondo y BSJ-09, estrato superficial. Así mismo, la mayoría de los puntos de muestreo y estratos se encontraron dentro de los rangos establecidos en la normativa internacional EPA (2009), sin observar efectos adversos de largo plazo (reproducción) en organismos expuestos de manera continua, es decir sin un riesgo crónico, como también dentro del rango establecido en la norma canadiense CCME (2007), lo cual indicaría que no se producirían efectos crónicos en los organismos, clasificando las aguas como aptas para la vida acuática. La excepción se observó en BSJ-02, estrato de fondo y BSJ-09, estrato superficial, cuyos valores fueron menores al límite mínimo, indicando aguas ácidas (Tabla 5.4-9)

Tabla 5.4-9 Parámetros in situ medidos en invierno de 2018. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo	Conductividad (μS/cm)	pH (unidad)	Turbidez (NTU)
BSJ-01-S	52900	7,84	1,07
BSJ-01-F	52400	7,64	0,57
BSJ-02-S	52600	7,74	1,03
BSJ-02-F	52300	5,75	0,57
BSJ-03-S	53000	7,93	1,39
BSJ-03-F	52600	7,61	1,13

Punto de muestreo		Conductividad (μ S/cm)	pH (unidad)	Turbidez (NTU)
BSJ-04-S		52700	7	2,59
BSJ-04-F		52000	7,58	0,94
BSJ-05-S		52400	7,53	1,04
BSJ-05-F		52900	7,61	0,61
BSJ-06-S		52100	7,97	1,35
BSJ-06-F		52400	7,04	11,33
BSJ-07-S		52400	7,73	1,85
BSJ-07-F		52500	7,54	0,77
BSJ-08-S		52800	7,97	1,33
BSJ-08-F		52500	7,94	1,12
BSJ-09-S		53000	5,52	1,44
BSJ-09-F		52600	7,6	1,09
BSJ-10-S		52500	7,7	1,76
BSJ-10-F		52900	7,55	1,17
Decreto N°144, 2009		-	-	-
EPA, 2009 (US)	CMC	-	-	-
	CCC	-	6,5 - 8,5	-
CCME, 2007 (Canadá)		-	7,0 - 8,7	-
Australia y Nueva Zelanda (2000)		-	8-8,4	-

Las concentraciones de arsénico disuelto fluctuaron entre bajo el límite de detección (<0,005 mg/L) en la mayoría de los puntos de muestreo y 0,021 mg/L en BSJ-06, estrato de fondo (Tabla 5.4-10).

Las concentraciones de cadmio, cobre, mercurio y plomo disuelto se encontraron bajo el límite de detección y bajo los criterios de la EPA (2009), CCME (2007), mientras que para la normativa de Australia y Nueva Zelanda no se puede determinar el cumplimiento ya que los límites de detección son mayores a los criterios establecidos (Tabla 5.4-10).

La concentración de zinc disuelto varió entre 0,0027 mg/L en el punto BSJ-01 (estrato superficial) y 0,0254 mg/L en BSJ-04, del estrato de fondo (Tabla 5.4-10).

Tabla 5.4-10: Metales disueltos medidos en la campaña de invierno de 2018. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo	Arsénico disuelto (mg/L)	Cadmio disuelto (mg/L)	Cobre disuelto (mg/L)	Mercurio disuelto (mg/L)	Plomo disuelto (mg/L)	Zinc disuelto (mg/L)	
BSJ-01-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0027	
BSJ-01-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0030	
BSJ-02-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0076	
BSJ-02-F	0,010	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0057	
BSJ-03-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0165	
BSJ-03-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0070	
BSJ-04-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0072	
BSJ-04-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0254	
BSJ-05-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0030	
BSJ-05-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0037	
BSJ-06-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0182	
BSJ-06-F	0,021	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0089	
BSJ-07-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0116	
BSJ-07-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0070	
BSJ-08-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0227	
BSJ-08-F	0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0107	
BSJ-09-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0169	
BSJ-09-F	0,014	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0098	
BSJ-10-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0078	
BSJ-10-F	0,006	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,0175	
Decreto N°144, 2009		-	-	-	-	-	
EPA, 2009 (US)	CMC	0,069	0,04	0,0048	0,0018	0,21	0,09
	CCC	0,036	0,0088	0,0031	0,00094	0,0081	0,081
CCME, 2007 (Canadá)		12,5	0,0125	0,00012	-	-	-
Australia y Nueva Zelanda (2000)		-	-	0,0007	0,0003	0,0001	0,0022

- Calidad del sedimento submareal e intermareal invierno 2018

En los sedimentos submareales de bahía San Jorge, se analizó la granulometría de los sedimentos; hidrocarburos (hidrocarburos totales, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos aromáticos totales); y metales (aluminio, arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel y plomo). A continuación, se describen en mayor detalle aquellos seleccionados como agentes contaminantes en el Objetivo específico 2. El resto de los resultados se presentan en **Anexos digitales\04_OE3\2_Base_datos_Agua_Sedimentos.**

Los sedimentos submareales presentaron concentraciones de arsénico entre 0.86 mg/kg en el punto BSJ-01 y 65.01 mg/kg en BSJ-07. Los intermareales variaron entre 1.74 mg/kg y 3.02 mg/kg en TI-06 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Los puntos BSJ-04 al BSJ-07, superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50%, sin embargo en el BSJ-07, también se superó el criterio PEL, que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-11).

La concentración de cadmio en los sedimentos submareales varió de <0.1 mg/kg a 29.8 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-07, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre <0.1 mg/kg a 0.4 mg/kg en TI-08 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Los puntos BSJ-04 al BSJ-07, superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50%, sin embargo en el BSJ-07, también se superó el criterio PEL, que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-11).

La concentración de cobre en los sedimentos submareales varió de 14.1 mg/kg a 2654.7 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-07, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 9.9 mg/kg a 20.7 mg/kg en TI-06 y TI-08, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Los puntos BSJ-04 al BSJ-10, superaron el criterio ISQG, y el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50% en los puntos BSJ-04 al BSJ-7; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-11).

La concentración de mercurio en los sedimentos submareales varió de <0.01 mg/kg a 2.02 mg/kg en BSJ-01-BSJ-02 y BSJ-07, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron todos bajo el límite de detección (<0.01 mg/kg). Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Desde los puntos BSJ-04 al BSJ-07, se superó el criterio ISQG y además, a excepción de BSJ-06, el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-11).

La concentración de plomo en los sedimentos submareales varió de 1.6 mg/kg a 660 mg/kg en BSJ-02 y BSJ-07, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 1.4 mg/kg a 35.3 mg/kg en TI-02 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Desde los puntos BSJ-04 al BSJ-07, se superó el criterio ISQG y además, a excepción de BSJ-04 y BSJ-05, el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50% (CCME, 2002). Además, se observó en el punto intermareal TI-05 superación del criterio ISQG (Tabla 5.4-11).

La concentración de cinc en los sedimentos submareales varió de 15 mg/kg a 1400 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-07, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 15 mg/kg a 56 mg/kg en TI-05 y TI-06, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Desde los puntos BSJ-04 al BSJ-07, se superó el criterio ISQG y además, a excepción de BSJ-04 BSJ-05, el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-11).

La concentración de vanadio en los sedimentos submareales varió de 21.1 mg/kg a 137.9 en BSJ-01 y BSJ-07, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 21.7 mg/kg a 63.5 mg/kg en TI-06 y TI-08, respectivamente. No existe criterio para este parámetro (CCME, 2002) (Tabla 5.4-11).

Tabla 5.4-11 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2018. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo		Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Vanadio (mg/kg)
Submareal	BSJ-01	0.86	<0.1	14.1	<0.01	2.9	15	21.1
	BSJ-02	2.89	0.7	14.9	<0.01	1.6	25	44.8
	BSJ-03	2.11	0.2	17.8	0.02	11.1	21	49.8
	BSJ-04	11.84	2.4	676.4	1.91	79.8	241	56.5
	BSJ-05	9.62	1.6	236	1.11	69	226	42.4
	BSJ-06	21.56	1.9	279.8	0.19	171.7	379	41.8
	BSJ-07	65.01	29.8	2654.7	2.02	660	1400	137.9
	BSJ-08	3.31	0.2	27.7	0.02	7.3	51	53.5
	BSJ-09	3.13	0.1	33.7	0.04	4.4	16	46.7
	BSJ-10	2.56	0.3	87.9	0.02	6.4	19	51.9
Intermareal	TI-02	2.29	0.2	13.5	<0.01	1.4	24	28.6
	TI-05	3.02	0.4	16.6	<0.01	35.3	56	33.1
	TI-06	1.74	0.2	9.9	<0.01	1.7	17	21.7
	TI-08	2.82	<0.1	20.7	<0.01	4.9	15	63.5
CCME, 2002 (Canadá)	ISQG	7.24	0.7	18.7	0.13	30.2	124	-
	PEL	41.6	4.2	108	0.70	112	271	-

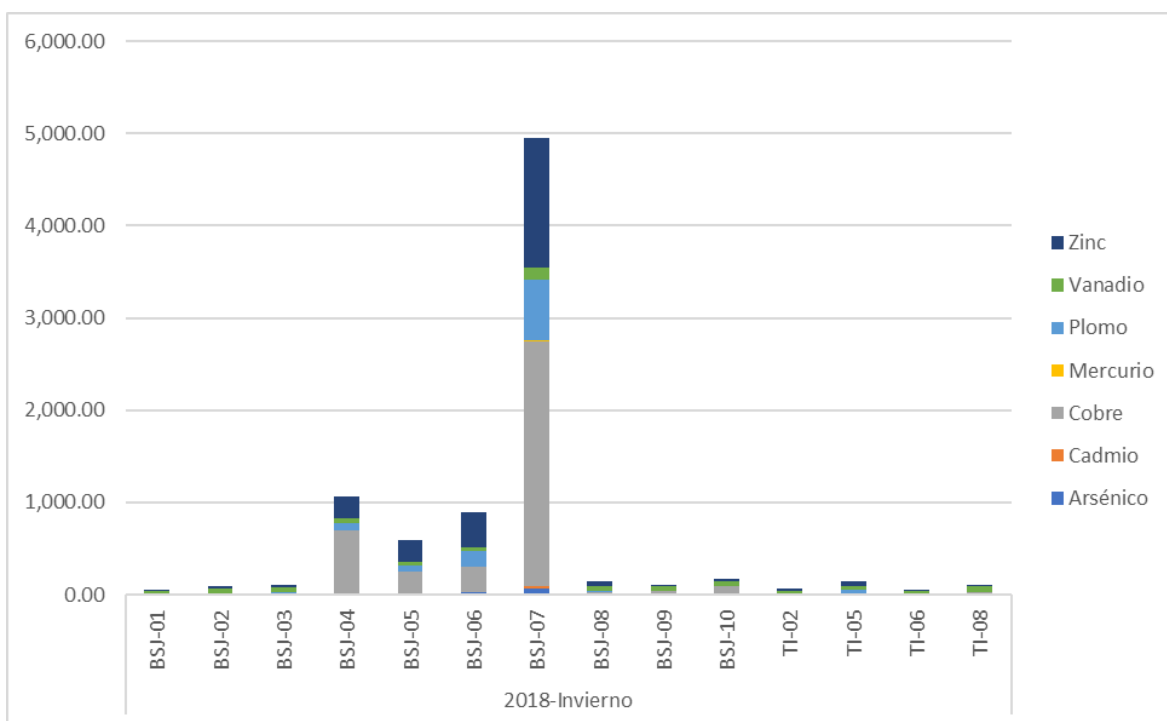


Figura 5.4-19 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2018. Bahía San Jorge.

A continuación, en la Tabla 5.4-12, se presentan los valores de hidrocarburos y materia orgánica total en sedimentos, correspondientes a la campaña de monitoreo de invierno de 2018.

Tabla 5.4-12 Hidrocarburos y materia orgánica medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2018. Bahía San Jorge.

Estrato	Punto de monitoreo	Hidrocarburos totales (mg/kg)	Materia Orgánica Total (%)
Submareal	BSJ-01	9.00	-
	BSJ-02	9.90	1.08
	BSJ-03	9.50	2.03
	BSJ-04	9.40	1.52
	BSJ-05	9.80	2.02
	BSJ-06	9.50	2.41
	BSJ-07	10.00	14.56
	BSJ-08	9.80	1.48
	BSJ-09	9.30	0.94
	BSJ-10	9.90	2.92
Intermareal	TI-02	-	1.24
	TI-05	9.40	1.37
	TI-06	9.30	1.21
	TI-08	9.80	0.77

(-) valor no registrado.

b) Parámetros fisicoquímicos en la vertical invierno 2018

Para poder realizar una caracterización de los parámetros fisicoquímicos en la columna vertical del cuerpo de agua, se realizó mediciones mediante la sonda CTD, en los puntos BSJ definidos en el plan de trabajo. Con los resultados de estos 10 perfiles verticales, se llevó a cabo un análisis estadístico cuyos resultados se grafican desde la Figura 5.4-20 hasta la Figura 5.4-28. En cada gráfico se generó bandas o “cajas” cuyos límites representan los percentiles 25 y 75 de cada distribución. Además, la marca central (en rojo) indica la mediana, mientras que los signos “+” representan valores atípicos de la muestra. Este análisis se realiza con los resultados de concentración de clorofila, conductividad, densidad, potencial RedOx, Oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura y turbidez.

Es importante señalar que, por algún motivo, el instrumento no registró datos en la estación BSJ-03, por lo tanto, solo se presentan 9 perfiles verticales. Este perfil vertical no medido, se midió en la campaña de verano de 2019.

· Clorofila

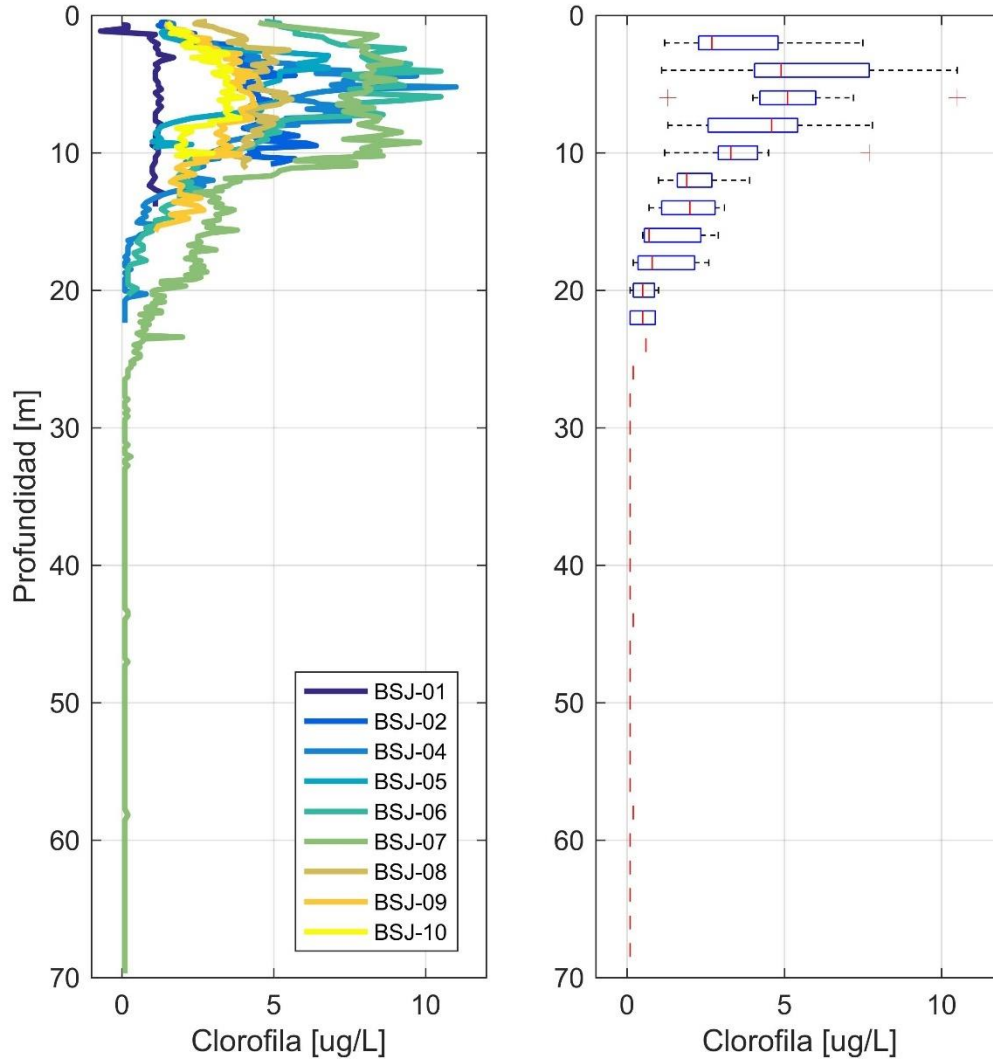


Figura 5.4-20: Perfiles de Clorofila en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018

· Conductividad

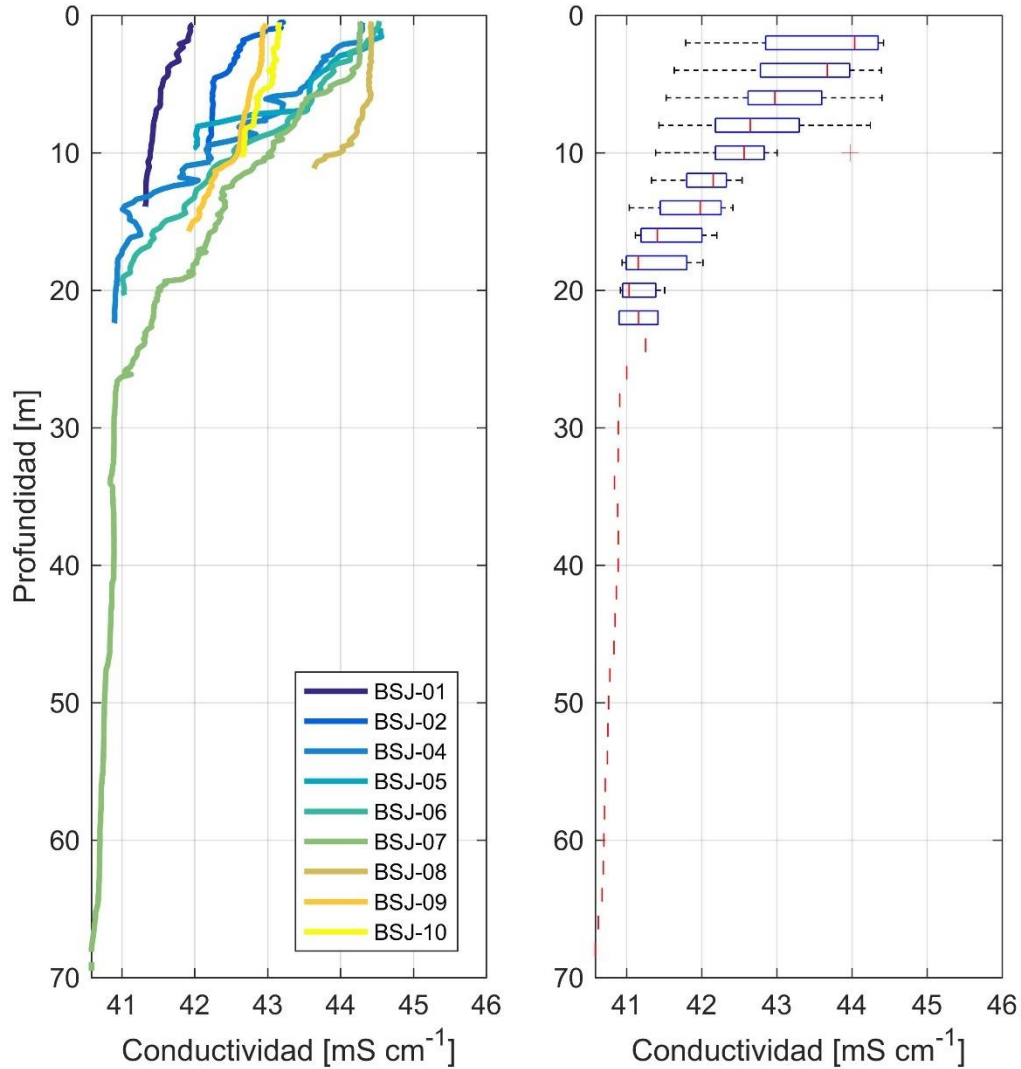


Figura 5.4-21: Perfiles de Conductividad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018.

· Densidad

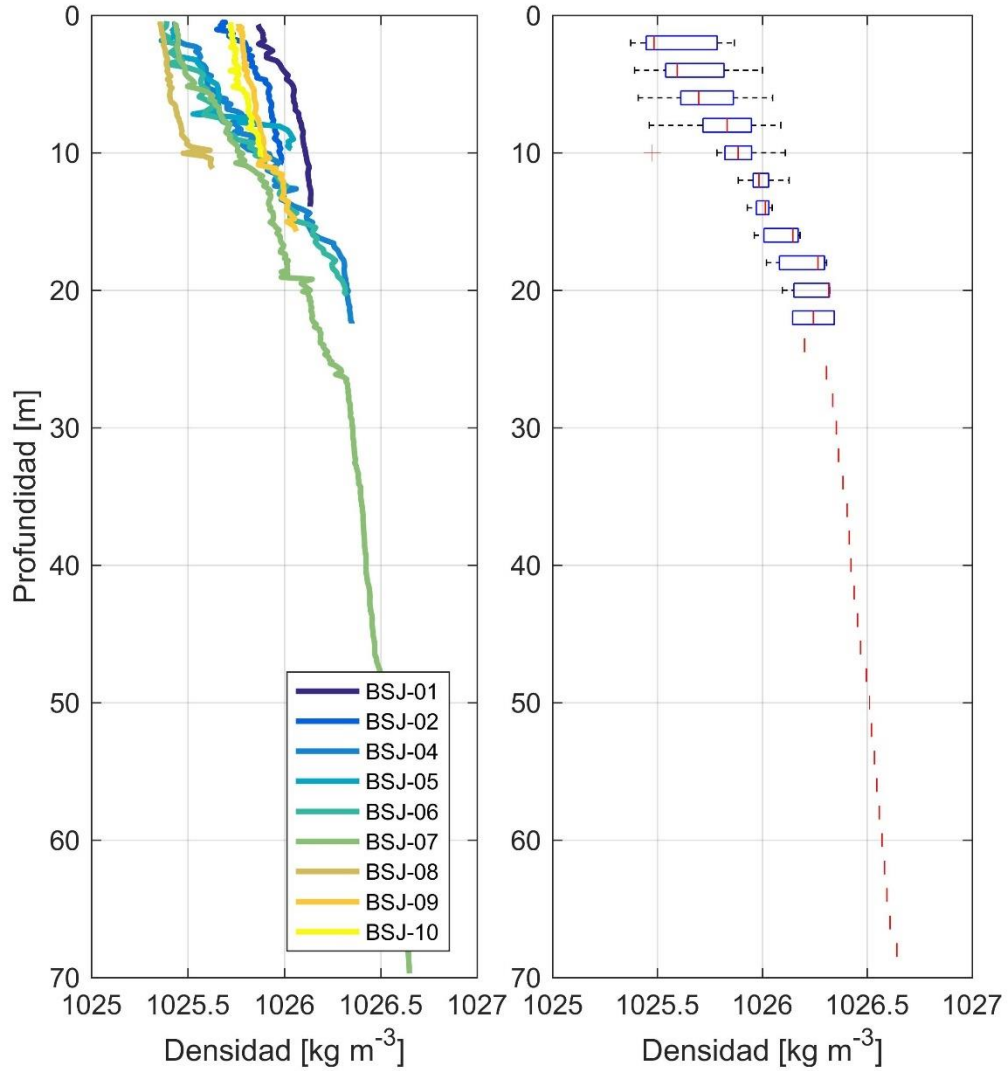


Figura 5.4-22 Perfiles de Densidad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018.

· Potencial Redox

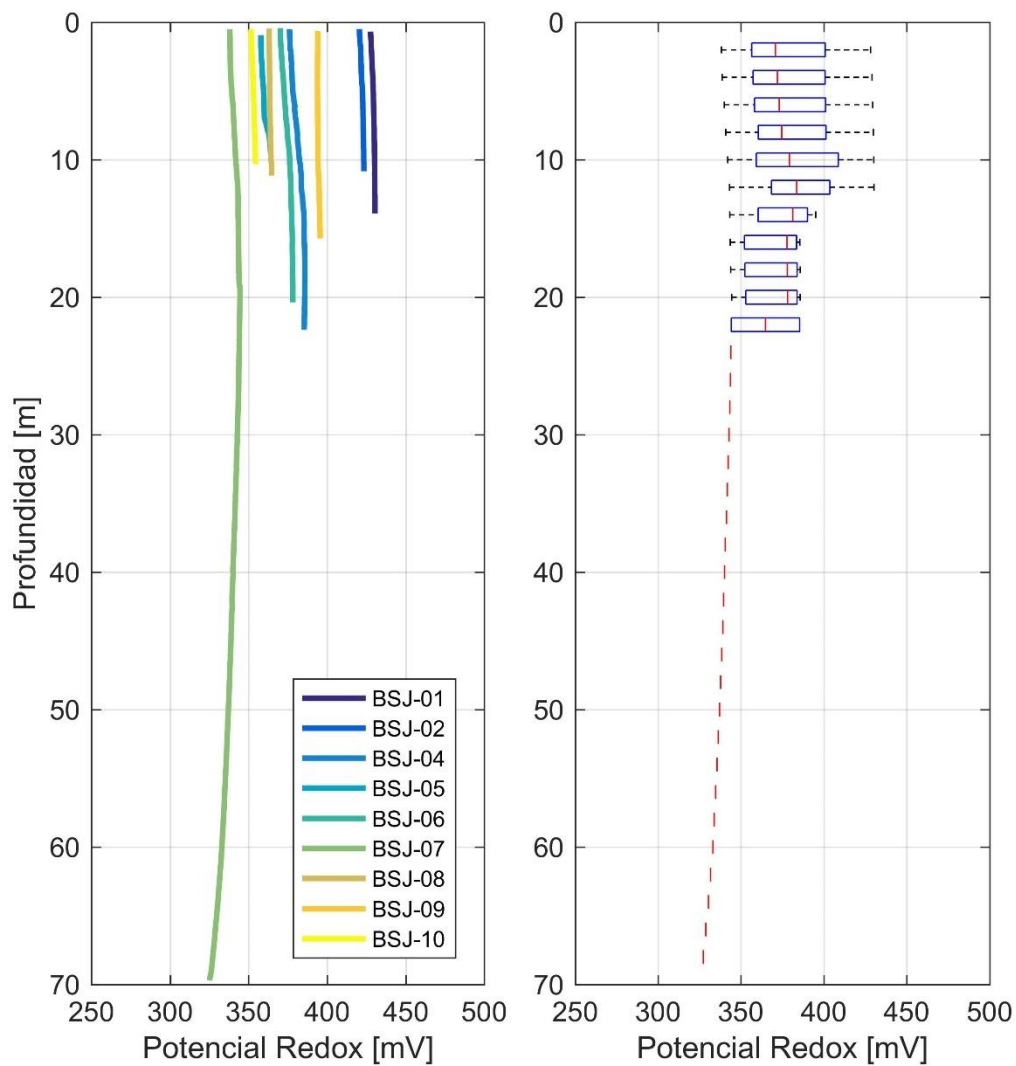


Figura 5.4-23: Perfiles de Potencial Redox en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018.

· Oxígeno Disuelto

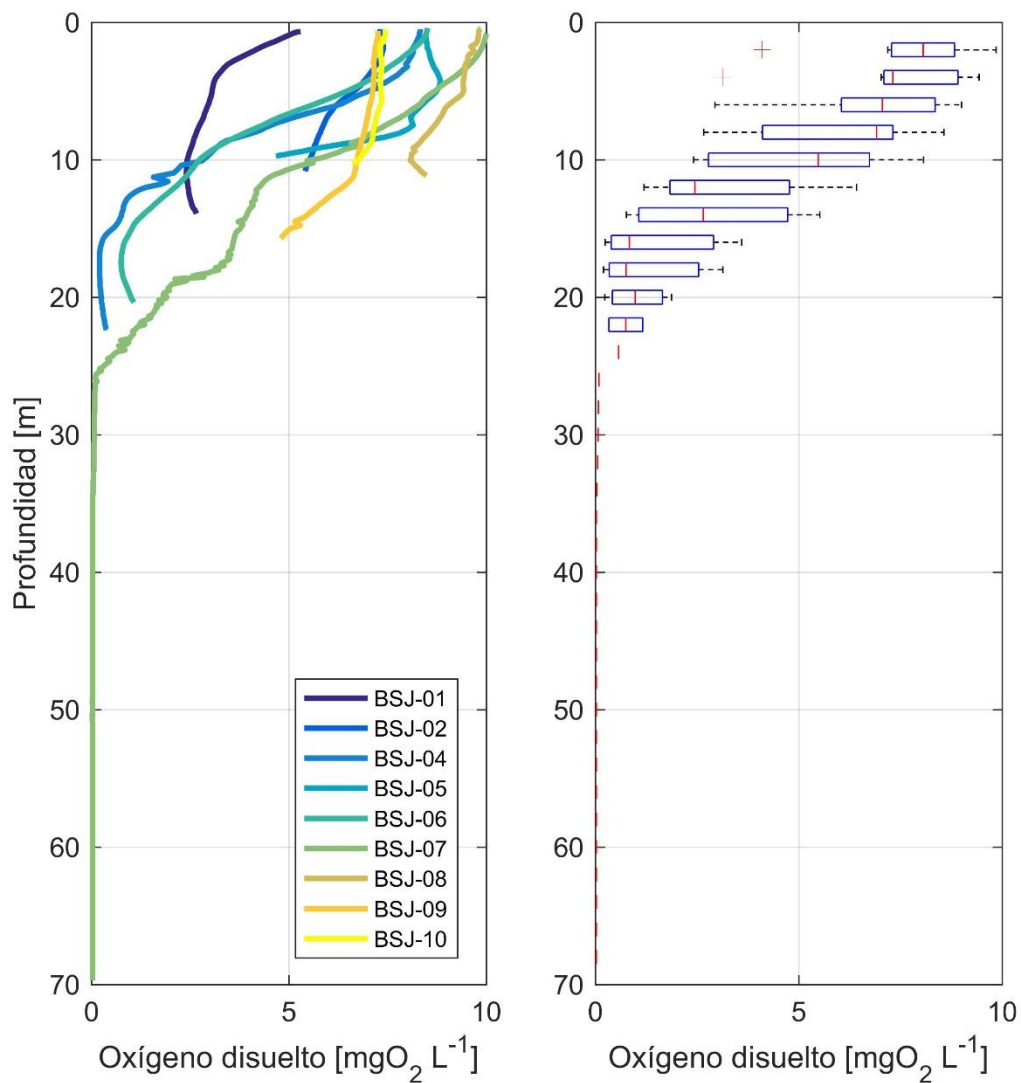


Figura 5.4-24: Perfiles de Oxígeno disuelto en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018.

· pH

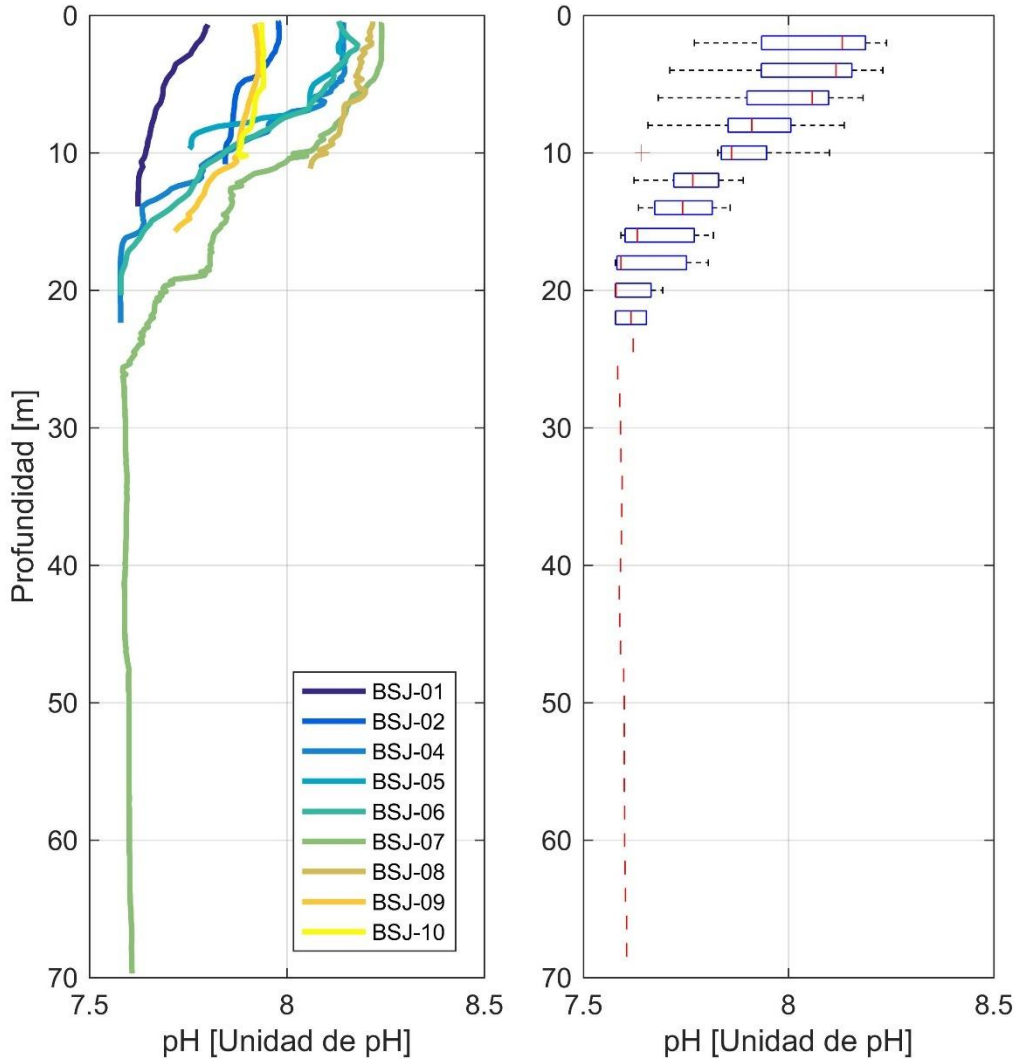


Figura 5.4-25: Perfiles de pH en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018.

· Salinidad

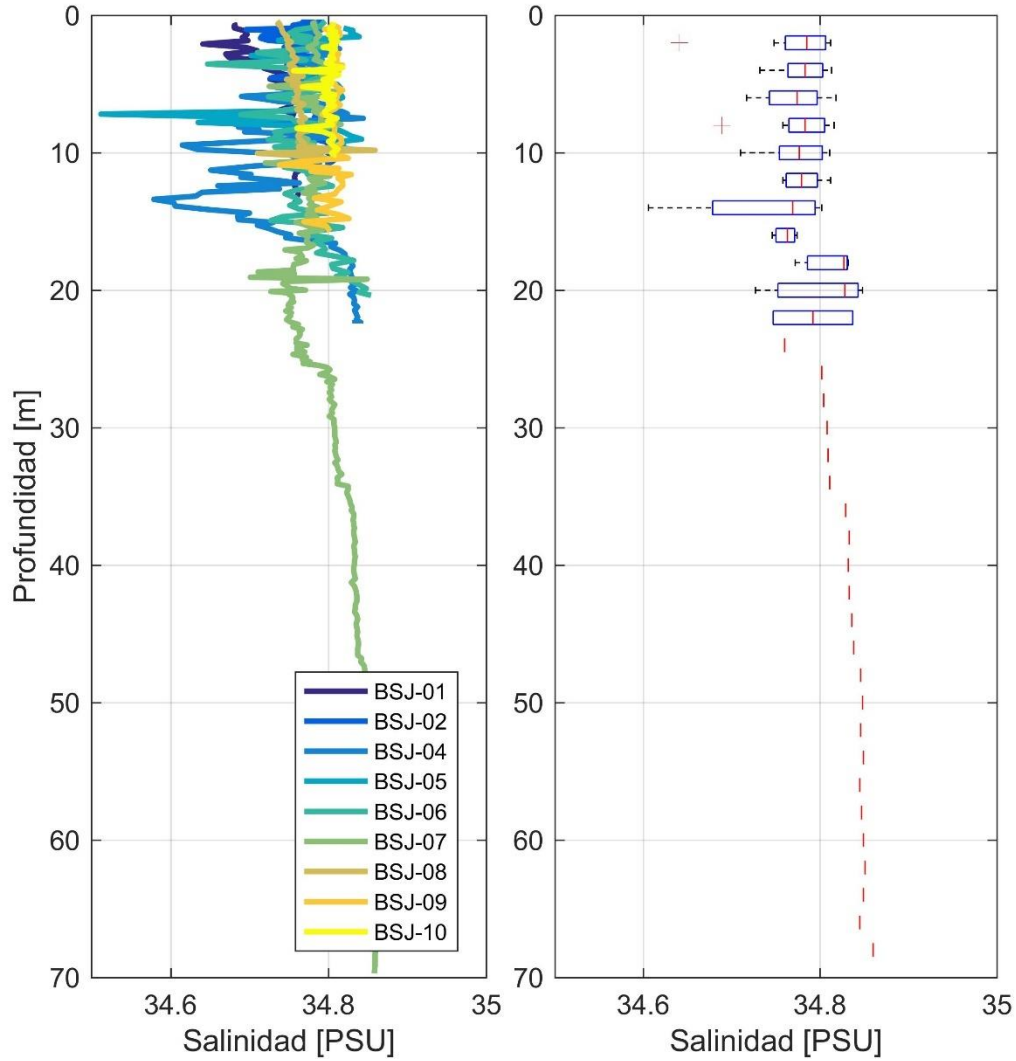


Figura 5.4-26: Perfiles de Salinidad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018.

· Temperatura

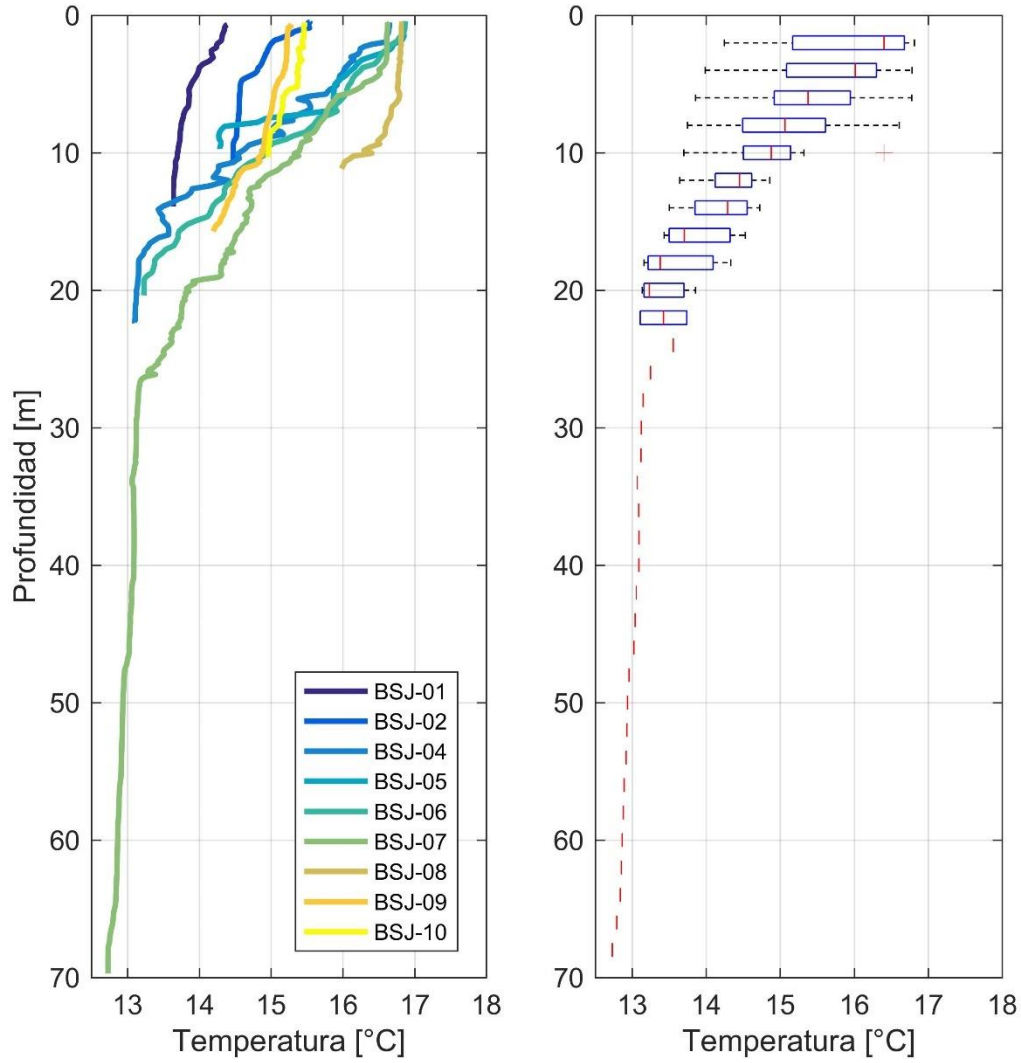


Figura 5.4-27: Perfiles de Temperatura en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018.

· Turbidez

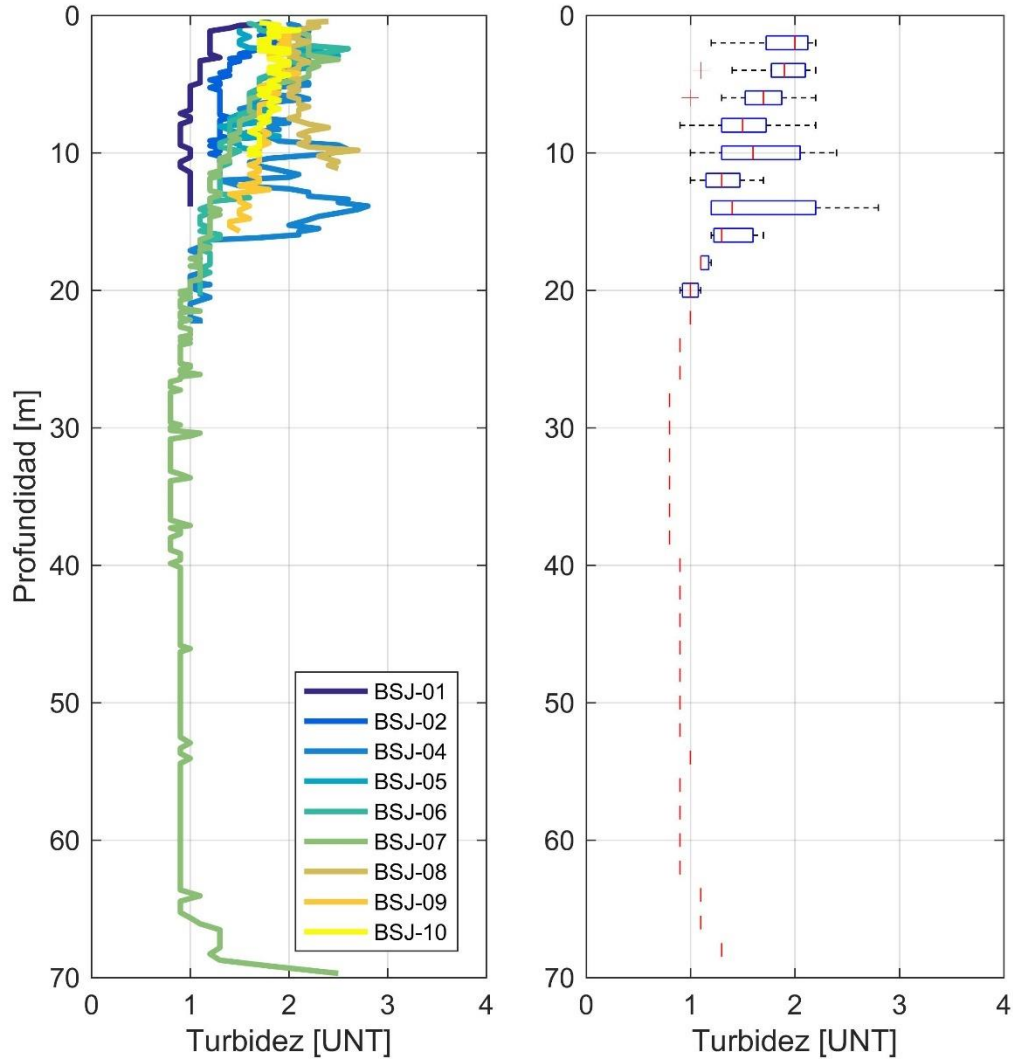


Figura 5.4-28: Perfiles de Turbidez en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, invierno 2018.

c) *Muestreo de variables oceanográficas invierno 2018*

Actividad realizada de acuerdo con la programación definida en el Plan de trabajo. Al respecto, se propuso realizar 2 campañas de monitoreo de corrientes de carácter estacional en Bahía San Jorge durante el desarrollo del proyecto, con el objetivo de caracterizar en un ciclo anual las corrientes características de la bahía. Estas campañas se realizarán en períodos de invierno y de verano.

· Corrientes Eulerianas

En la Figura 5.4-29 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.

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 5.4-30.

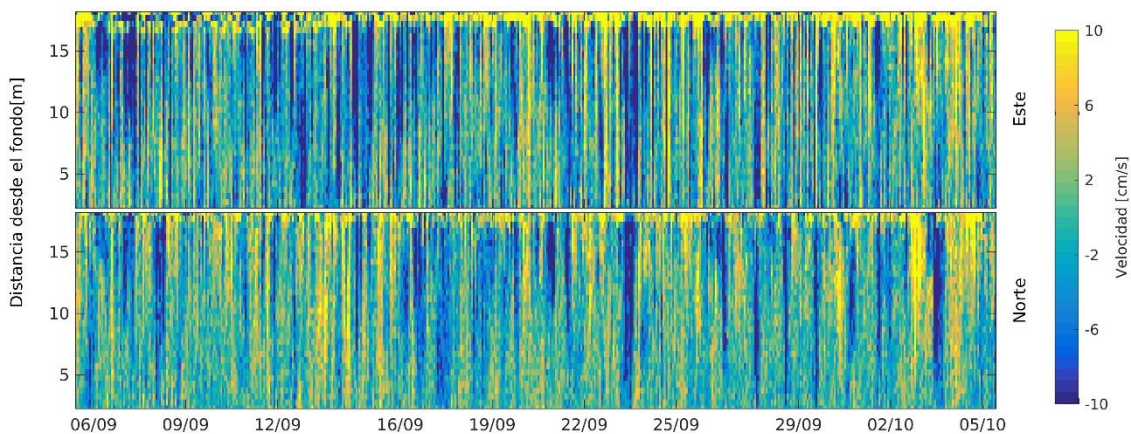


Figura 5.4-29 Registro de velocidades Eulerianas, componente este y norte, invierno 2018.

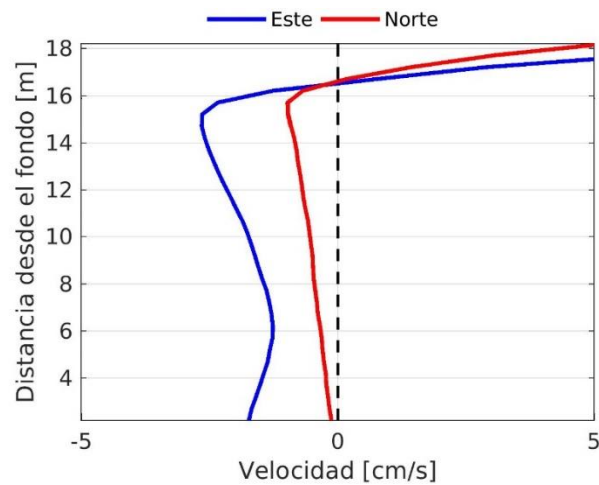


Figura 5.4-30. Estructura vertical de componentes ortogonales, ciclo diario de marea, invierno 2018.

Adicionalmente, en la Figura 5.4-31 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 mayores variaciones en las direcciones registradas, con mayor preferencia hacia el SW. Finalmente, para la capa de fondo, las velocidades de mayor magnitud se presentaron hacia la dirección SW.

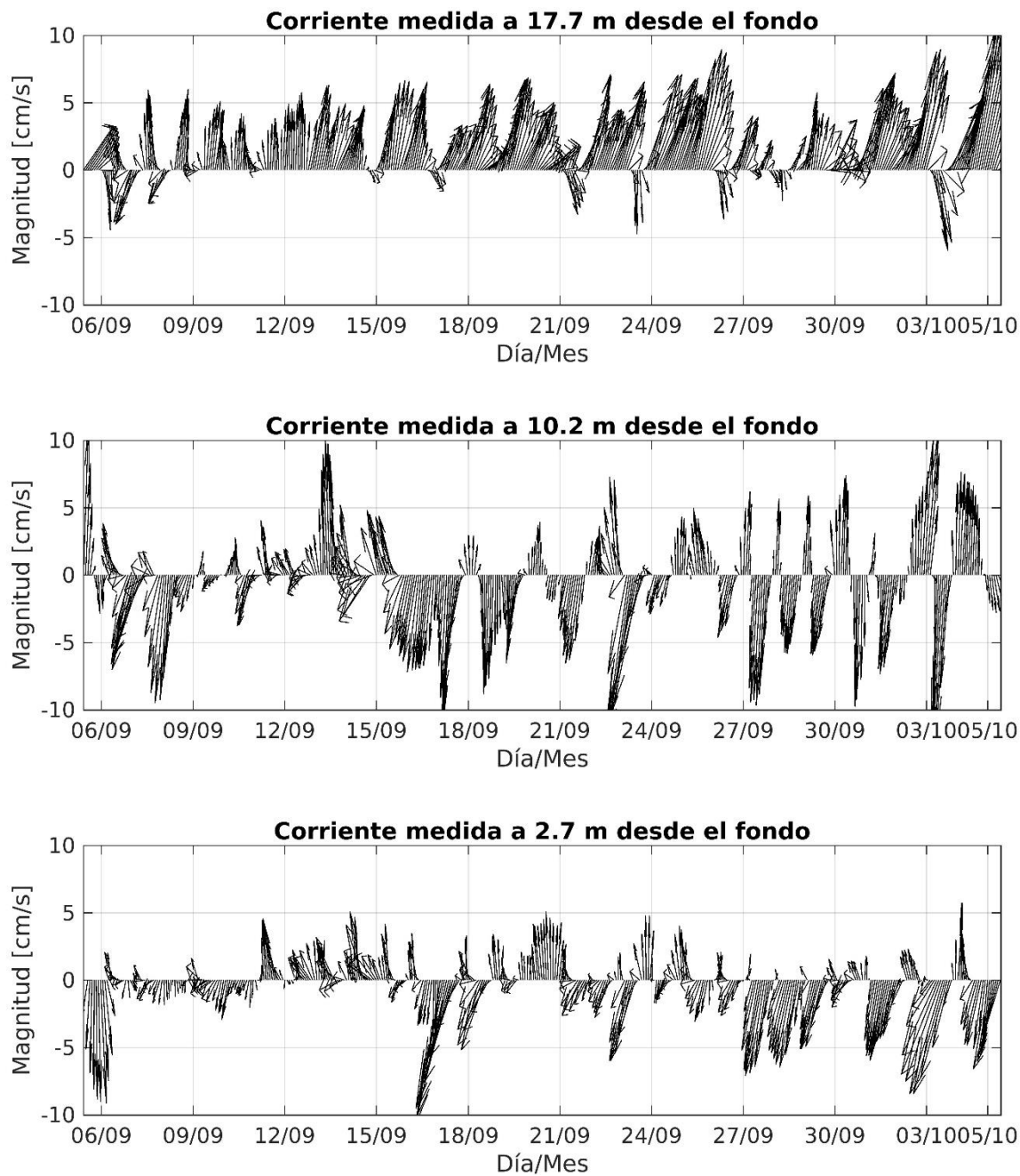


Figura 5.4-31. Registro de velocidad y dirección de corrientes según las capas definidas. Período de invierno 2018. Nota: Las series de tiempo han sido suavizadas para facilitar su visualización.

· Capa Superficial

A continuación, se presentan los resultados a nivel superficial de la columna de agua. La Tabla 5.4-13 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 5.4-14 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 5.4-32 se presentan los histogramas de magnitud y dirección.

La capa superficial muestra una predominancia hacia las direcciones E y NE, con un 32,12% y 29,35%, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 11,52 cm/s, mientras que el máximo fue de 55,60 cm/s, y estuvo asociado a la dirección E (Tabla 5.4-13 y Figura 5.4-32).

Tabla 5.4-13. 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]	0,07	0,09	0,05	0,07	0,14	0,05	0,07	0,09	0,62
]1,4]	0,67	1,02	1,13	0,83	0,72	0,58	0,86	0,69	6,50
]4,7]	1,46	2,34	2,94	1,43	1,20	1,23	1,57	1,36	13,53
]7,10]	1,60	3,72	3,68	1,43	0,83	1,39	1,55	1,13	15,33
]10,13]	1,46	4,46	3,86	1,34	0,76	1,32	1,34	0,86	15,40
]13,20]	1,64	8,44	11,47	1,53	0,74	1,30	1,73	1,04	27,89
]20,30]	0,39	7,24	7,70	0,37	0,12	0,42	0,81	0,19	17,23
]30,50]	0,05	2,04	1,25	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	3,45
]50,∞[	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Total	7,33	29,35	32,12	7,01	4,51	6,29	8,03	5,37	100,00
Máximo(cm/s)	45,20	46,10	55,60	27,70	24,20	31,40	30,80	29,50	55,60
Promedio(cm/s)	10,46	16,34	15,93	10,05	8,49	10,59	11,12	9,14	11,52

Tabla 5.4-14. Frecuencia de Excedencia de datos de corriente, capa superficial, campaña invierno 2018.

Magnitud(cm/s)	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa superficial								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
>30	0,05	1,99	1,25	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	3,40
>20	0,44	9,16	8,93	0,37	0,09	0,44	0,90	0,19	20,51
>13	2,06	17,60	20,33	1,90	0,83	1,71	2,64	1,20	48,27
>10	3,47	22,11	24,19	3,19	1,60	3,03	3,95	2,04	63,58
>7	5,09	25,76	27,91	4,65	2,45	4,42	5,53	3,05	78,86
>4	6,57	28,21	30,94	6,08	3,58	5,67	7,05	4,53	92,65
>1	7,26	29,26	32,05	6,94	4,37	6,24	7,93	5,27	99,33

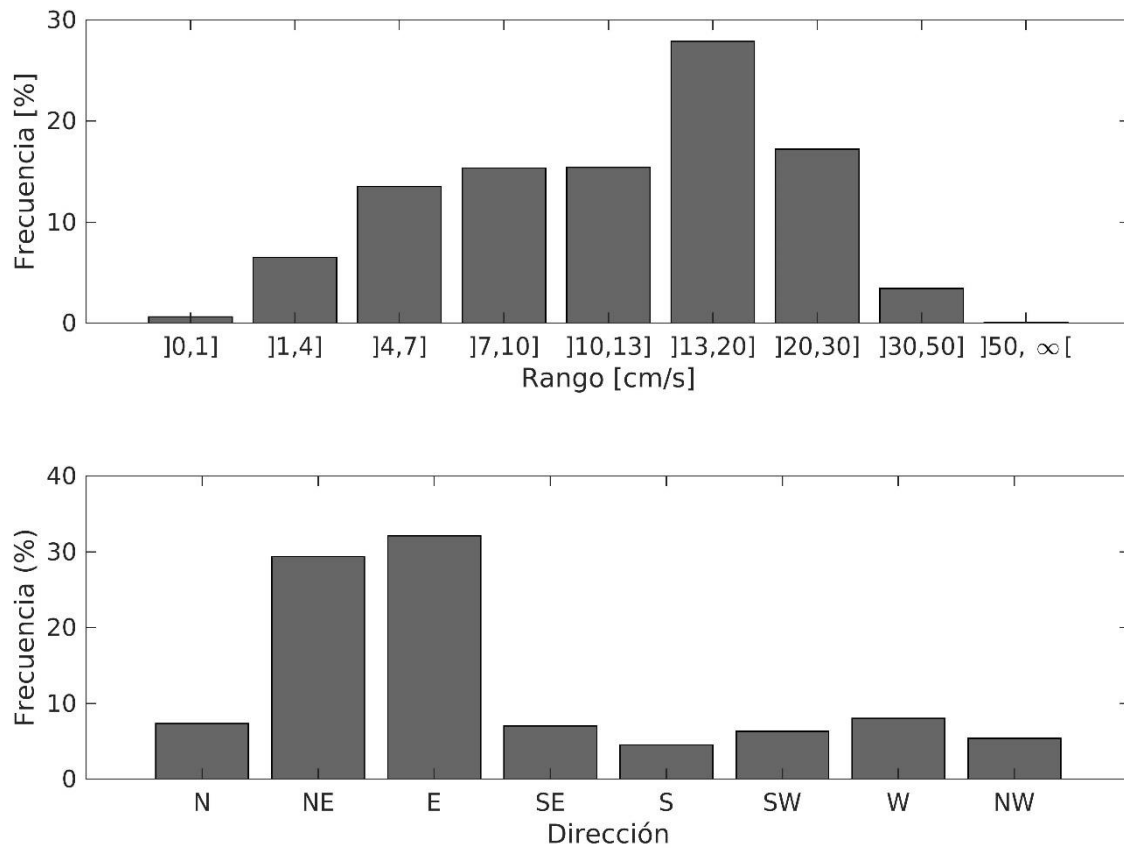


Figura 5.4-32. Histograma de Magnitud y Dirección, capa superficial, campaña invierno 2018.

El diagrama de vector progresivo (Figura 5.4-33) indica que el recorrido de una partícula superficial presenta una tendencia a dirigirse al E-NE, con ciertas fluctuaciones. En la rosa de corriente, también se aprecia la preferencia hacia las direcciones NE y E (Figura 5.4-34).

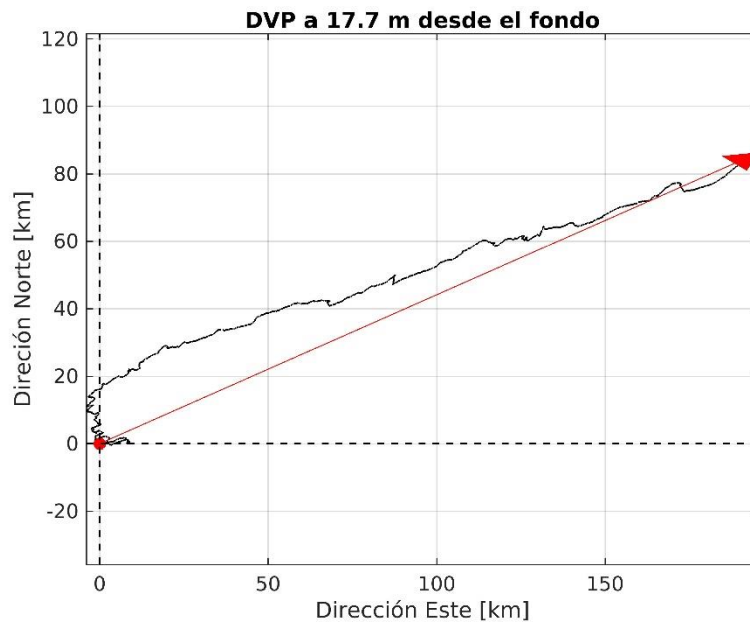


Figura 5.4-33. Diagramas de vector progresivo para capa superficial, campaña invierno 2018.

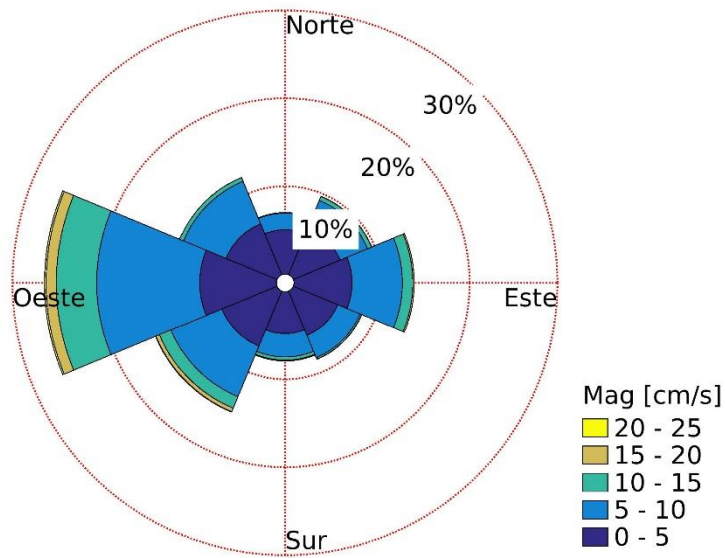


Figura 5.4-34. Rosa de corriente para las capas superficiales, campaña de invierno 2018.

· Capa Intermedia

En la presente sección se presentan los resultados de la capa intermedia de la columna de agua. La Tabla 5.4-15 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 5.4-16 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 5.4-35 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 5.4-15 y Figura 5.4-35), presentando una leve predominancia hacia las direcciones W y SW, que presentaron un 20,12% y 17,58% de las mediciones, respectivamente. Las magnitudes de la capa intermedia presentaron un valor promedio de 6,18 cm/s (inferior a la capa superficial), mientras que el máximo fue de 33,40 cm/s, y estuvo asociado a la dirección SW. Un 32,28% de las mediciones obtuvo una magnitud entre los 4 y los 7 cm/s.

Tabla 5.4-15. Frecuencia de Incidencia de datos de corriente, capa intermedia, 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]	0,30	0,23	0,25	0,44	0,16	0,25	0,32	0,44	2,41
]1,4]	3,42	3,58	3,33	3,12	2,80	3,54	4,14	3,79	27,73
]4,7]	3,65	4,49	3,75	2,66	3,08	4,51	5,87	4,28	32,28
]7,10]	1,90	2,15	2,29	1,20	2,06	4,12	4,97	2,31	21,00
]10,13]	0,53	0,93	0,72	0,30	0,88	2,31	2,52	0,67	8,86
]13,20]	0,21	0,42	0,35	0,05	1,06	2,31	2,08	0,30	6,78
]20,30]	0,00	0,05	0,05	0,00	0,12	0,46	0,19	0,00	0,86
]30,50]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,02	0,00	0,09
]50,∞[	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	10,01	11,84	10,73	7,77	10,15	17,58	20,12	11,79	100,00
Máximo(cm/s)	15,10	22,60	21,70	17,00	24,30	33,40	30,20	16,90	33,40
Promedio(cm/s)	5,23	5,84	5,76	4,69	6,87	8,19	7,46	5,36	6,18

Tabla 5.4-16. Frecuencia de Excedencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña invierno 2018.

Magnitud(cm/s)	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa superficial								
	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	0,07	0,02	0,00	0,09
>20	0,00	0,05	0,05	0,00	0,12	0,51	0,19	0,00	0,90
>13	0,19	0,46	0,37	0,05	1,16	2,71	2,20	0,30	7,42
>10	0,72	1,34	1,06	0,32	1,99	5,06	4,46	0,88	15,84
>7	2,61	3,49	3,35	1,48	4,02	9,14	9,62	3,17	36,89
>4	6,01	7,93	7,05	4,05	7,08	13,71	15,52	7,40	68,76
>1	9,53	11,61	10,43	7,31	9,92	17,25	19,75	11,26	97,06

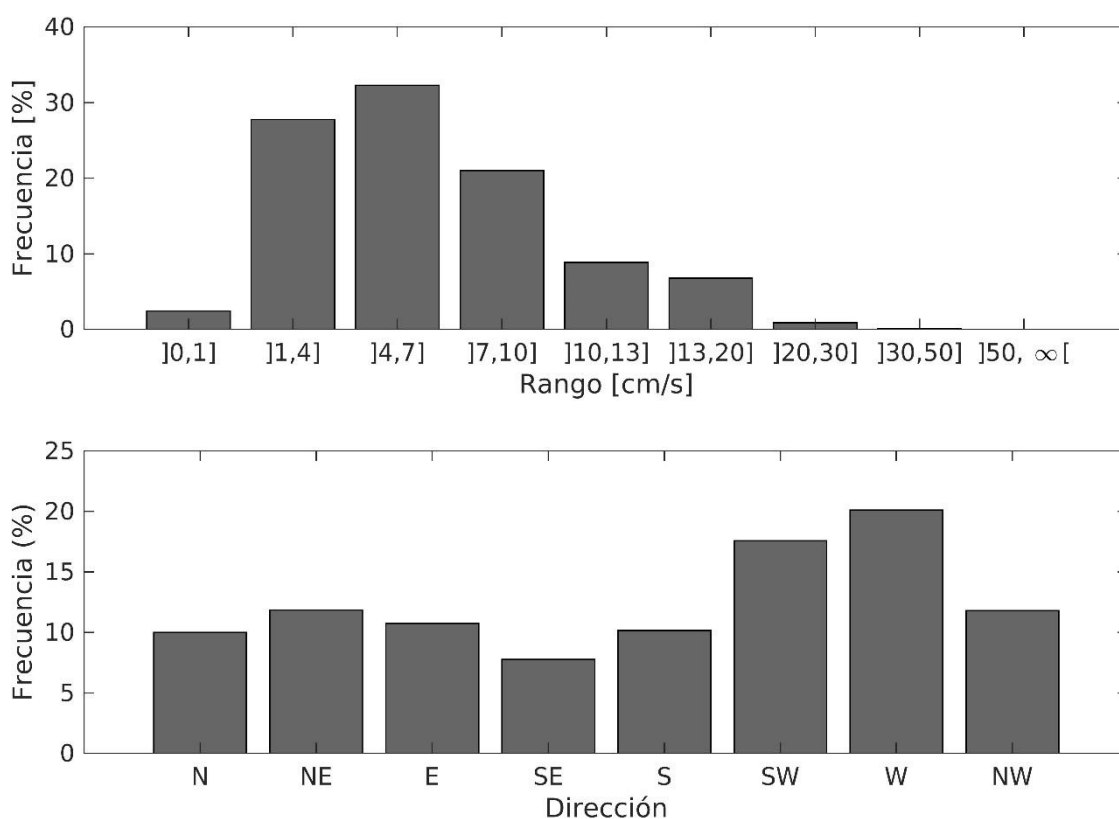


Figura 5.4-35. Histogramas de Magnitud y dirección, capa intermedia, campaña invierno 2018.

Del diagrama de vector progresivo (Figura 5.4-36) se observa una predominancia hacia la dirección S, con un leve componente E. En la rosa de corrientes, se visualiza la preferencia de las corrientes hacia las direcciones SW, S, SE y E.

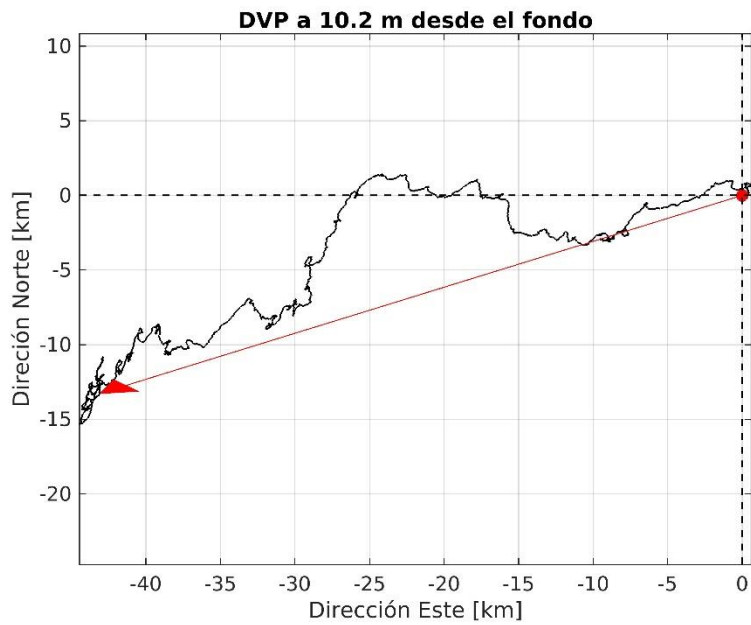


Figura 5.4-36. Diagramas de vector progresivo para las capas intermedias, campaña invierno 2018.

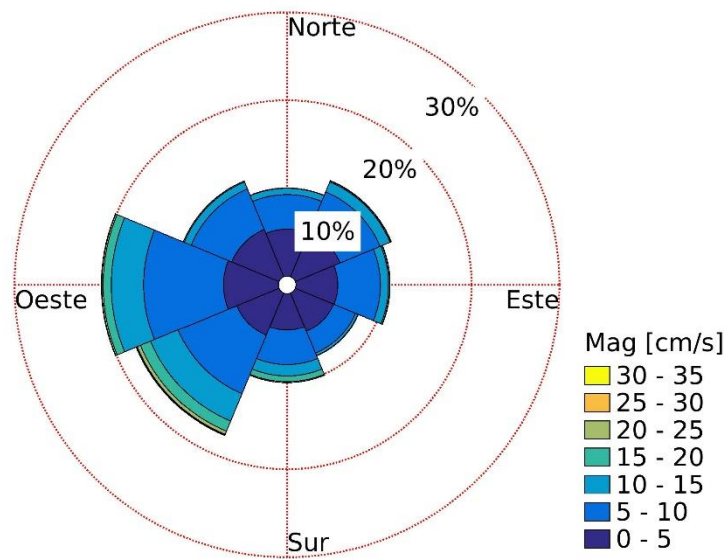


Figura 5.4-37. Rosa de corrientes para la capa intermedia, campaña invierno 2018.

· 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 5.4-17 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 5.4-18 presenta las frecuencias de excedencia. En la Figura 5.4-38 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 (ver Tabla 5.4-17 y Figura 5.4-38), presentando en este caso una predominancia hacia la dirección W, con un 26,36% de las mediciones. Las magnitudes de la capa de fondo presentaron un valor promedio de 5,17 cm/s y el valor máximo medido fue de 24,50 cm/s, levemente menor a las magnitudes presentadas en la capa intermedia. Un 35,04% de las mediciones obtuvo una magnitud entre los 4 y los 7 cm/s.

Tabla 5.4-17. Frecuencia de Incidencia de datos de corriente, capa de fondo, 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]	0,42	0,28	0,35	0,42	0,35	0,14	0,28	0,37	2,59
]1,4]	3,68	4,07	4,74	3,72	3,26	4,93	5,64	4,32	34,37
]4,7]	2,27	3,56	4,88	3,24	3,03	5,11	8,28	4,67	35,04
]7,10]	0,58	1,25	2,38	0,86	0,81	2,87	6,22	2,15	17,11
]10,13]	0,07	0,46	0,97	0,19	0,25	0,99	3,19	0,39	6,52
]13,20]	0,00	0,05	0,37	0,02	0,21	0,86	2,57	0,07	4,14
]20,30]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,19	0,00	0,23
]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	7,01	9,67	13,69	8,44	7,91	14,94	26,36	11,98	100,00
Máximo(cm/s)	10,40	15,10	18,80	17,70	18,30	21,60	24,50	14,00	24,50
Promedio(cm/s)	3,88	4,76	5,48	4,34	4,63	6,02	7,24	4,98	5,17

Tabla 5.4-18. Frecuencia de Excedencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña invierno 2018.

Magnitud(cm/s)	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa superficial								
	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	0,05	0,16	0,00	0,21
>13	0,00	0,05	0,30	0,02	0,21	0,90	2,61	0,07	4,16
>10	0,07	0,51	1,32	0,19	0,46	1,85	5,85	0,46	10,71
>7	0,62	1,64	3,65	1,04	1,23	4,63	11,84	2,54	27,20
>4	2,82	5,18	8,44	4,09	4,09	9,67	20,35	7,10	61,75
>1	6,54	9,37	13,18	8,00	7,47	14,71	26,04	11,56	96,88

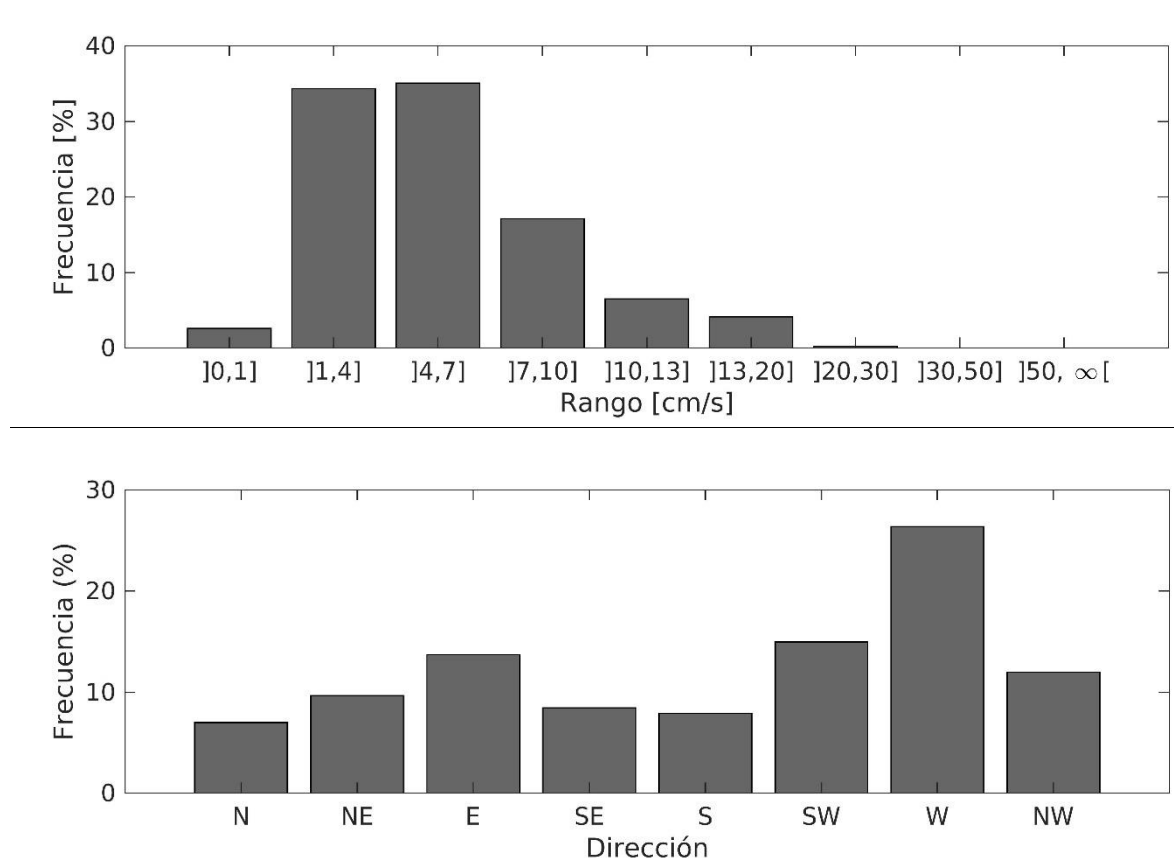


Figura 5.4-38. Histogramas de Magnitud y Dirección, capa de fondo, campaña invierno 2018.

En el diagrama de vector progresivo (Figura 5.4-39) se aprecia que el desplazamiento neto fue hacia el W-SW a lo largo del período de medición. Esto es coherente con la preferencia hacia la dirección W que se presenta en la rosa de corrientes (Figura 5.4-40), así como en los histogramas.

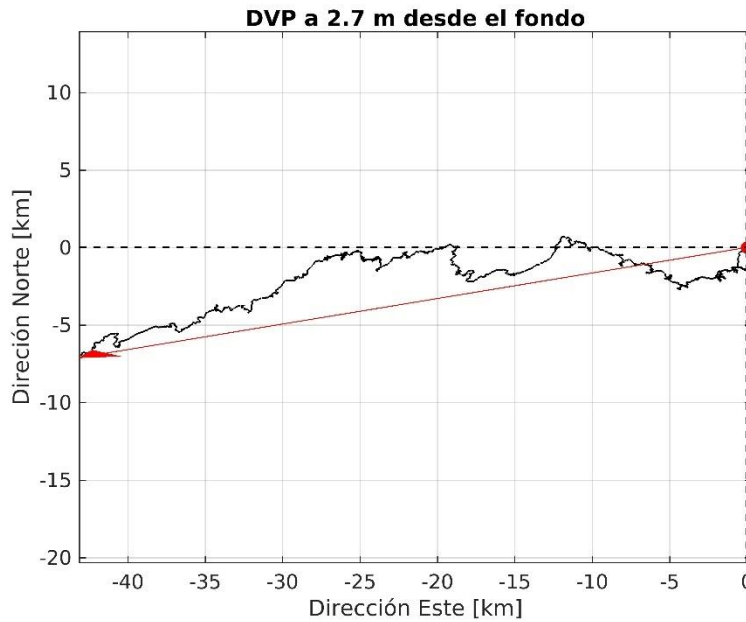


Figura 5.4-39. Diagramas de vector progresivo para la capa de fondo, campaña de invierno 2018.

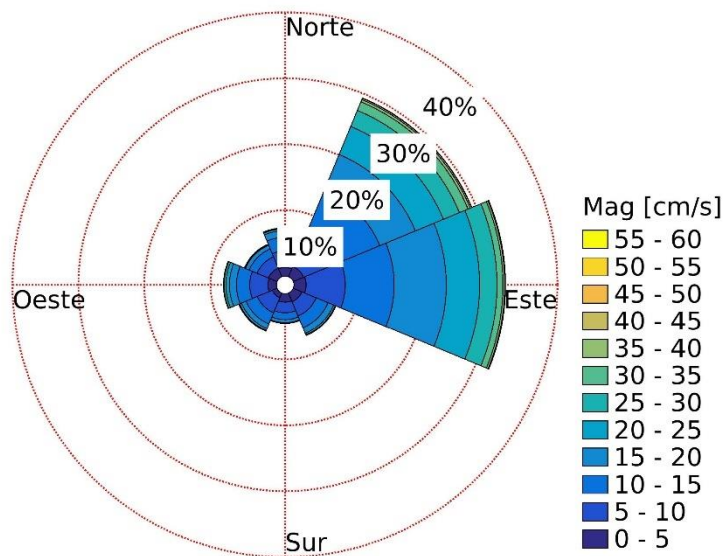


Figura 5.4-40. Rosa de corrientes para la capa de fondo, campaña de invierno 2018.

- 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 5.4-41 se puede apreciar que los armónicos principales corresponden a 5 (M2, S2, K1, O1 y N2).

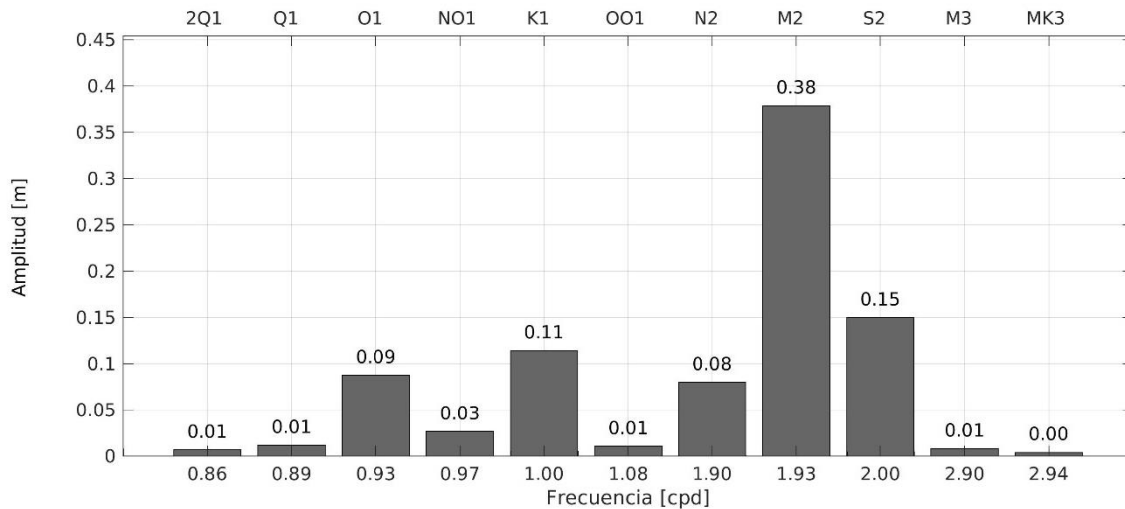


Figura 5.4-41. Frecuencia de armónicos.

En la Figura 5.4-42 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 y S2, ambos semidiurnos. En el componente M2, N2 y O1 se aprecia una mayor amplitud de la elipse en la capa superficial en relación con las más profundas, sin embargo, en el componente S2 las elipses son más uniformes en la vertical. El componente K1 en cambio, presenta un aumento de amplitud hacia el fondo. Se aprecian leves rotaciones de dirección a lo largo de la columna de agua para todos los componentes.

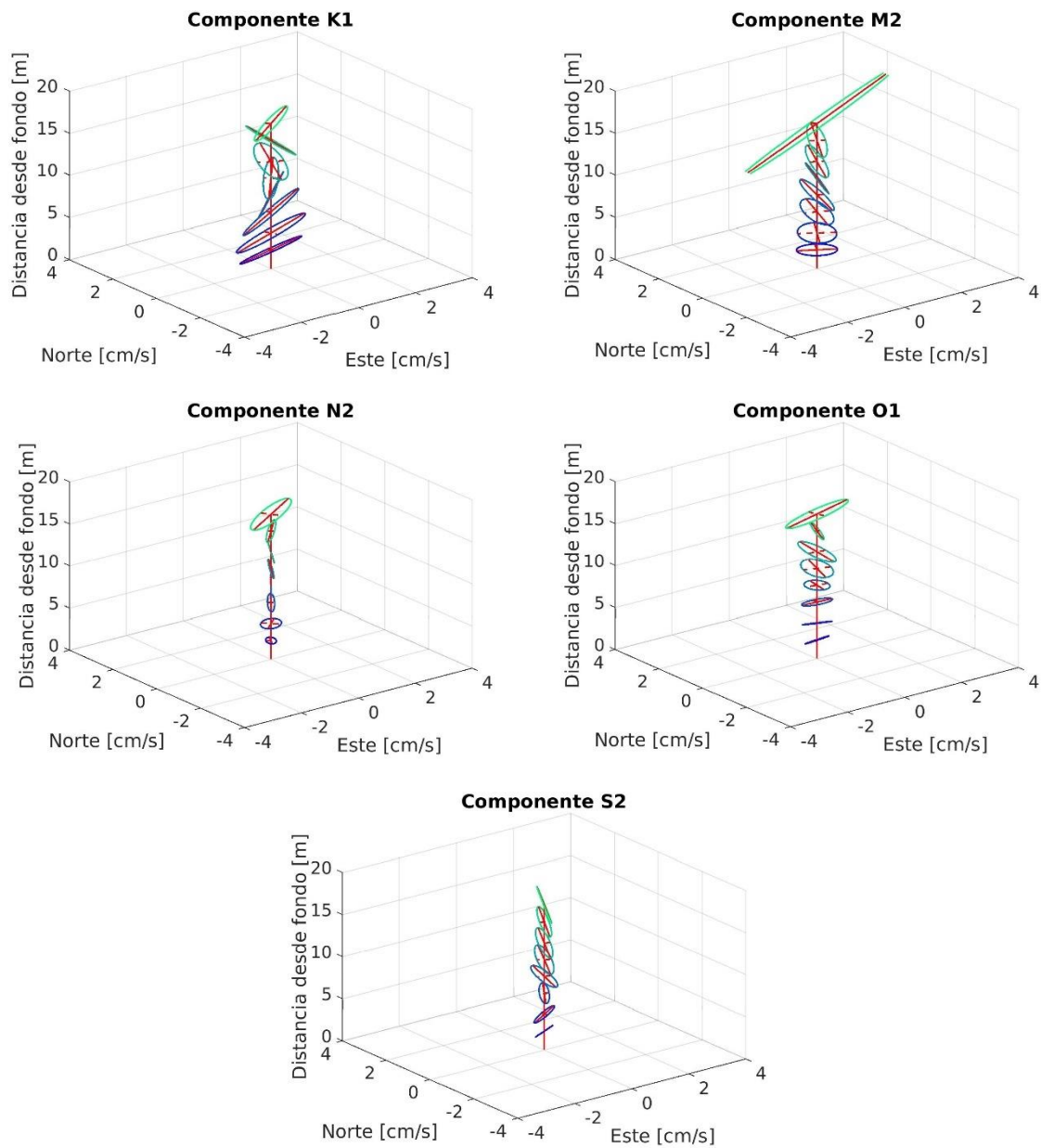


Figura 5.4-42. Elipses de corrientes de los componentes principales de marea en la columna de agua, campaña de invierno 2018.

- Corrientes Lagrangianas

La dinámica del campo de velocidades se evaluó a partir de los derivadores utilizados en terreno. La Figura 5.4-43 a Figura 5.4-45 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, tanto para fases llenante y vaciante. Las figuras son respaldadas con la Tabla 5.4-19, donde se presentan las distintas posiciones de los derivadores para distintos instantes de tiempo, y condiciones de mar.

En la Figura 5.4-43, se grafican las trayectorias de los derivadores lanzados en el sector La Rinconada. En ésta se aprecian corrientes con predominancia hacia el Norte en todos los estados de marea. Solo en sicigia vaciante se observa un cambio de dirección hacia el Este.

En relación con los derivadores lanzados en el sector frente Antofagasta (Figura 5.4-44), se observa que para sicigia, a lo largo de la bahía se tiene una corriente predominante Este, tanto en la condición llenante como vaciante. En cuadratura en cambio se tiene predominancia hacia el sur, presentando dirección SW a profundidad de 5 metros y hacia el SE en la capa superficial.

Por último, los derivadores en el sector puerto Coloso, graficados en la Figura 5.4-45, presentan una tendencia clara hacia el NE. Los derivadores asociados a la capa superficial tuvieron un desplazamiento mucho mayor a los de 5 metros de profundidad.

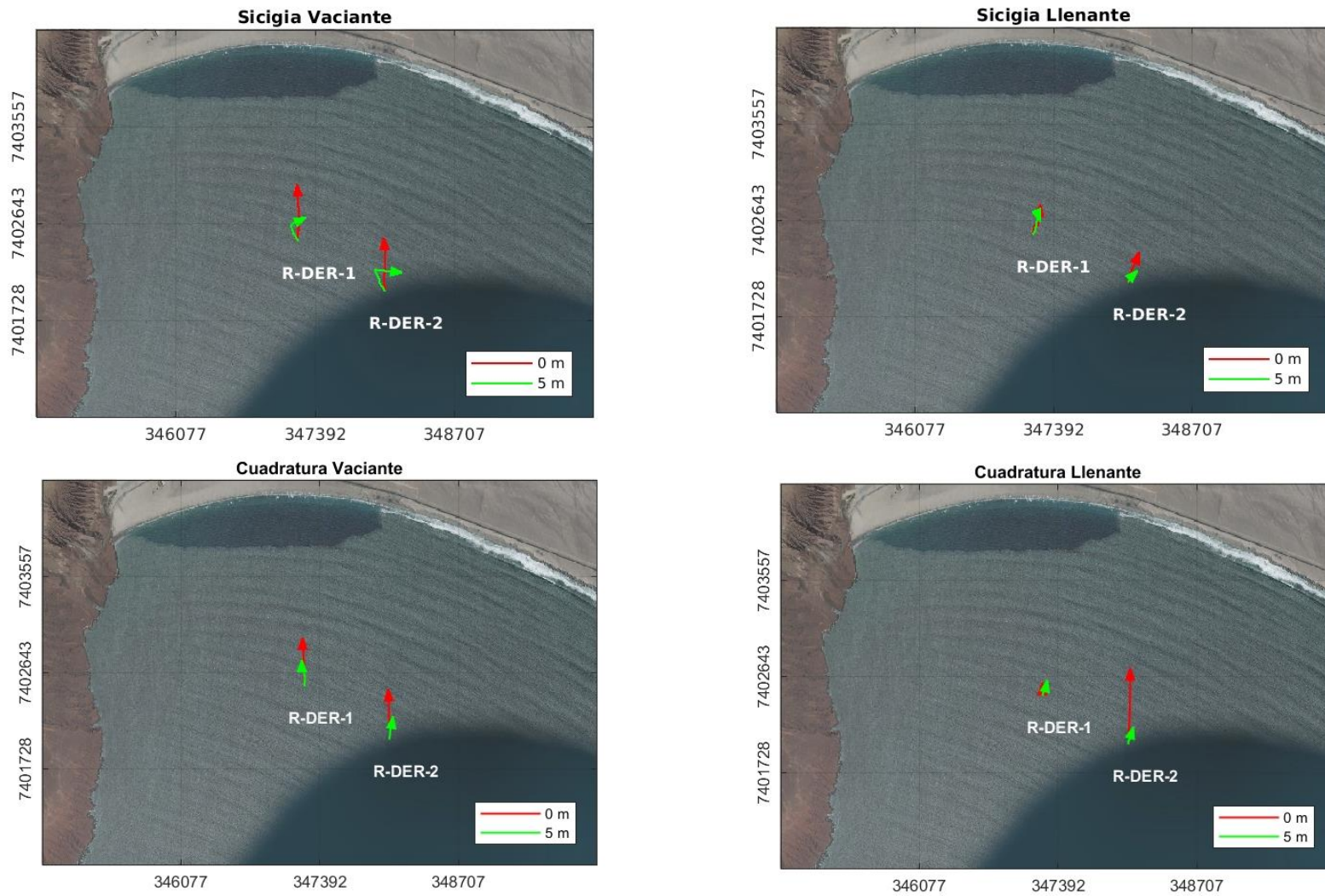


Figura 5.4-43. Trayectoria de derivadores R-DER1 y R-DER2 (sector La Rinconada) en campaña invierno 2018.

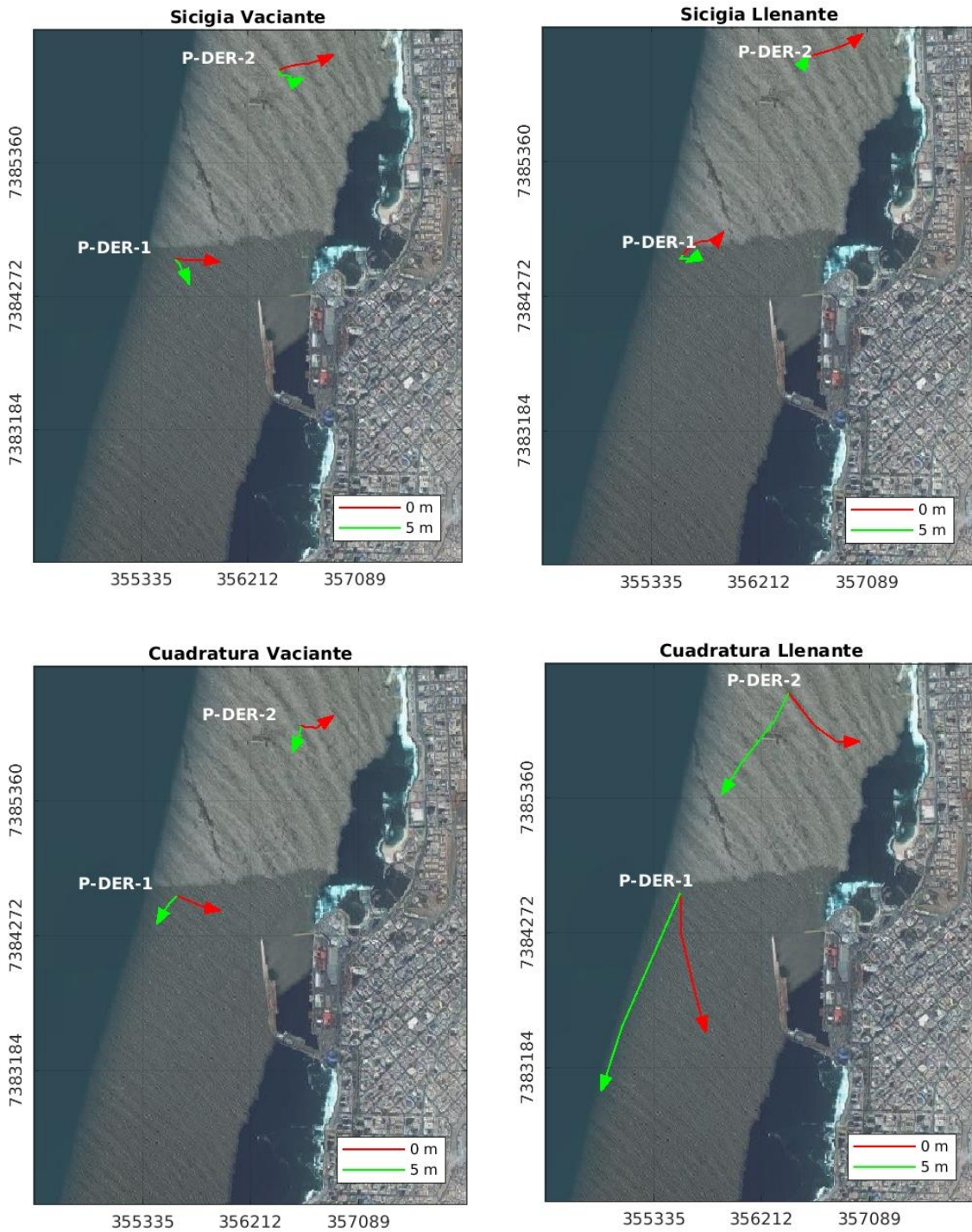


Figura 5.4-44. Trayectoria de derivadores P-DER1 y P-DER2 (sector frente Antofagasta) en campaña invierno 2018.

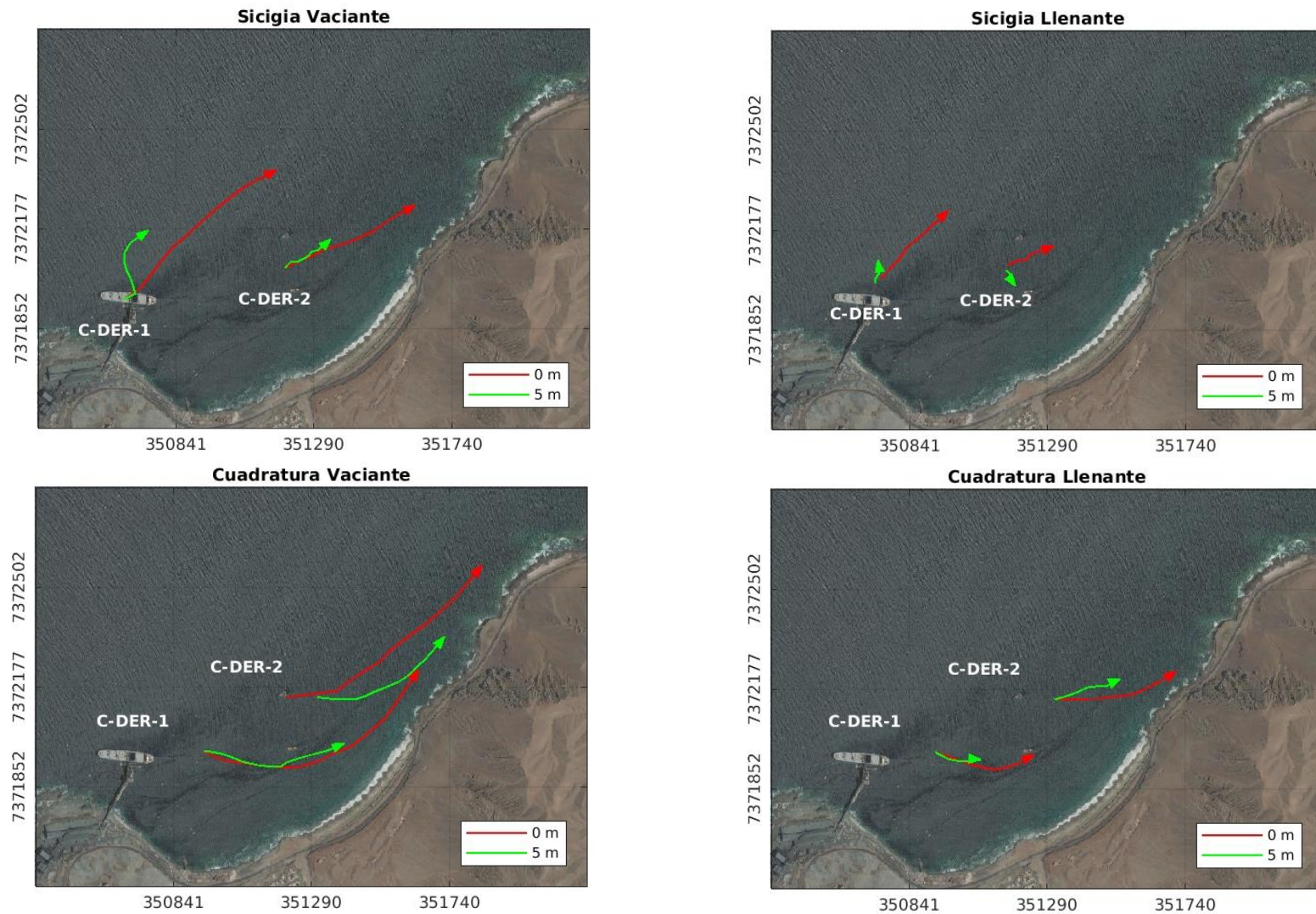


Figura 5.4-45. Trayectoria de derivadores C-DER1 y C-DER2 (sector puerto Coloso) en campaña de invierno 2018.

Tabla 5.4-19. Desplazamiento de los derivadores lanzados en Bahía San Jorge, en campaña de invierno 2018.

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
C-DER-1	05-09-2018	12:56:00	0	350,927	7,371,972	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:07:00	0	350,960	7,371,960	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:23:00	0	351,040	7,371,932	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:35:00	0	351,088	7,371,920	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:43:00	0	351,115	7,371,915	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:52:00	0	351,144	7,371,917	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	14:02:00	0	351,174	7,371,927	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	14:09:00	0	351,201	7,371,936	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	14:17:00	0	351,217	7,371,947	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	14:26:00	0	351,247	7,371,962	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	12:56:00	5	350,927	7,371,972	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:07:00	5	350,969	7,371,949	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:22:00	5	351,004	7,371,942	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:33:00	5	351,024	7,371,943	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:42:00	5	351,035	7,371,940	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	13:51:00	5	351,041	7,371,940	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	14:01:00	5	351,045	7,371,943	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	14:08:00	5	351,052	7,371,945	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	14:15:00	5	351,061	7,371,948	Cuadratura Llenante
C-DER-1	05-09-2018	14:22:00	5	351,073	7,371,947	Cuadratura Llenante
C-DER-1	03-09-2018	16:05:00	0	350,941	7,371,966	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:14:00	0	350,961	7,371,956	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:26:00	0	351,011	7,371,936	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:37:00	0	351,063	7,371,930	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:46:00	0	351,114	7,371,922	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:58:00	0	351,185	7,371,915	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:07:00	0	351,243	7,371,914	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:17:00	0	351,311	7,371,933	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:26:00	0	351,365	7,371,960	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:36:00	0	351,426	7,371,986	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:46:00	0	351,480	7,372,029	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:57:00	0	351,529	7,372,072	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	18:09:00	0	351,580	7,372,142	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	18:25:00	0	351,640	7,372,231	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:05:00	5	350,941	7,371,966	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:13:00	5	350,949	7,371,968	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:25:00	5	350,994	7,371,960	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:36:00	5	351,029	7,371,949	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:45:00	5	351,066	7,371,933	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	16:57:00	5	351,122	7,371,921	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:06:00	5	351,159	7,371,917	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:16:00	5	351,191	7,371,916	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:25:00	5	351,208	7,371,930	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:34:00	5	351,233	7,371,938	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	17:44:00	5	351,266	7,371,949	Cuadratura Vaciante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
C-DER-1	03-09-2018	17:55:00	5	351,304	7,371,959	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	18:06:00	5	351,347	7,371,970	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	03-09-2018	18:20:00	5	351,396	7,371,992	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	15:56:13	0	350,747	7,372,019	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:03:14	0	350,775	7,372,049	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:11:11	0	350,805	7,372,079	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:19:49	0	350,834	7,372,123	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:27:50	0	350,869	7,372,150	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:50:27	0	350,966	7,372,239	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	15:56:36	5	350,730	7,372,005	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:03:47	5	350,730	7,372,020	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:12:22	5	350,740	7,372,033	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:20:51	5	350,741	7,372,058	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	16:28:59	5	350,738	7,372,077	Sicigia Llenante
C-DER-1	09-09-2018	13:18:50	0	350,673	7,371,947	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:26:59	0	350,727	7,371,984	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:35:06	0	350,758	7,372,024	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:44:12	0	350,792	7,372,068	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:54:52	0	350,828	7,372,113	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	14:05:50	0	350,886	7,372,164	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	14:17:43	0	350,939	7,372,212	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	14:29:43	0	350,994	7,372,259	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	14:45:04	0	351,066	7,372,314	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	15:04:23	0	351,167	7,372,367	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:18:50	5	350,673	7,371,947	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:27:36	5	350,708	7,371,965	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:35:46	5	350,703	7,371,987	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:45:08	5	350,696	7,372,008	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	13:56:11	5	350,687	7,372,027	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	14:07:34	5	350,676	7,372,053	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	14:19:53	5	350,673	7,372,075	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	14:32:25	5	350,674	7,372,098	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	14:48:11	5	350,692	7,372,130	Sicigia Vaciante
C-DER-1	09-09-2018	15:09:13	5	350,749	7,372,170	Sicigia Vaciante
C-DER-2	05-09-2018	13:01:00	0	351,316	7,372,142	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:15:00	0	351,453	7,372,145	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:29:00	0	351,565	7,372,158	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:37:00	0	351,611	7,372,176	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:46:00	0	351,657	7,372,200	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:55:00	0	351,710	7,372,233	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:01:00	5	351,316	7,372,142	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:16:00	5	351,376	7,372,161	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:31:00	5	351,407	7,372,175	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:39:00	5	351,427	7,372,183	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:48:00	5	351,443	7,372,184	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	13:58:00	5	351,468	7,372,188	Cuadratura Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
C-DER-2	05-09-2018	14:05:00	5	351,479	7,372,187	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	14:12:00	5	351,489	7,372,188	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	14:19:00	5	351,499	7,372,196	Cuadratura Llenante
C-DER-2	05-09-2018	14:30:00	5	351,528	7,372,209	Cuadratura Llenante
C-DER-2	03-09-2018	16:09:00	0	351,211	7,372,143	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:21:00	0	351,372	7,372,163	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:31:00	0	351,423	7,372,201	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:42:00	0	351,467	7,372,231	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:52:00	0	351,511	7,372,255	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:02:00	0	351,542	7,372,290	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:12:00	0	351,580	7,372,321	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:21:00	0	351,627	7,372,355	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:30:00	0	351,670	7,372,386	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:40:00	0	351,718	7,372,429	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:50:00	0	351,761	7,372,468	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	18:02:00	0	351,807	7,372,523	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	18:14:00	0	351,846	7,372,571	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:09:00	5	351,311	7,372,143	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:20:00	5	351,373	7,372,136	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:30:00	5	351,436	7,372,137	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:40:00	5	351,474	7,372,149	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	16:50:00	5	351,497	7,372,161	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:00:00	5	351,537	7,372,177	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:10:00	5	351,573	7,372,192	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:20:00	5	351,599	7,372,208	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:29:00	5	351,621	7,372,226	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:39:00	5	351,640	7,372,247	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	17:48:00	5	351,659	7,372,263	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	18:00:00	5	351,679	7,372,286	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	18:11:00	5	351,697	7,372,306	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	03-09-2018	18:28:00	5	351,724	7,372,338	Cuadratura Vaciente
C-DER-2	09-09-2018	15:59:35	0	351,162	7,372,064	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:06:55	0	351,188	7,372,077	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:15:54	0	351,222	7,372,080	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:23:57	0	351,236	7,372,100	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:32:52	0	351,269	7,372,109	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:44:15	0	351,309	7,372,125	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:00:12	5	351,155	7,372,047	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:07:35	5	351,164	7,372,040	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:17:07	5	351,174	7,372,029	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:24:53	5	351,179	7,372,020	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:31:56	5	351,175	7,372,011	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	16:46:03	5	351,185	7,371,997	Sicigia Llenante
C-DER-2	09-09-2018	13:23:16	0	351,196	7,372,048	Sicigia Vaciente
C-DER-2	09-09-2018	13:31:20	0	351,228	7,372,064	Sicigia Vaciente
C-DER-2	09-09-2018	13:40:10	0	351,276	7,372,083	Sicigia Vaciente

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
C-DER-2	09-09-2018	13:49:47	0	351,328	7,372,110	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:01:20	0	351,391	7,372,128	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:13:06	0	351,449	7,372,150	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:24:54	0	351,498	7,372,177	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:38:44	0	351,554	7,372,215	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:53:51	0	351,620	7,372,252	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	13:23:16	5	351,196	7,372,048	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	13:31:32	5	351,215	7,372,068	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	13:40:40	5	351,240	7,372,070	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	13:50:29	5	351,257	7,372,078	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:02:31	5	351,272	7,372,087	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:14:23	5	351,285	7,372,102	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:26:40	5	351,304	7,372,107	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:40:41	5	351,323	7,372,121	Sicigia Vaciante
C-DER-2	09-09-2018	14:59:06	5	351,345	7,372,141	Sicigia Vaciante
P-DER-1	14-11-2018	12:01:41	0	355,554	7,384,589	Cuadratura Llenante
P-DER-1	14-11-2018	12:38:12	0	355,563	7,384,253	Cuadratura Llenante
P-DER-1	14-11-2018	13:42:48	0	355,686	7,383,731	Cuadratura Llenante
P-DER-1	14-11-2018	14:17:15	0	355,760	7,383,468	Cuadratura Llenante
P-DER-1	14-11-2018	12:01:41	5	355,554	7,384,589	Cuadratura Llenante
P-DER-1	14-11-2018	12:41:24	5	355,347	7,384,116	Cuadratura Llenante
P-DER-1	14-11-2018	13:35:26	5	355,080	7,383,505	Cuadratura Llenante
P-DER-1	14-11-2018	14:23:49	5	354,914	7,382,991	Cuadratura Llenante
P-DER-1	14-11-2018	16:22:37	0	355,616	7,384,591	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	14-11-2018	16:46:47	0	355,729	7,384,547	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	14-11-2018	17:11:50	0	355,839	7,384,497	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	14-11-2018	17:44:00	0	355,967	7,384,473	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	14-11-2018	16:22:37	5	355,616	7,384,591	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	14-11-2018	16:48:37	5	355,558	7,384,531	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	14-11-2018	17:14:30	5	355,509	7,384,462	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	14-11-2018	17:40:09	5	355,456	7,384,364	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	16:31:00	0	355,598	7,384,604	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:36:00	0	355,608	7,384,615	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:41:00	0	355,625	7,384,642	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:47:00	0	355,648	7,384,655	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:53:00	0	355,674	7,384,667	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:59:00	0	355,700	7,384,698	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	17:04:00	0	355,742	7,384,711	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	17:10:00	0	355,817	7,384,721	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	17:18:00	0	355,890	7,384,744	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	17:28:00	0	355,926	7,384,788	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:31:00	5	355,598	7,384,604	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:37:00	5	355,587	7,384,586	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:42:00	5	355,577	7,384,578	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:48:00	5	355,572	7,384,570	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	16:54:00	5	355,594	7,384,574	Sicigia Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
P-DER-1	09-09-2018	17:00:00	5	355,621	7,384,576	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	17:05:00	5	355,638	7,384,574	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	17:12:00	5	355,649	7,384,562	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	17:20:00	5	355,646	7,384,556	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	17:25:00	5	355,627	7,384,546	Sicigia Llenante
P-DER-1	09-09-2018	12:35:00	0	355,615	7,384,571	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	12:46:00	0	355,740	7,384,566	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	12:49:00	0	355,682	7,384,563	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	12:53:00	0	355,808	7,384,563	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	12:59:00	0	355,871	7,384,561	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	13:05:00	0	355,929	7,384,557	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	13:12:00	0	355,981	7,384,548	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	12:35:00	5	355,615	7,384,571	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	12:40:00	5	355,650	7,384,539	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	12:46:00	5	355,661	7,384,515	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	12:53:00	5	355,674	7,384,481	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	13:01:00	5	355,699	7,384,430	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	13:08:00	5	355,717	7,384,408	Sicigia Vaciante
P-DER-1	09-09-2018	13:15:00	5	355,732	7,384,370	Sicigia Vaciante
P-DER-2	14-11-2018	12:16:51	0	356,434	7,386,211	Cuadratura Llenante
P-DER-2	14-11-2018	13:08:37	0	356,641	7,385,948	Cuadratura Llenante
P-DER-2	14-11-2018	13:56:15	0	356,826	7,385,813	Cuadratura Llenante
P-DER-2	14-11-2018	14:46:47	0	357,007	7,385,818	Cuadratura Llenante
P-DER-2	14-11-2018	12:16:51	5	356,434	7,386,211	Cuadratura Llenante
P-DER-2	14-11-2018	12:57:01	5	356,324	7,385,991	Cuadratura Llenante
P-DER-2	14-11-2018	14:04:48	5	356,050	7,385,641	Cuadratura Llenante
P-DER-2	14-11-2018	14:59:06	5	355,893	7,385,391	Cuadratura Llenante
P-DER-2	14-11-2018	16:34:22	0	356,623	7,385,964	Cuadratura Vaciante
P-DER-2	14-11-2018	17:00:27	0	356,751	7,385,951	Cuadratura Vaciante
P-DER-2	14-11-2018	17:25:56	0	356,809	7,385,993	Cuadratura Vaciante
P-DER-2	14-11-2018	17:57:11	0	356,886	7,386,048	Cuadratura Vaciante
P-DER-2	14-11-2018	16:34:22	5	356,623	7,385,964	Cuadratura Vaciante
P-DER-2	14-11-2018	16:59:22	5	356,609	7,385,886	Cuadratura Vaciante
P-DER-2	14-11-2018	17:24:13	5	356,583	7,385,825	Cuadratura Vaciante
P-DER-2	14-11-2018	17:53:17	5	356,555	7,385,754	Cuadratura Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	15:28:00	0	356,612	7,386,206	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	15:34:00	0	356,669	7,386,226	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	15:46:00	0	356,789	7,386,260	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	15:54:00	0	356,871	7,386,289	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	16:04:00	0	356,982	7,386,337	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	16:13:00	0	357,055	7,386,392	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	15:29:00	5	356,543	7,386,150	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	15:35:00	5	356,533	7,386,150	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	15:41:00	5	356,544	7,386,161	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	15:48:00	5	356,555	7,386,172	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	15:56:00	5	356,592	7,386,190	Sicigia Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
P-DER-2	09-09-2018	16:07:00	5	356,610	7,386,211	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	16:17:00	5	356,616	7,386,220	Sicigia Llenante
P-DER-2	09-09-2018	13:50:00	0	356,470	7,386,120	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	13:55:00	0	356,470	7,386,120	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:01:00	0	356,527	7,386,142	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:08:00	0	356,575	7,386,154	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:13:00	0	356,623	7,386,164	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:20:00	0	356,678	7,386,172	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:26:00	0	356,721	7,386,175	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:33:00	0	356,767	7,386,189	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:40:00	0	356,808	7,386,201	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:49:00	0	356,866	7,386,221	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:57:00	0	356,914	7,386,240	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	13:50:00	5	356,470	7,386,120	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	13:56:00	5	356,467	7,386,102	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:02:00	5	356,468	7,386,086	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:08:00	5	356,503	7,386,077	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:14:00	5	356,537	7,386,073	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:21:00	5	356,569	7,386,063	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:28:00	5	356,555	7,386,037	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:35:00	5	356,552	7,386,019	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:43:00	5	356,578	7,386,022	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	14:51:00	5	356,628	7,386,035	Sicigia Vaciante
P-DER-2	09-09-2018	15:00:00	5	356,669	7,386,052	Sicigia Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	14:51:48	0	347,247	7,402,451	Cuadratura Llenante
R-DER-1	14-11-2018	15:04:04	0	347,245	7,402,571	Cuadratura Llenante
R-DER-1	14-11-2018	14:51:48	5	347,247	7,402,451	Cuadratura Llenante
R-DER-1	14-11-2018	15:03:20	5	347,252	7,402,483	Cuadratura Llenante
R-DER-1	14-11-2018	15:15:22	5	347,268	7,402,505	Cuadratura Llenante
R-DER-1	14-11-2018	15:28:55	5	347,268	7,402,540	Cuadratura Llenante
R-DER-1	14-11-2018	15:46:14	5	347,284	7,402,565	Cuadratura Llenante
R-DER-1	14-11-2018	16:01:10	5	347,291	7,402,599	Cuadratura Llenante
R-DER-1	14-11-2018	16:11:40	0	347,251	7,402,508	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:11:40	0	347,251	7,402,508	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:30:32	0	347,250	7,402,650	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:30:32	0	347,250	7,402,650	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:44:24	0	347,241	7,402,779	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:44:24	0	347,241	7,402,779	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:57:41	0	347,240	7,402,887	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:57:41	0	347,240	7,402,887	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	17:12:22	0	347,233	7,402,966	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	17:12:22	0	347,233	7,402,966	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:11:40	5	347,251	7,402,508	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:11:40	5	347,251	7,402,508	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:30:09	5	347,255	7,402,588	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:30:09	5	347,255	7,402,588	Cuadratura Vaciante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
R-DER-1	14-11-2018	16:43:41	5	347,247	7,402,646	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:43:41	5	347,247	7,402,646	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:56:41	5	347,245	7,402,694	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	16:56:41	5	347,245	7,402,694	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	17:11:15	5	347,226	7,402,755	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	14-11-2018	17:11:15	5	347,226	7,402,755	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-11-2018	11:51:11	0	347,198	7,402,501	Sicigia Llenante
R-DER-1	12-11-2018	12:09:50	0	347,221	7,402,600	Sicigia Llenante
R-DER-1	12-11-2018	12:27:59	0	347,250	7,402,585	Sicigia Llenante
R-DER-1	12-11-2018	12:43:34	0	347,271	7,402,786	Sicigia Llenante
R-DER-1	12-11-2018	11:51:11	5	347,198	7,402,501	Sicigia Llenante
R-DER-1	12-11-2018	12:07:51	5	347,224	7,402,544	Sicigia Llenante
R-DER-1	12-11-2018	12:26:59	5	347,249	7,402,692	Sicigia Llenante
R-DER-1	12-11-2018	12:45:08	5	347,270	7,402,637	Sicigia Llenante
R-DER-1	09-09-2018	13:27:00	0	347,234	7,402,473	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	13:43:00	0	347,238	7,402,572	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	14:10:00	0	347,241	7,402,729	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	14:27:00	0	347,237	7,402,831	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	14:53:00	0	347,228	7,403,007	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	13:27:00	5	347,234	7,402,473	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	13:41:00	5	347,232	7,402,492	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	14:09:00	5	347,209	7,402,519	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	14:25:00	5	347,193	7,402,551	Sicigia Vaciante
R-DER-1	09-09-2018	14:49:00	5	347,164	7,402,629	Sicigia Vaciante
R-DER-1	12-11-2018	13:08:15	5	347,308	7,402,696	Sicigia Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	15:10:00	0	348,062	7,402,092	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	15:23:23	0	348,071	7,402,197	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	15:41:21	0	348,077	7,402,354	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	16:17:12	0	348,080	7,402,712	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	14:57:31	5	348,064	7,401,992	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	15:09:28	5	348,060	7,402,022	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	15:22:20	5	348,079	7,402,049	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	15:39:42	5	348,093	7,402,103	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	15:56:09	5	348,108	7,402,154	Cuadratura Llenante
R-DER-2	14-11-2018	16:38:14	0	348,060	7,402,112	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	16:50:32	0	348,052	7,402,228	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	17:04:33	0	348,052	7,402,358	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	17:18:06	0	348,045	7,402,477	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	16:24:27	5	348,055	7,402,003	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	16:37:43	5	348,062	7,402,047	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	16:51:20	5	348,066	7,402,111	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	17:05:54	5	348,083	7,402,168	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	14-11-2018	17:19:36	5	348,090	7,402,216	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-11-2018	11:37:17	0	348,105	7,402,050	Sicigia Llenante
R-DER-2	12-11-2018	12:01:39	0	348,144	7,402,177	Sicigia Llenante
R-DER-2	12-11-2018	12:20:19	0	348,183	7,402,265	Sicigia Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
R-DER-2	12-11-2018	12:36:29	0	348,209	7,402,333	Sicigia Llenante
R-DER-2	12-11-2018	11:37:17	5	348,105	7,402,050	Sicigia Llenante
R-DER-2	12-11-2018	12:01:14	5	348,140	7,402,105	Sicigia Llenante
R-DER-2	12-11-2018	12:19:16	5	348,164	7,402,129	Sicigia Llenante
R-DER-2	12-11-2018	12:35:10	5	348,193	7,402,158	Sicigia Llenante
R-DER-2	09-09-2018	13:20:00	0	348,057	7,401,998	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	13:35:00	0	348,050	7,402,107	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	14:03:00	0	348,058	7,402,272	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	14:19:00	0	348,056	7,402,366	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	14:39:00	0	348,045	7,402,501	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	13:20:00	5	348,057	7,401,998	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	13:35:00	5	348,043	7,402,028	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	14:02:00	5	348,007	7,402,078	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	14:18:00	5	347,998	7,402,124	Sicigia Vaciante
R-DER-2	09-09-2018	14:42:00	5	347,960	7,402,204	Sicigia Vaciante
R-DER-2	12-11-2018	12:52:20	5	348,220	7,402,178	Sicigia Vaciante

d) *Resultados de muestras de la matriz biológica invierno 2018*

A continuación, se presentan los resultados de la primera campaña invierno 2018, en donde se tomaron muestras para los componentes: Fitoplancton, Zooplancton, Ictioplancton y comunidades bentónicas.

· Fitoplancton

El análisis cualitativo indicó que la composición de fitoplancton durante invierno 2018 estuvo representada principalmente por el grupo de diatomeas con un total de 35 taxa, mientras que el grupo de dinoflagelados registró una presencia de 18 taxa y el grupo de los silicoflagelados estuvo representado por 1 taxón. Al analizar la composición taxonómica, los resultados indicaron que los taxa fitoplanctónicos que presentaron los índices de abundancia relativa en categoría “Muy Abundante” alcanzaron 33 grupos taxonómicos, destacando la diatomea *Coscinodiscus* spp. y el dinoflagelado *Triplos balechii*, ambos con mayor abundancia en los 10 puntos de muestreo (Tabla 5.4-20).

Tabla 5.4-20 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) para la comunidad de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge. Invierno 2018.

Taxa/Puntos de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
Diatomeas										
<i>Actinoptychus senarius</i>							E			
<i>Actinoptychus sp.</i>		R		E	E	A				
<i>Asterionellopsis sp.</i>	A	M		A	M	M		M	M	M
<i>Asteromphalus sp.</i>	E	E	E	E	R		R		E	
<i>Bacteriastrum sp.</i>	E		A	A	E	A		A	M	A
<i>Chaetoceros curvisetus</i>				A						
<i>Chaetoceros spp.</i>	M	M	M	M	M	M		M	M	M
<i>Corethron sp.</i>	A	E	A	E		E				
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	A	E	A	E	E	A	E	E	A	A
<i>Coscinodiscus spp.</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
<i>Cylindrotheca sp.</i>									E	
<i>Dactyliosolen sp.</i>									E	
<i>Detonula sp.</i>	M		M	M	M		M	M	M	M
<i>Detonula spp</i>		M				M				
<i>Entomoneis sp.</i>	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M
<i>Eucampia spp.</i>	A	M	M	M	M	A	M	M	A	M
<i>Gossleriella sp.</i>	E	E			E					E
<i>Grammatophora sp.</i>				E		E				
<i>Guinardia sp.</i>	E	M		E	A	A		A	A	A
<i>Halamphora sp.</i>	A	M	M	M	A	M		M	M	M
<i>Hemiaulus sp.</i>			E					E	A	
<i>Leptocylindrus sp.</i>	A	M		M	A			M	M	M
<i>Licmophora sp.</i>	E		E	E	E					E
<i>Lithodesmium sp.</i>	M	M	A	M	M	M	A	M	M	M
<i>Pennales ind.</i>							M			
<i>Plagiotropis sp.</i>				E					E	
<i>Planktoniella spp.</i>	M	M	M	M	M	M	M	A	M	
<i>Pleurosigma sp.</i>	A	A		E	A	A		E	A	
<i>Proboscia spp.</i>	M		A	A	A	A	E	M	M	A
<i>Pseudonitzschia spp.</i>	M	M	M	M	M	M		M	M	M
<i>Rhizosolenia spp.</i>	E	A	A	E	A	A		A	A	

Taxa/Puntos de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
<i>Stephanopyxis spp.</i>	M	M	M	M		M	M	M	M	M
<i>Surirella sp.</i>		E								
<i>Thalasionema spp.</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A
<i>Thalassiosira spp.</i>	A	M	A	E	A	M		A	M	A
Dinoflagelados										
<i>Dinophysis acuminata</i>	M	M	M	A	M	M	E	M	M	M
<i>Dinophysis caudata</i>	M	M	M	A	M	M	E	M	M	M
<i>Dinophysis rotundata</i>	A	A	E	E	E	M	M		A	A
<i>Dinophysis tripos</i>	E	E	E	E	E	A			E	E
<i>Diplopsalis sp.</i>						E				
<i>Gonyaulax sp.</i>	E	E	E			A		E	E	A
<i>Prorocentrum sp.</i>	M	M	M	E	A	M	M	M	E	M
<i>Protoperidinium depressum</i>	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	E			E	E		M	E		
<i>Protoperidium spp.</i>							M			
<i>Tripos balechii</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
<i>Tripos furca</i>	A	E	M	E	A	M	E	A		A
<i>Tripos fusus</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	A	M
<i>Tripos horridus</i>					E	A		E		E
<i>Tripos limulus</i>	E					A	M	E		
<i>Tripos lineatus</i>	E	E	A	E	A	A	A	A	E	M
<i>Tripos muelleri</i>	M	E	M	E	E			A		A
<i>Tripos pentagonus</i>		R			E		E			
Silicoflagelados										
<i>Dictyocha spp.</i>	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M

En cuanto al análisis cuantitativo de fitoplancton se registró un total de 55 taxa, de los cuales 35 correspondieron al grupo de las diatomeas, 19 a dinoflagelados y un taxon a silicoflagelados. Los valores de riqueza a nivel espacial fueron más bien similares donde el mayor número de taxa se registró en el punto BSJ-04 con 43 taxa en el estrato superficial. En cambio, la abundancia registró valores más bien irregulares entre puntos de muestreo y estratos evaluados, donde el mayor valor se registró en el punto BSJ-05 a nivel superficie (Figura 5.4-46).

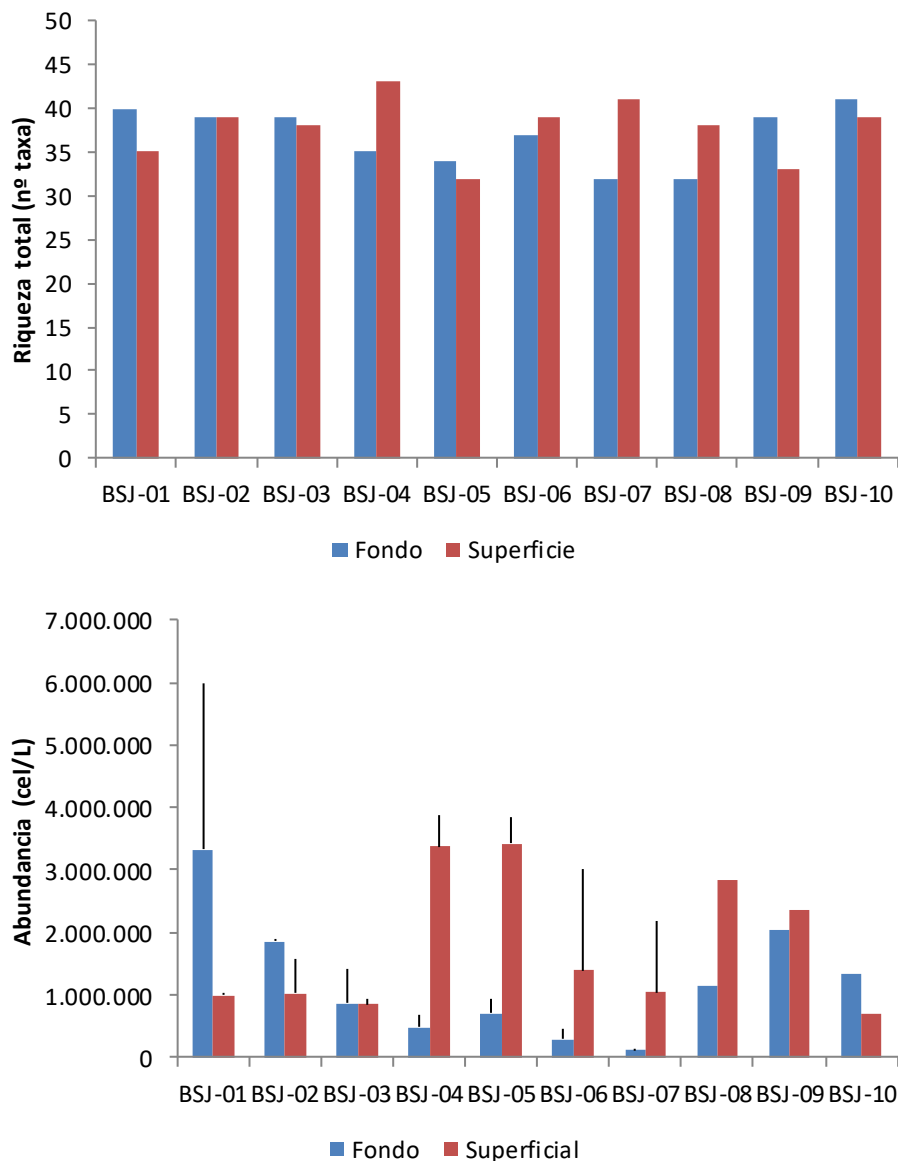


Figura 5.4-46 Riqueza tota y abundancia de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge. Campaña invierno 2018.

La composición de fitoplancton estuvo representada mayoritariamente por especies pertenecientes al grupo de las diatomeas, con alta variabilidad de dominancias entre puntos de muestreo y estratos. La mayor frecuencia de ocurrencia la registró el género *Pseudonitzschia* spp. entre ambos estratos, seguido de *Asterionellopsis* sp. Además, destacaron las dominancias en el estrato superficial del dinoflagelado *Prorocentrum* spp. en tres puntos de muestreo y la diatomea *Leptocylindrus* spp. en un punto de muestreo (Figura 5.4-47).

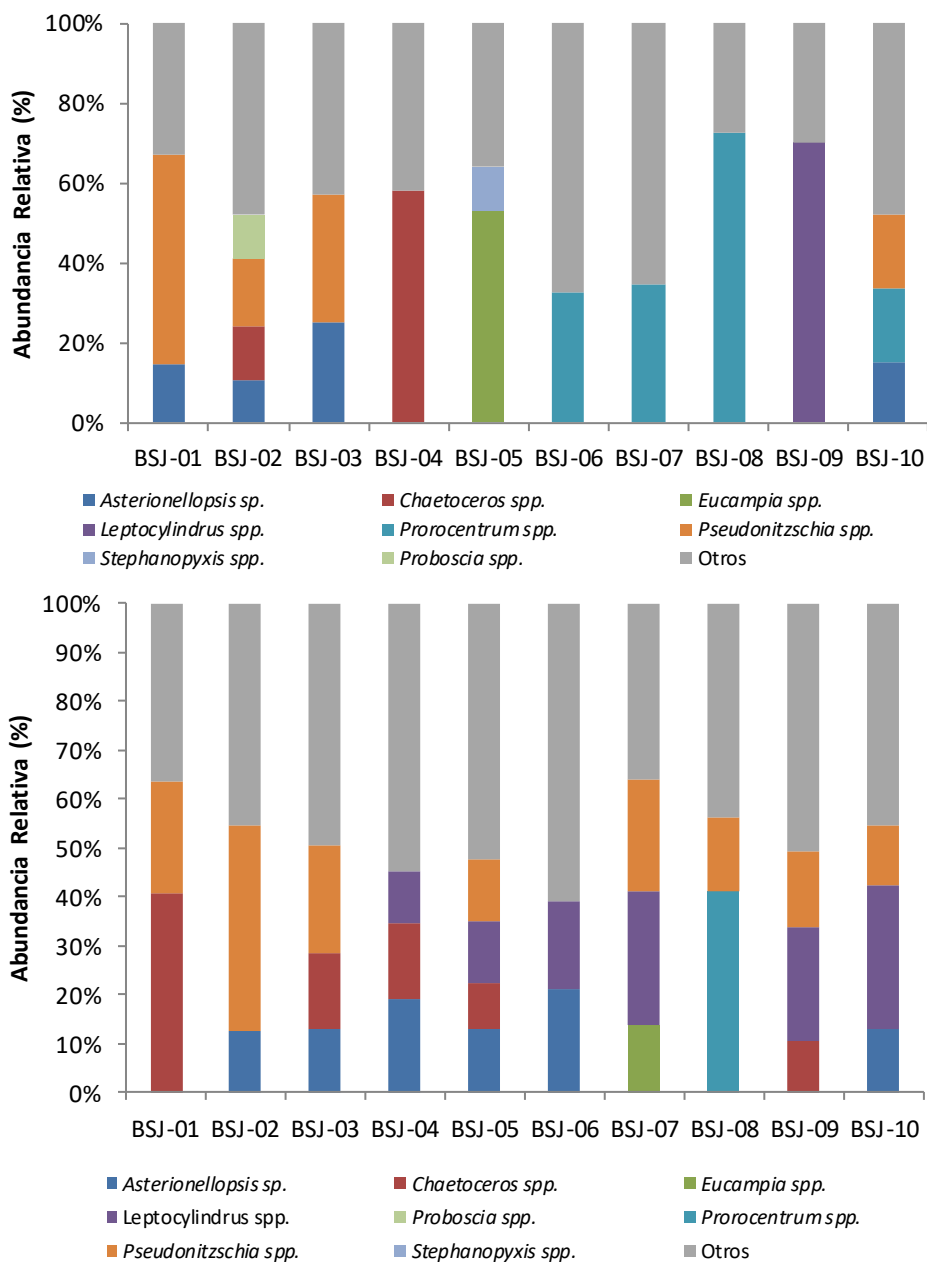


Figura 5.4-47 abundancia relativa (%) de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge. Campaña invierno 2018.

La estructura de la comunidad de fitoplancton estuvo representada por una alta diversidad y con abundancias más bien equitativas entre los taxa registrados en el área de estudio sin registros de dominancias mono-específicas. Los valores de diversidad oscilaron entre 4,0 a 4,7 bits, mientras que el índice de equidad osciló entre 0,8 y 0,9.

- Zooplancton

Para definir la estructura comunitaria del zooplancton se evaluaron de acuerdo a su permanencia en el plancton, clasificándose como Meroplancton (parte de ciclo de vida en el plancton) y Holoplancton (ciclo de vida permanente dentro de la columna de agua).

El Meroplancton registró 27 taxa compuesto principalmente por estados de Zoeas y Larvas. A nivel espacial, la riqueza total presentó un patrón heterogéneo en el sector de la bahía con una pequeña disminución hacia los puntos más expuestos de la bahía (BSJ-1 y BSJ-10) (Figura 5.4-48a). En cuanto a la abundancia promedio, los valores presentaron un patrón similar al parámetro anterior, con un máximo en la zona (BSJ-06) con $22.235 \pm 5.285 \text{ ind/m}^3$ (Figura 5.4-48b).

Para determinar la dominancia de organismos de meroplancton en el área de estudio, se consideraron los taxa con abundancia relativa igual o superior a 10%, siendo el resto de los taxa agrupados en la categoría “Otros”. Entre los grupos identificados en el área de estudio, las Larvas de crustáceos dominaron en todos los puntos de la bahía, excepto en el punto BSJ-02 donde dominaron los poliquetos. (Figura 5.4-48c).

La estructura del meroplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo (Figura 5.4-48b; Figura 5.4-48c). El índice de equidad mostró valores superiores a 0,73 en todos los puntos de muestreo evaluado. Lo anterior indicaría que el meroplancton presentó una alta diversidad de especies con baja dominancia monoespecífica de algún taxón.

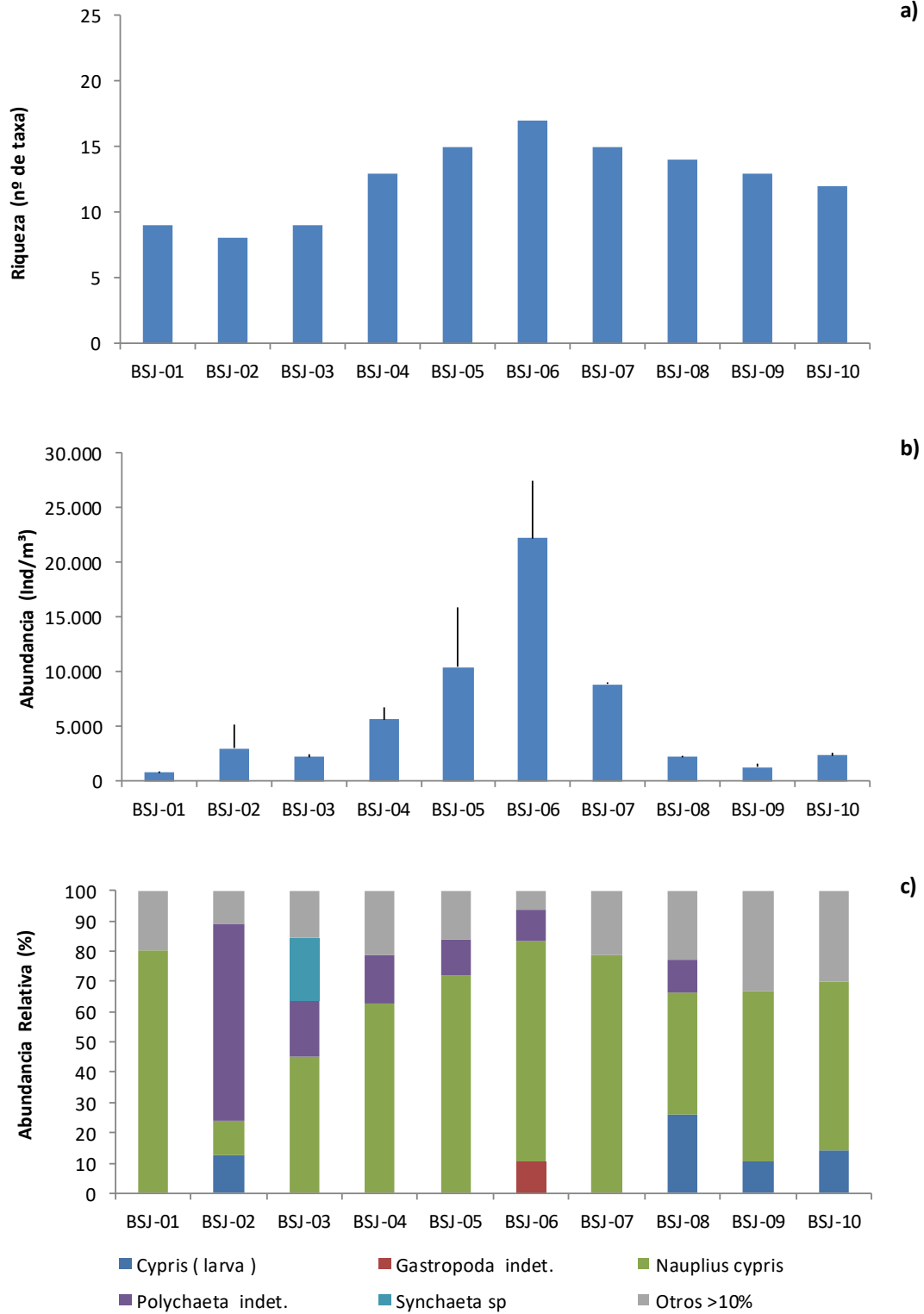


Figura 5.4-48 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio (n=2, \pm E.E.) y c) Abundancia relativa (%) del Meroplankton. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2018.

El Holoplancton registró 25 taxa compuesto principalmente por Copépodos. A nivel espacial la riqueza total presentó un patrón heterogéneo en todos los sectores de la bahía (Figura 5.4-49a). En cuanto a la abundancia promedio, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos de muestreo, observándose mayores valores en el punto de muestreo BSJ-07, y menores en el sector noreste del sector en estudio (BSJ-01) (Figura 5.4-49b).

Para determinar la dominancia de organismos de zooplancton en el área de estudio, se consideraron los taxa con abundancia relativa igual o superior a 10%, siendo el resto de los taxa agrupados en la categoría "Otros". Durante la campaña de invierno 2018 en el área de estudio se registró mayor presencia de copépodos. Las mayores abundancias relativas fueron registradas por los copépodos del orden Calanoideos en todos los puntos y larvas de copépodo en BSJ-03 (Figura 5.4-49c).

La estructura del Holoplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo (Figura 5.4-49a). El índice de equidad mostró valores superiores a 0,70 en todos los puntos de muestreo evaluado. Lo anterior indicaría que el meroplancton presentó una alta diversidad de especies con baja dominancia monoespecífica de algún taxón.

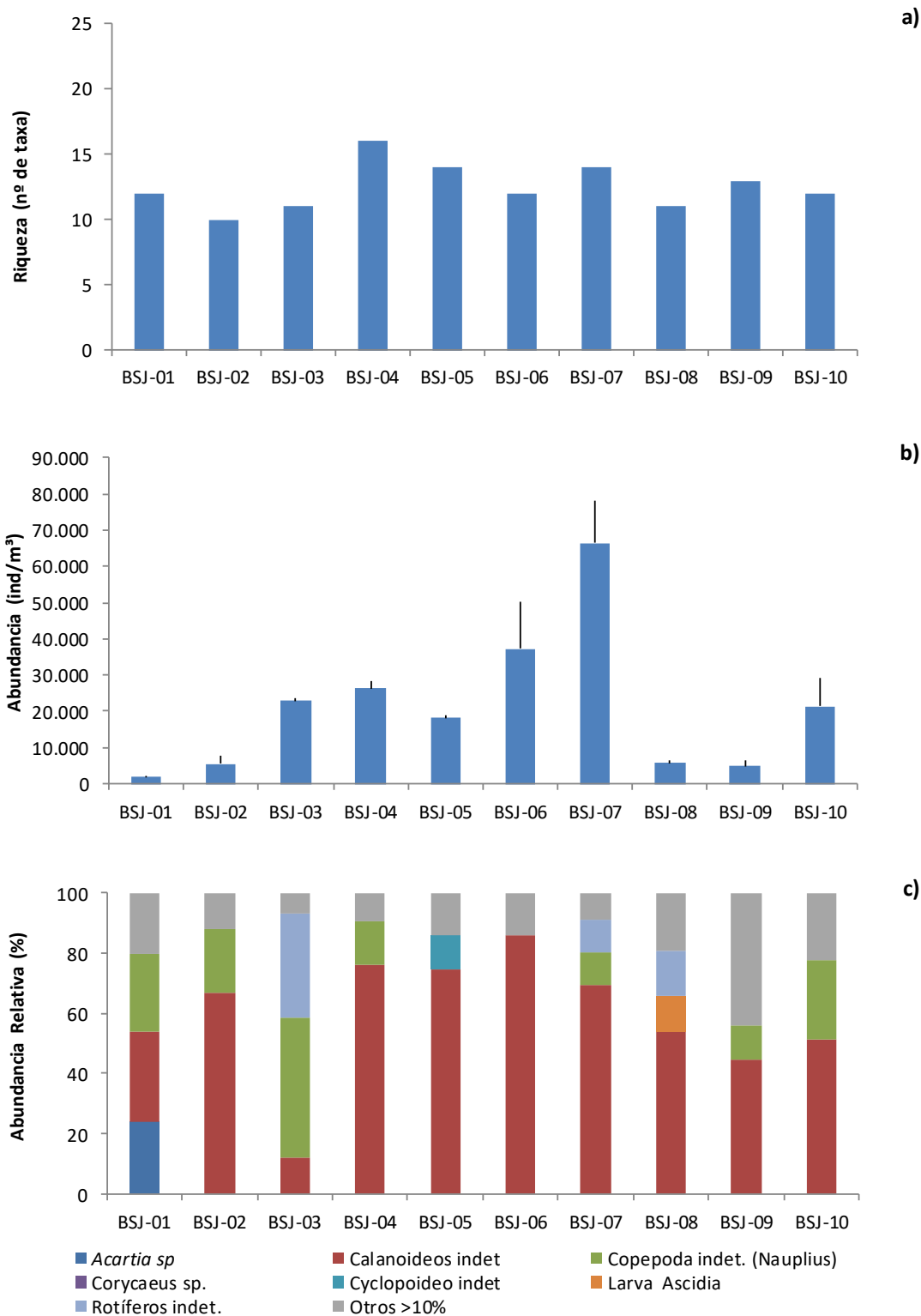


Figura 5.4-49 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio ($n=2$, \pm E.E.) y c) Abundancia relativa (%) del Holoplankton. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2018.

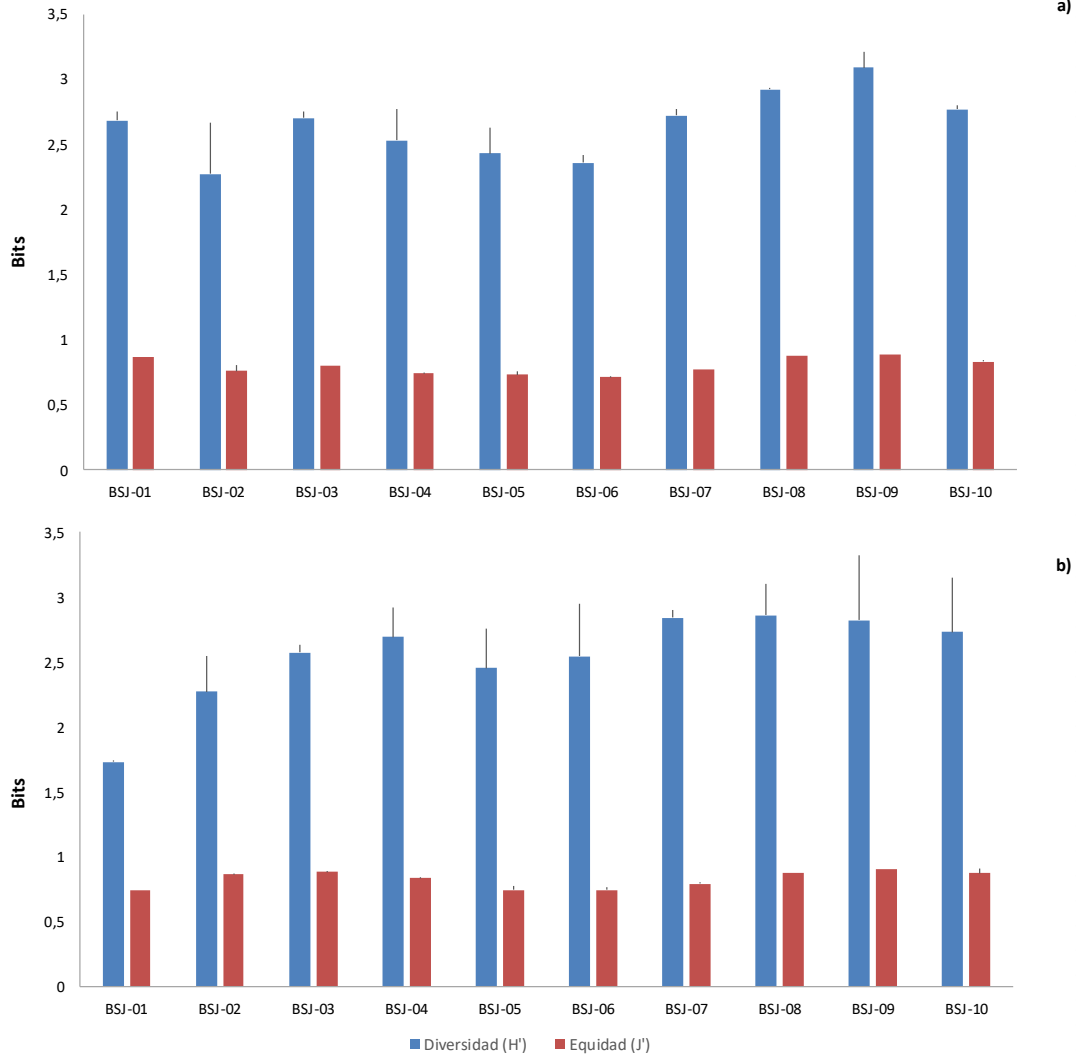


Figura 5.4-50 Índice de Shannon Wiener e Índice de Pielou, para las comunidades a) Holoplancónicas, b) Meroplancónicas. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña invierno 2018.

En cuanto a la biomasa de zooplancton, se puede observar un patrón irregular entre los puntos de muestreo, con mayores biomásas en el punto BSJ-04, seguido por el punto de muestreo BSJ-08 (Figura 5.4-51). Los menores valores de biomásas se registraron en los puntos de muestreo BSJ-01 y BSJ-09.

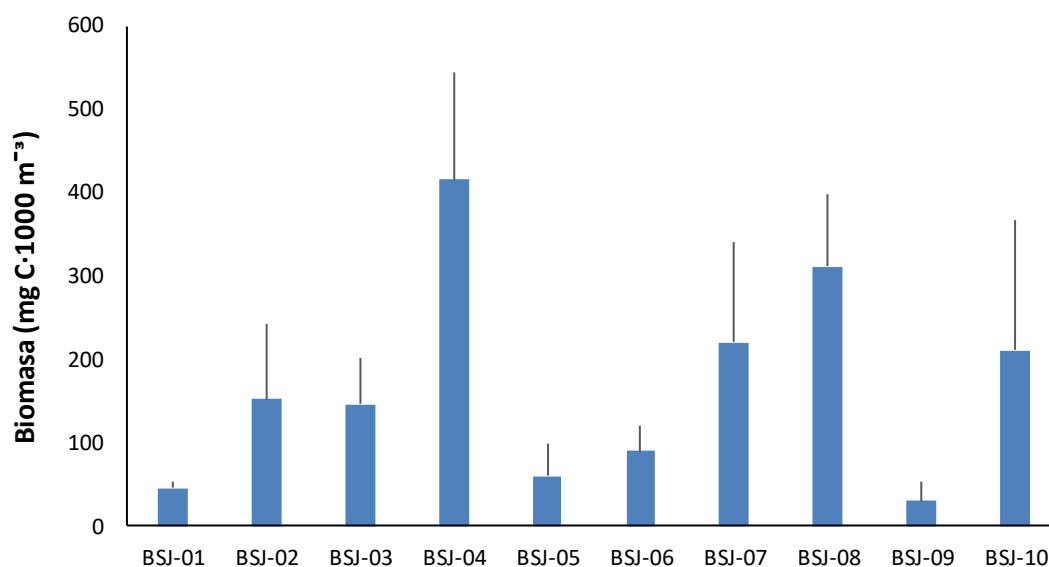


Figura 5.4-51 Biomasa (n=2; E.E.) en la comunidad zooplancton registrada en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2018.

· Ictioplancton

El ictioplancton registro una riqueza total de 13 taxa, de las cuales 7 correspondieron a la porción de huevos y 6 a la de larvas. La riqueza total en el área de estudio presentó valores irregulares entre los puntos de muestreo para las dos porciones, con mayor cantidad de huevos en el punto BSJ-06 y de larvas en el sector norte en el punto BSJ-02) (Figura 5.4-52a; Figura 5.4-53a).

La abundancia promedio en cambio, presentó mayor abundancia de huevos en el sector sur de la Bahía (BSJ-10), para la porción de larvas en el punto BSJ-09. Los menores valores de abundancia fueron en el sector norte BSJ-02 (huevos) y BSJ-06 (larvas) (Figura 5.4-52b; Figura 5.4-53b). Para larvas los puntos BSJ-01, BSJ-04 y BSJ-05 no presentaron individuos.

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 presentaron dominancia de la Anchoveta *Engraulis ringens* para la porción de huevos y larvas en todos los puntos de muestreo de la bahía, excepto el punto ubicado al norte de la bahía (BSJ-02) donde la porción de huevos también fue dominada por sardina del pacífico *Sardinops sagax*. La porción de larva en cambio el punto BSJ-02 domino *Girella laevisfrons* especie que habita en sectores rocosos. (Figura 5.4-52c; Figura 5.4-53c).

La estructura del ictioplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo (Figura 5.4-52a-b) El índice de equidad mostró valores irregulares mayores a 0,9 en larvas y 0,5 en huevos. Lo

anterior indicaría que el ictioplancton presentó una baja diversidad ($H' < 2$) de especies con baja dominancia monoespecífica de algún taxón.

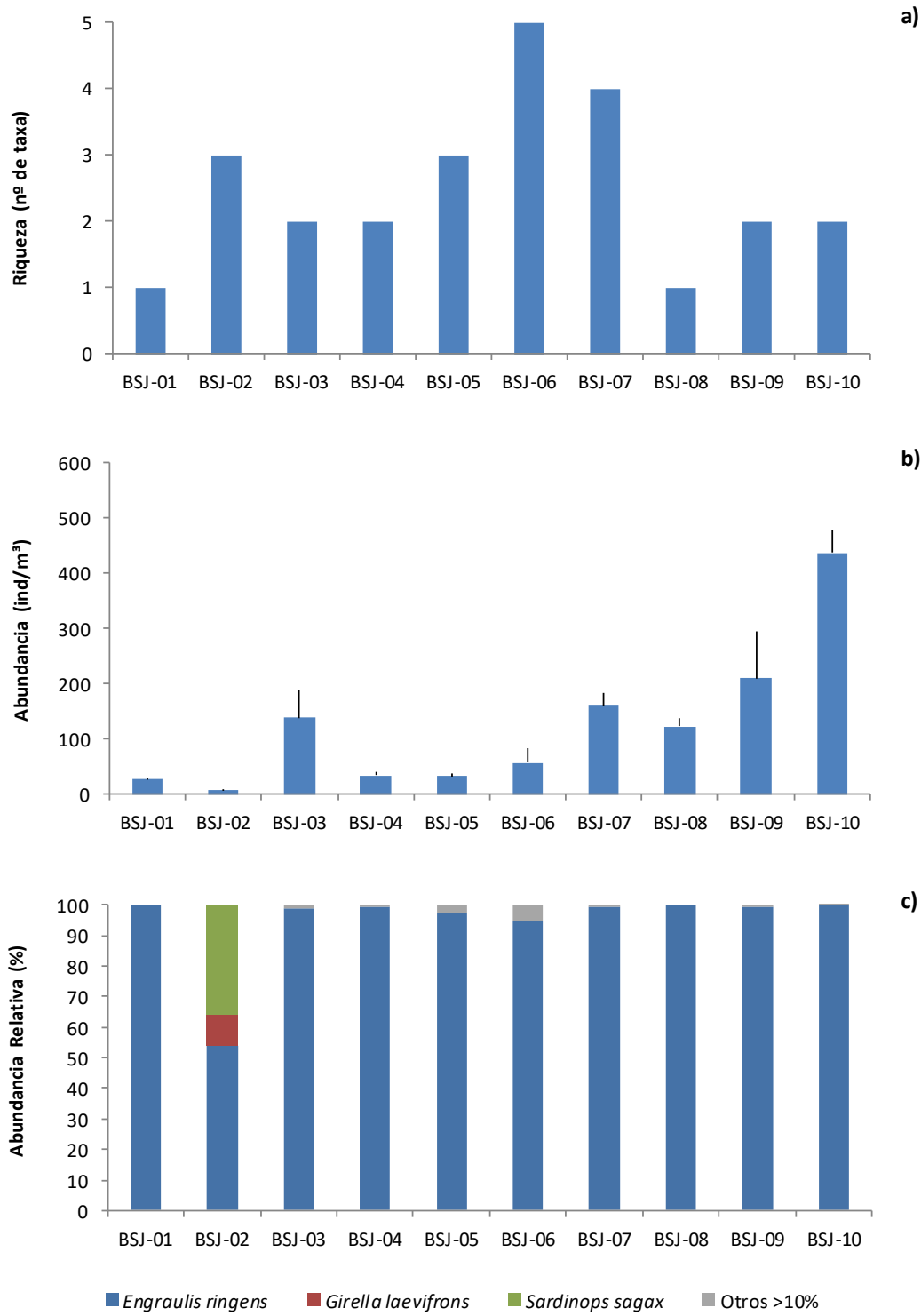


Figura 5.4-52 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio (n=2, ± E.E.) y c) Abundancia relativa (%) de la fracción de huevos. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2018.

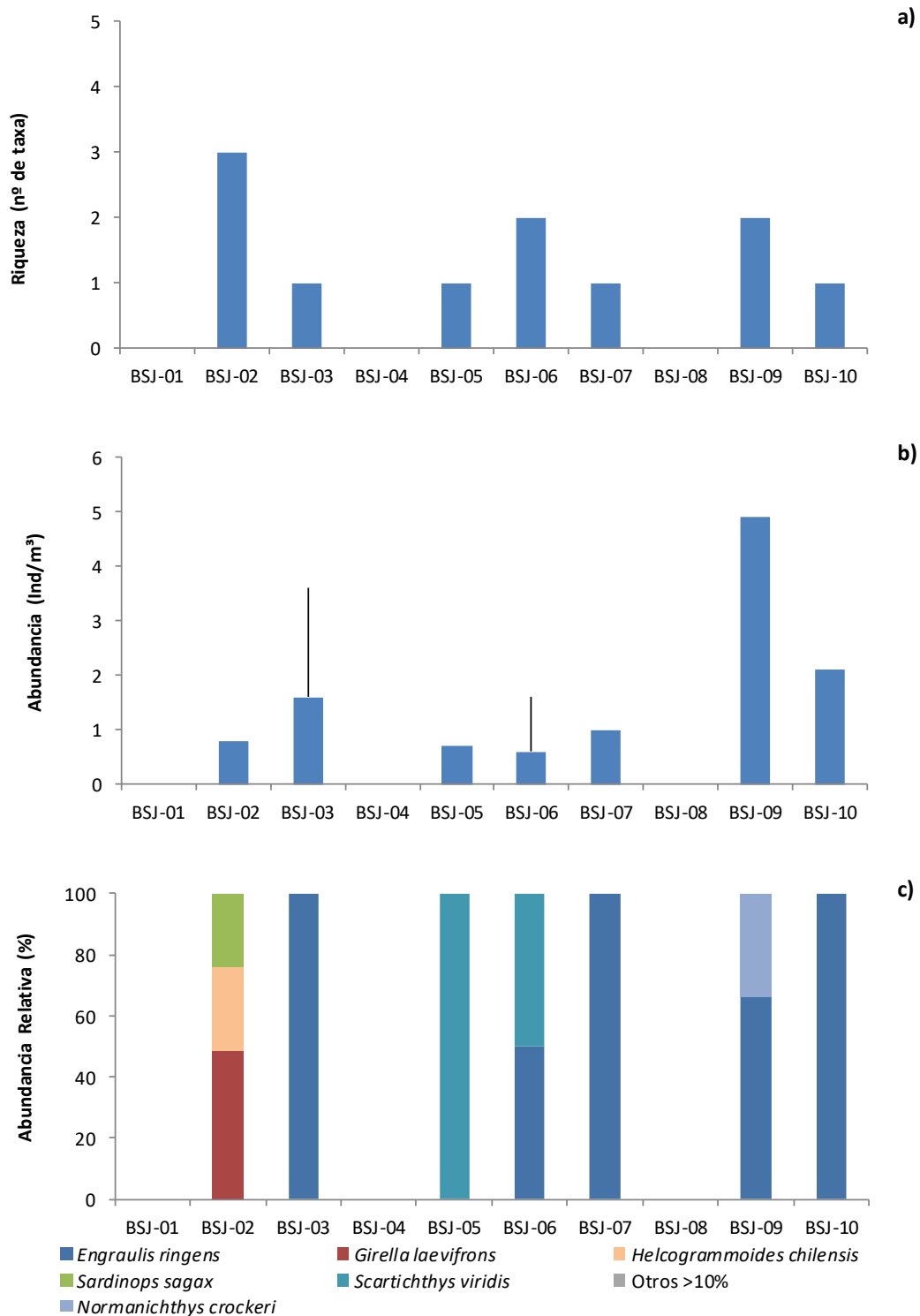


Figura 5.4-53 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio ($n=2$, \pm E.E.) y c) Abundancia relativa (%) de la fracción de larvas. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2018.

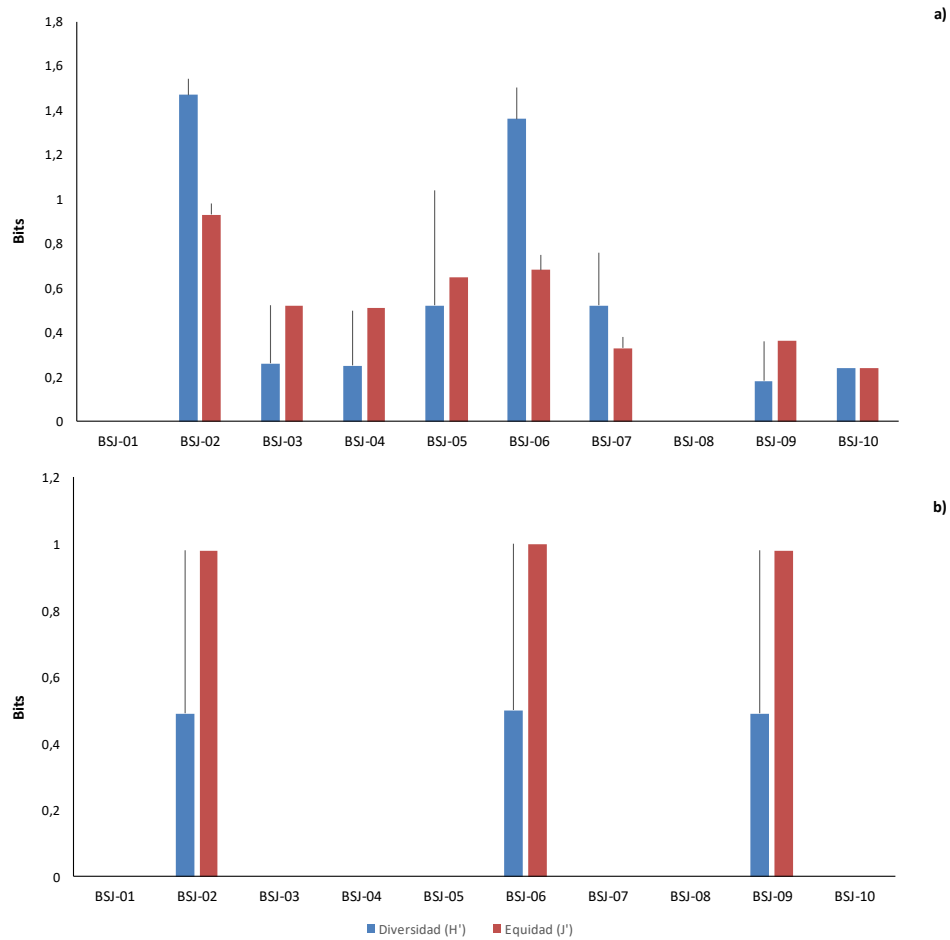


Figura 5.4-54 a) Porción de Huevos, b) Porción de Larvas, valores de Índice de Shannon Wiener (azul), e Índice de Pielou (rojo). Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña invierno 2018.

En cuanto a la biomasa de ictioplancton, se puede observar un patrón irregular entre los puntos de muestreo, con mayores biomásas en el punto de muestreo BSJ-04 (Figura 5.4-55).

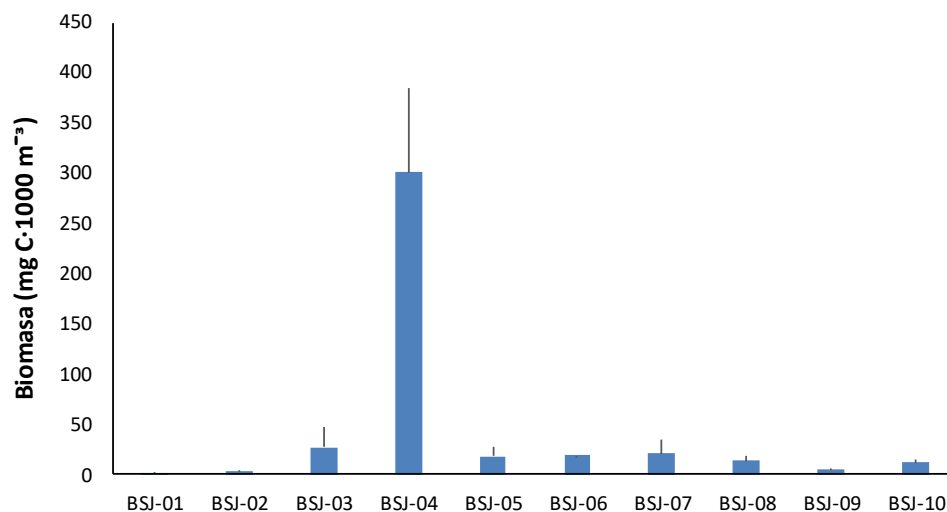


Figura 5.4-55 Biomasa de ictioplancton (equivalente de Carbono mg C · 1000 m⁻³) registrada en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2018.

- Comunidades bentónicas

En el muestreo realizado en invierno de 2018, se registró un total de 55 taxa en la comunidad de la infauna asociada al sistema submareal blando. Las mayores abundancias fueron registradas en los puntos de muestreo BSJ-03 y BSJ-10. La menor abundancia fue registrada en el punto de muestreo BSJ-04 (Figura 5.4-56). En la mayoría de los puntos de muestreo dominó el grupo de los poliquetos, mayormente representados por organismos de los géneros *Spiophanes* sp., *Magelona* sp., la familia Spionidae, y la especie *Aricidia pigmentata* (Figura 5.4-57). Es relevante la condición que se registra en el punto de muestreo BSJ-04, en donde el poliqueto *Aricidia pigmentata* es la única especie registrada y presenta las menores abundancias. Lo anterior no se ajusta al patrón general observado en el área de estudio y tampoco a lo esperado con respecto a la composición de especies (mono específico) en una comunidad biológica en general.

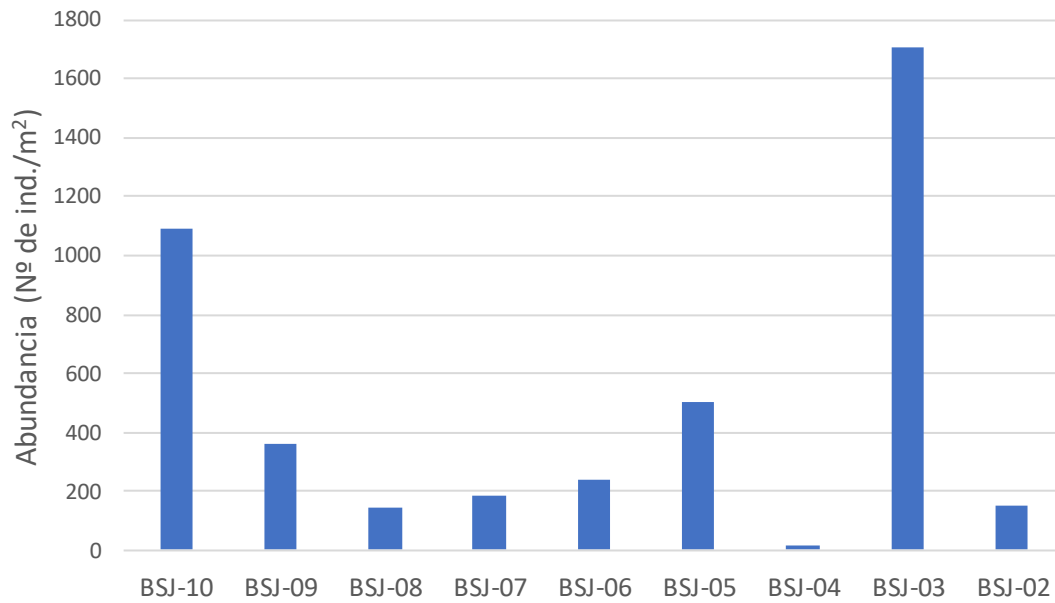


Figura 5.4-56 Abundancia de la infauna asociada al sistema submareal blando, invierno 2018. Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están ubicados de sur a norte en el eje de las abscisas.

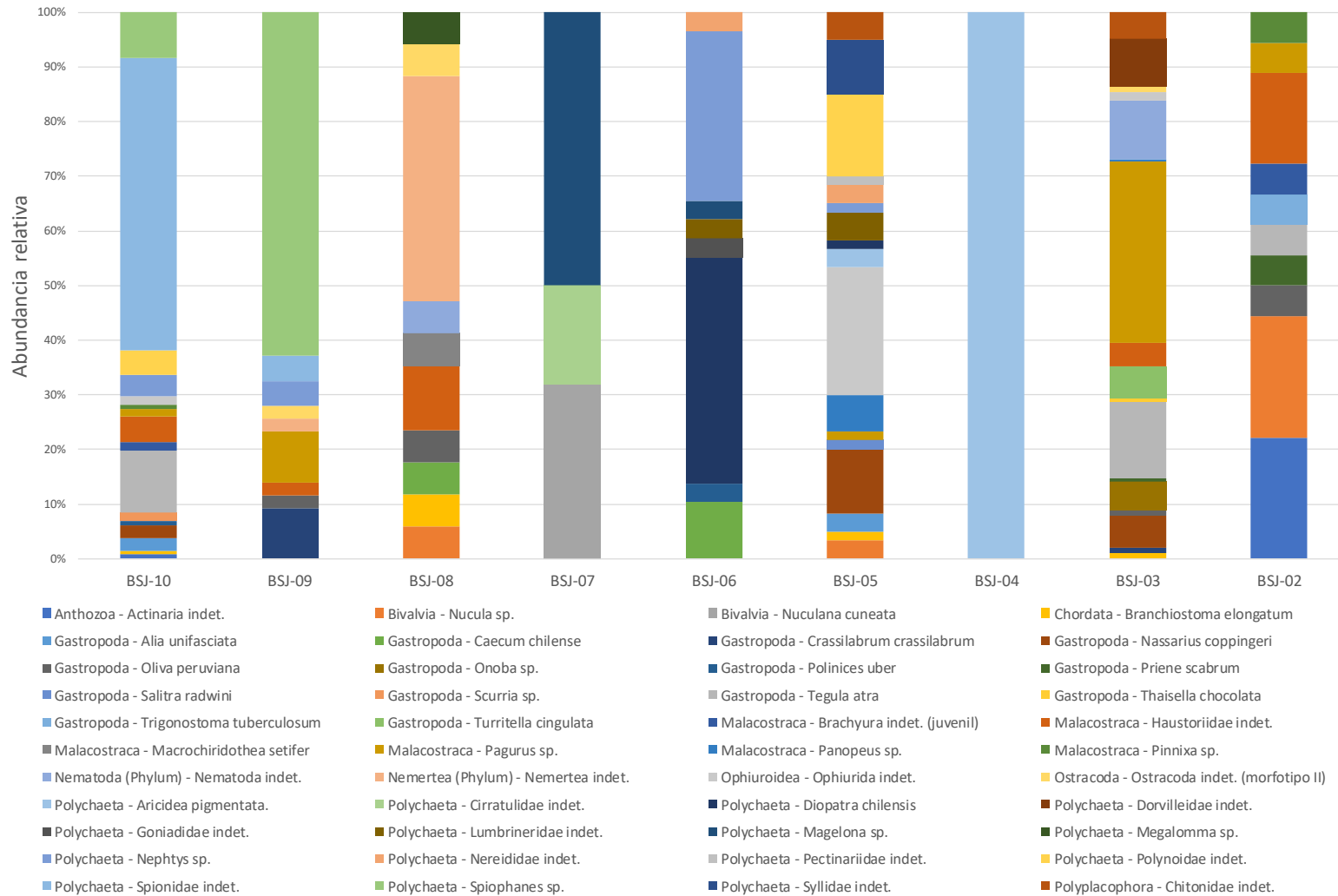


Figura 5.4-57 Composición de especies y abundancia relativa de la infauna asociada al sistema submareal blando, invierno 2018. Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están ubicados de sur a norte en el eje de las abscisas.

- iii. Actualización de la información de calidad de agua, sedimentos y biota de la bahía de San Jorge – Campaña Verano 2019

La campaña se ejecutó entre el 04 al 15 de marzo de 2019.

Las actividades realizadas fueron:

De la configuración de muestreo establecida en el Plan de Trabajo, se listan a continuación la totalidad de las actividades realizadas.

- **Calidad fisicoquímica agua y sedimento submareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en bahía San Jorge en estaciones BSJ-1@10.
- **Calidad fisicoquímica sedimento intermareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en bahía San Jorge en estaciones TI-02, TI-05, TI-06 y TI-08, muestras ubicadas en playas recreacionales, en acuerdo con la contraparte técnica.
- **Parámetros fisicoquímicos en la vertical:** Lance de sonda CTD en estaciones BSJ-1@10 para el muestreo de la columna vertical de agua de parámetros físicos: clorofila, conductividad, densidad, potencial redox, oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura y turbidez. Se incorporan datos de disco Secchi durante el lance de la sonda para análisis de visibilidad de fondo.
- **Correntometría euleriana:** Instalación de ADCP para el muestreo de corrientes en la vertical durante un periodo de 30 días. El instrumento se fondeó el 5 de marzo a las 10:30 horas a una profundidad de 19 m aproximadamente.
- **Correntometría lagrangiana:** Lance de derivadores en 3 puntos (2 estaciones por punto) para el análisis de corrientes durante distintas condiciones de marea (llenante y vaciante) en sus fases lunares mensuales (sicigia y cuadratura).
- **Comunidades planctónicas:** Muestreo de comunidades planctónicas en superficie y profundidad, en estaciones BSJ-1@10.
- **Comunidades bentónicas:** Videos submareales para caracterización de comunidades bentónicas, en estaciones BSJ-1@10.

La ubicación de los puntos de muestreo correspondió a los mismos de la campaña anterior (Figura 5.4-17 y Figura 5.4-18).

a) Resultados de muestras de calidad química de agua y sedimento verano 2019

· Calidad de agua

En la columna de agua de bahía San Jorge, se registraron parámetros in-situ (pH, y conductividad). Además, en laboratorio se analizaron parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales y turbidez); nutrientes (amonio y fósforo total); parámetros biológicos (coliformes totales, fecales y DBO5); metales disueltos (aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc); y otros parámetros de importancia ambiental (aceites y grasas, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos totales). A continuación, se describen en mayor detalle los parámetros in-situ y los seis metales identificados como agentes potencialmente contaminantes en el Objetivo específico 2. El resto de los resultados se presentan en **Anexos_digitales\04_OE3\2_Base_datos_Agua_Sedimentos**.

En general, las aguas presentaron conductividades espacialmente heterogéneas, con valores mayores en el estrato superficial respecto al estrato de fondo. La mayor conductividad se registró en el punto BSJ-02, estrato superficial, mientras que la mínima de 42.233 uS/cm se registró en el fondo de BSJ-08 (Tabla 5.4-21)

Las aguas de la bahía San Jorge fueron clasificadas, en general, como moderadamente alcalinas (Hounslow, 1995) y se encontraron dentro de los rangos establecidos en la normativa internacional EPA (2009), sin observar efectos adversos de largo plazo (reproducción) en organismos expuestos de manera continua, es decir sin un riesgo crónico, como también dentro del rango establecido en la norma canadiense CCME (2007), lo cual indicaría que no se producirían efectos crónicos en los organismos, clasificando las aguas como aptas para la vida acuática (Tabla 5.4-21).

Tabla 5.4-21 Parámetros in situ medidos en verano de 2019. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo	Conductividad (mS/cm)	pH (unidad)	Turbidez (NTU)
BSJ-01-S	47.114	8.201	
BSJ-01-F	46.551	8.148	
BSJ-02-S	49.498	8.299	
BSJ-02-F	47.102	8.219	
BSJ-03-S	45.826	8.094	1,07
BSJ-03-F	42.955	7.895	0,57
BSJ-04-S	45.813	8.147	1,03
BSJ-04-F	44.888	8.025	0,57
BSJ-05-S	42.761	7.805	1.83
BSJ-05-F	46.605	7.994	2.14
BSJ-06-S	45.613	7.68	2.18
BSJ-06-F	42.439	7.75	2.06

Punto de muestreo	Conductividad (mS/cm)	pH (unidad)	Turbidez (NTU)
BSJ-07-S	45.991	7.841	2.05
BSJ-07-F	43.369	7.863	1.07
BSJ-08-S	44.989	7.733	1.51
BSJ-08-F	42.223	7.759	1.26
BSJ-09-S	47.105	7.365	1.5
BSJ-09-F	42.329	7.813	1.47
BSJ-10-S	46.331	7.958	1.33
BSJ-10-F	42.623	7.847	1.34
Decreto N°144, 2009			
EPA, 2009 (US)	CMC	-	-
	CCC	-	6,5 - 8,5
CCME, 2007 (Canadá)		-	7,0 - 8,7
Australia y Nueva Zelanda (2000)		-	8-8,4

La concentración de arsénico disuelto varió entre bajo el límite de detección (<0,005 mg/L), en la mayoría de los puntos de muestreo, y 0,021 mg/L en BSJ-02, estrato de fondo, valores que se encontraron bajo los criterios normativos (Tabla 5.4-22). El mismo comportamiento se observó con el mercurio disuelto, en donde la mayoría de los puntos de muestreo presentaron concentraciones bajo el límite de detección (0.0005 mg/L), a excepción de BSJ01, estrato fondo con un valor cuantificable de 0.0005 mg/L (Tabla 5.4-22).

Las concentraciones de cadmio, cobre y plomo disuelto se encontraron bajo el límite de detección y bajo los criterios de la EPA (2009), CCME (2007), mientras que para la normativa de Australia y Nueva Zelanda no se puede determinar el cumplimiento ya que los límites de detección son mayores a los criterios establecidos (Tabla 5.4-22).

La concentración de zinc disuelto varió entre 0,006 mg/L en el punto BSJ-10 (estrato fondo) y 0,029 mg/L en BSJ-03, del estrato de fondo (Tabla 5.4-22). Todos los valores se encontraron bajo los criterios de la EPA (2009) y CCME (2007), pero sobre el criterio de Australia y Nueva Zelanda (2000) (Tabla 5.4-22).

Tabla 5.4-22: Metales disueltos medidos en la campaña de verano de 2019. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo	Arsénico disuelto (mg/L)	Cadmio disuelto (mg/L)	Cobre disuelto (mg/L)	Mercurio disuelto (mg/L)	Plomo disuelto (mg/L)	Zinc disuelto (mg/L)	
BSJ-01-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,008	
BSJ-01-F	0,012	<0,001	<0,003	0,0005	<0,008	0,012	
BSJ-02-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,008	
BSJ-02-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,007	
BSJ-03-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,02	
BSJ-03-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,029	
BSJ-04-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,015	
BSJ-04-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,021	
BSJ-05-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,011	
BSJ-05-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,015	
BSJ-06-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,008	
BSJ-06-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,012	
BSJ-07-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,007	
BSJ-07-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,015	
BSJ-08-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,011	
BSJ-08-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,013	
BSJ-09-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,007	
BSJ-09-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,008	
BSJ-10-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,012	
BSJ-10-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,0005	<0,008	0,006	
Decreto N°144, 2009							
-							
EPA, 2009 (US)	CMC	0,069	0,04	0,0048	0,0018	0,21	0,09
	CCC	0,036	0,0088	0,0031	0,00094	0,0081	0,081
CCME, 2007 (Canadá)							
12,5							
Australia y Nueva Zelanda (2000)							
-							
-							
0,0007							
0,0003							
0,0001							
0,0022							

- Calidad del sedimento submareal e intermareal

En los sedimentos submareales de bahía San Jorge, se analizó la granulometría de los sedimentos; hidrocarburos (hidrocarburos totales, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos aromáticos totales); y metales (aluminio, arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel y plomo). A continuación, se describen en mayor detalle aquellos seleccionados como agentes contaminantes en el Objetivo específico 2. El resto de los resultados se presentan en **Anexos digitales\04_OE3\2_Base_datos_Agua_Sedimentos.**

Los sedimentos submareales presentaron concentraciones de arsénico entre 0.74mg/kg en el punto BSJ-05 y 22.36 mg/kg en BSJ-06. Los intermareales variaron entre 1.31 mg/kg y 2.4 mg/kg en TI-02 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Los puntos BSJ-04 y BSJ-06, superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50% (CCME, 2002) (Tabla 5.4-23).

La concentración de cadmio en los sedimentos submareales varió de <0.1 mg/kg a 6.7 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-06, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre <0.1 mg/kg a 0.4 mg/kg en TI-08 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Los puntos BSJ-04 y BSJ-06, superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50%, sin embargo en el punto BSJ-06, también se superó el criterio PEL, que indica efectos adversos frecuentes sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-23).

La concentración de cobre en los sedimentos submareales varió de 13.5 mg/kg a 1573.6 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-06, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 12.2 mg/kg a 21.5 mg/kg en TI-06 y TI-08, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Desde los puntos BSJ-03 al BSJ-10, las concentraciones superaron el criterio ISQG, y de estos, sólo BSJ-04 y BSJ-06 superaron el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentes sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-23).

La concentración de mercurio en los sedimentos submareales varió de <0.01 mg/kg a 1.34 mg/kg en BSJ-01-BSJ-02-BSJ-03 y BSJ-07, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron todos bajo el límite de detección. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Sólo los puntos BSJ-04 y BSJ-06, superaron el criterio ISQG y PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-23).

La concentración de plomo en los sedimentos submareales varió de 1.1 mg/kg a 244.5 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-05, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 1.1 mg/kg a 8.5 mg/kg en TI-02 y TI-08, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Desde los puntos BSJ-04 al BSJ-06, se superó el criterio ISQG y sólo en BSJ-06, el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-23).

La concentración de cinc en los sedimentos submareales varió de 12 mg/kg a 1309 mg/kg en BSJ-09 y BSJ-06, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 18 mg/kg a 47 mg/kg en TI-05 y TI-08, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. En los puntos BSJ-04, BSJ-06 y BSJ-08, las concentraciones superaron el criterio ISQG y además, sólo en BSJ-06, el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-23).

La concentración de vanadio en los sedimentos submareales varió de 20.6 mg/kg a 63.0 mg/kg en BSJ-05 y BSJ-08, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 24.6 mg/kg a 69.9 mg/kg en TI-02 y TI-08, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos intermareales que los submareales. No existe criterio para este parámetro (CCME, 2002) (Tabla 5.4-23).

Tabla 5.4-23 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña verano de 2019. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Vanadio (mg/kg)	
Submareal	BSJ-01	1.04	<0.1	13.5	<0.01	1.2	14	27.9
	BSJ-02	2.16	0.6	14.6	<0.01	2.3	28	30.8
	BSJ-03	2.04	0.3	20	<0.01	12.5	42	41.5
	BSJ-04	12.24	0.7	708.8	1.34	87.3	178	48.7
	BSJ-05	0.74	0.5	26.7	<0.01	49.3	33	20.6
	BSJ-06	22.36	6.7	1573.6	0.72	244.5	1309	34.9
	BSJ-07	2.28	0.2	20.8	0.06	8.6	30	29.9
	BSJ-08	4.06	0.4	53.7	0.03	13	131	63.0
	BSJ-09	1.05	0.1	21.6	0.04	3.9	12	21.2
	BSJ-10	1.73	0.3	72.1	0.03	6.7	24	37.0
Intermareal	TI-02	1.31	0.2	13.7	<0.01	1.1	26	24.6
	TI-05	2.4	0.4	19.8	<0.01	4.2	47	29.7
	TI-06	1.97	0.2	12.2	<0.01	1.8	23	27.6
	TI-08	2.11	<0.1	21.5	<0.01	8.5	18	69.9
CCME, 2002 (Canadá)	ISQG	7.24	0.7	18.7	0.13	30.2	124	-
	PEL	41.6	4.2	108	0.70	112	271	-

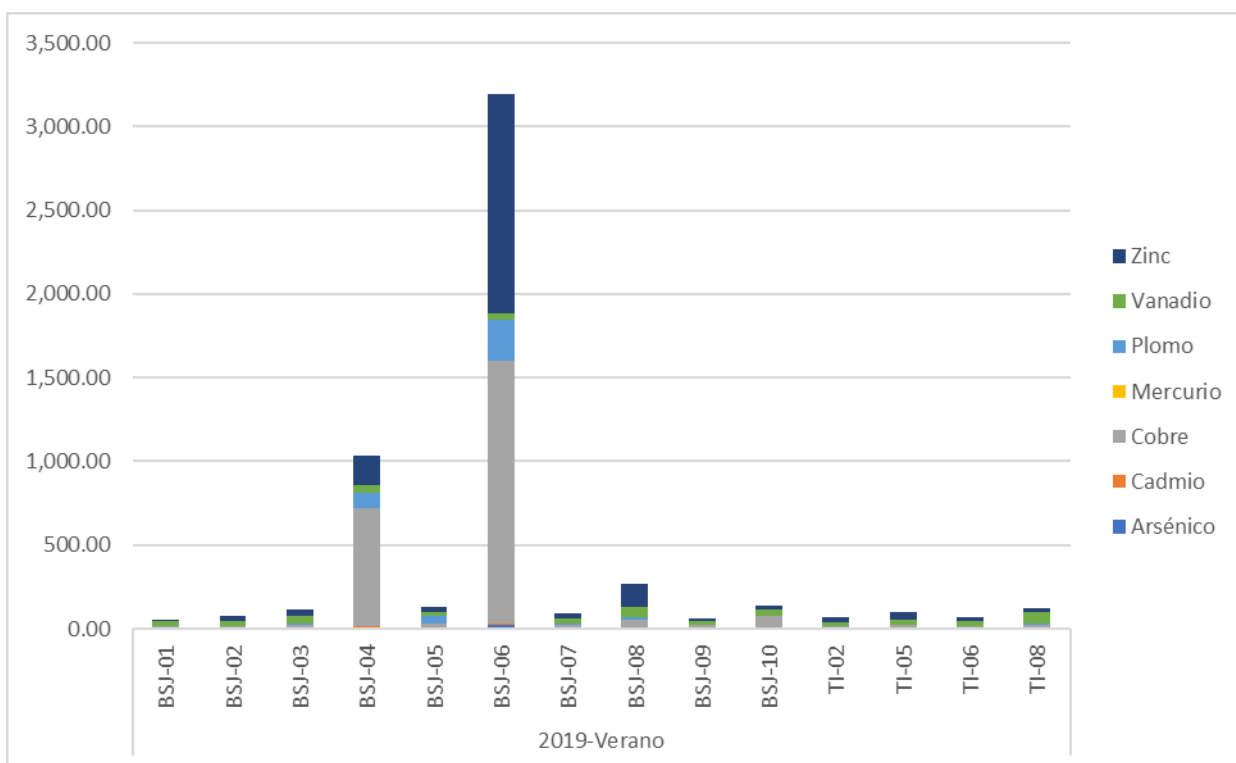


Figura 5.4-58 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña verano de 2019. Bahía San Jorge.

A continuación, en la Tabla 5.4-28, se presentan los valores de hidrocarburos y materia orgánica total en sedimentos, correspondientes a la campaña de monitoreo de verano de 2019.

Tabla 5.4-24 Hidrocarburos y materia orgánica medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña verano de 2019. Bahía San Jorge.

Estrato	Punto de monitoreo	Hidrocarburos totales (mg/kg)	Materia Orgánica Total (%)
Submareal	BSJ-01	9.30	4.13
	BSJ-02	9.10	5.43
	BSJ-03	9.40	5.31
	BSJ-04	9.50	5.76
	BSJ-05	9.90	4.12
	BSJ-06	9.30	6.44
	BSJ-07	9.40	4.09
	BSJ-08	9.50	2.38
	BSJ-09	9.80	4.23
	BSJ-10	9.20	8.85
Intermareal	TI-02	10.00	5.51
	TI-05	9.50	6.05
	TI-06	9.30	3.52
	TI-08	9.80	1.79

(-) valor no registrado.

– Grillas de concentración en sedimentos

Se definieron inicialmente en el plan de trabajo, tres grillas de concentración de contaminantes para el análisis de metales en el sedimento, en los sectores de Rinconada, Coloso y Puerto Antofagasta. Sin embargo, la contraparte técnica del estudio hizo mención en la necesidad de enfocar estas grillas en las zonas de interés definidas en las bases, correspondientes a Coloso, Quebrada Carrizo, Puerto, Petroleras y Balnearios, por lo que la configuración inicial de las grillas en el Plan de Trabajo no satisface tales requisitos.

En vista de lo anterior, y en común acuerdo con la contraparte técnica, se realizó un análisis de la información levantada por el Centro de Ecología Aplicada en la primera campaña de terreno, para luego definir la ubicación idónea de los puntos que conforman las grillas, a fin de cumplir el objetivo inicial en determinar las áreas de concentración de contaminantes dentro de las zonas de interés definidas en las bases y por la contraparte técnica. El objetivo de las grillas de muestreo es analizar la posible presencia de agentes potencialmente contaminantes, no evidenciados en los monitoreos POAL o los PVA de la industria.

Los análisis y hallazgos obtenidos en la primera campaña de terreno CEA, se encuentran en la Minuta técnica: “definición de grillas de concentración de contaminantes” adjunta en anexos Digitales (4_OE3\8_Grillas_de_concentracion). A partir de esto, se definieron cinco grillas de concentración. Una de las grillas dispuesta de forma extensiva en todo el sector identificado como de “acumulación de contaminantes”, desde el puerto hasta Las Petroleras, y las otras cuatro grillas enfocadas en zonas de recreación como son el balneario Municipal, playa Paraíso, playa Trocadero y playa Amarilla (Coloso), siendo estos los balnearios que son frecuentados en épocas estivales en la comuna de Antofagasta. En cada grilla se consideran al menos puntos de muestreo de sedimento los que fueron realizados en la segunda campaña de terreno.

Las coordenadas y sectorización de estos puntos de muestreo se presentan a continuación:

Tabla 5.4-25 Estaciones de muestreo para el análisis de concentración de metales en sedimento, en cinco sectores de interés para el estudio

ID	Descripción	WGS 84 Huso 19K	
		UTM Este (m)	UTM Norte (m)
ANT-01	Carrizo	354,398	7,379,754
ANT-02	Carrizo	354,902	7,380,774
ANT-03	Carrizo	355,405	7,381,793
ANT-04	Puerto	355,909	7,382,812
ANT-05	Puerto	355,905	7,383,922
ANT-06	Puerto	356,249	7,384,889
ANT-07	Puerto	356,860	7,385,801
ANT-08	Las Petroleras	357,117	7,386,909
ANT-09	Las Petroleras	357,271	7,388,032
ANT-10	Las Petroleras	357,355	7,389,166
TRO-01	Playa Trocadero	357,680	7,390,969
TRO-02	Playa Trocadero	357,724	7,391,032
TRO-03	Playa Trocadero	357,712	7,391,107
TRO-04	Playa Trocadero	357,681	7,391,067
TRO-05	Playa Trocadero	357,672	7,391,017
PAR-01	Playa Paraíso	357,303	7,385,011
PAR-02	Playa Paraíso	357,359	7,385,017
PAR-03	Playa Paraíso	357,409	7,385,018
PAR-04	Playa Paraíso	357,421	7,385,071
PAR-05	Playa Paraíso	357,446	7,385,125
MUN-01	Balneario Municipal	356,269	7,381,524
MUN-02	Balneario Municipal	356,334	7,381,522
MUN-03	Balneario Municipal	356,392	7,381,552
MUN-04	Balneario Municipal	356,306	7,381,582
MUN-05	Balneario Municipal	356,348	7,381,590
COL-01	Playa amarilla (Coloso)	351,296	7,371,703
COL-02	Playa amarilla (Coloso)	351,387	7,371,762
COL-03	Playa amarilla (Coloso)	351,470	7,371,832
COL-04	Playa amarilla (Coloso)	351,543	7,371,912
COL-05	Playa amarilla (Coloso)	351,611	7,371,996



Figura 5.4-59. Ubicación geográfica del muestreo de sedimentos sobre las grillas de análisis de concentración de agentes potencialmente contaminantes.

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de metales en cada uno de los cinco sectores definidos:

Tabla 5.4-26 Resultados del análisis de concentración de metales en sedimento, en cinco sectores de interés para el estudio

ID	Concentración de metales en sedimentos (mg/kg)					
	Arsénico	Cadmio	Cobre	Mercurio	Plomo	Zinc
ANT-01	2.15	0.8	55.3	0.52	42.7	118
ANT-02	1.18	0.2	24.2	0.61	17.5	54
ANT-03	1.4	0.2	22.3	0.14	11.7	49
ANT-04	1.17	0.2	27	0.12	13.7	37
ANT-05	1.44	0.7	47.9	0.24	16.2	85
ANT-06	2.68	0.9	85.2	0.04	92.1	90
ANT-07	14.94	0.5	644	5.65	292.5	245
ANT-08	4.85	0.1	657.8	0.11	41.4	113
ANT-09	17.02	1.6	923.3	2.64	113.2	275
ANT-10	4.44	0.1	505.9	0.01	140.9	41
COL-01	2.46	0.1	22.5	0.01	5.6	19
COL-02	1.89	0.1	27.8	0.01	5.1	19
COL-03	3.08	0.1	22.9	0.01	6.6	25
COL-04	2.43	0.1	22.2	0.01	5.1	19
COL-05	2.03	0.1	22.5	0.01	4.7	16
MUN-01	1.73	0.1	13.1	0.01	1.8	26
MUN-02	2.1	0.2	13.7	0.01	2	27
MUN-03	1.91	0.2	13.9	0.01	1.9	26
MUN-04	2.1	0.2	13.1	0.01	1.4	23
MUN-05	1.52	0.1	11.8	0.01	1.4	21
PAR-01	2.35	0.3	19.9	0.01	12.2	50
PAR-02	1.99	0.5	18.6	0.01	17	57
PAR-03	1.71	0.2	13	0.01	8.3	28
PAR-04	1.75	0.2	13.6	0.01	3.3	33
PAR-05	1.44	0.2	15.5	0.01	3.4	36
TRO-01	1.35	0.1	11.2	0.01	0.5	18
TRO-02	1.75	0.2	13.5	0.01	1.1	26
TRO-03	1.49	0.2	11.3	0.01	1.4	19
TRO-04	1.29	0.1	13.8	0.01	1	24
TRO-05	1.51	0.1	11	0.01	0.6	18
CCME, 2002 (Canadá): ISQG	7.24	0.7	18.7	0.13	30.2	124
CCME, 2002 (Canadá): PEL	41.6	4.2	108	0.70	112	271

La concentración de arsénico en los sedimentos de las grillas de muestreo varió de 1.2 mg/kg a 17 mg/kg. Se superó el criterio ISQG en ANT-07 y ANT-09, pero no se superó el criterio PEL.

La concentración de cadmio en los sedimentos de las grillas de muestreo varió de 0.1 mg/kg a 1.6 mg/kg. Se superó o igualó el criterio ISQG en ANT-01, ANT-05, ANT-06 y ANT-09, pero no se superó el criterio PEL.

La concentración de cobre en los sedimentos de las grillas de muestreo varió de 11 mg/kg a 923.3 mg/kg. Se superó el criterio ISQG en PAR-01 y en todos los puntos ANT y COL, además, el criterio PEL fue superado en los puntos ANT-08, ANT-09 y ANT-10.

La concentración de mercurio en los sedimentos de las grillas de muestreo varió de 0.01 mg/kg a 5.7 mg/kg. Se superó el criterio ISQG en ANT-01, ANT-02, ANT-03 y ANT-05 y ambos criterios, ISQG y PEL, en ANT-07 y ANT-09.

La concentración de plomo en los sedimentos de las grillas de muestreo varió de 0.5 mg/kg a 292.5 mg/kg. Se superó el criterio ISQG en ANT-01, ANT-06 y ANT-08 y ambos criterios, ISQG y PEL, en ANT-07, ANT-09 y ANT-10.

La concentración de zinc en los sedimentos de las grillas de muestreo varió de 16 mg/kg a 275 mg/kg. Se superó el criterio ISQG en ANT-7 y ambos criterios, ISQG y PEL, en ANT-09.

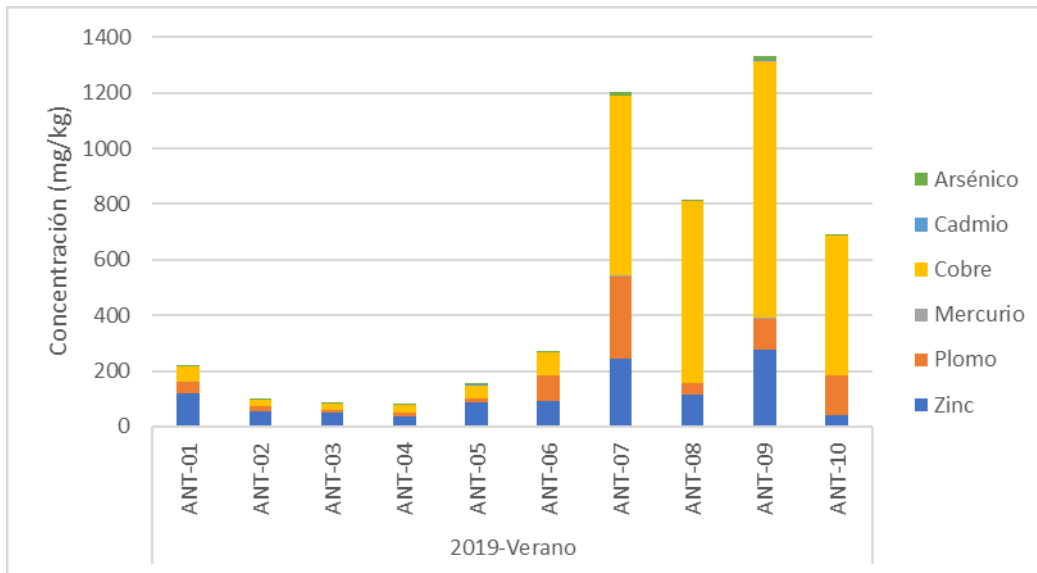


Figura 5.4-60. Concentración de metales medidos en sedimentos. Campaña verano de 2019. Bahía San Jorge, sector Antofagasta.

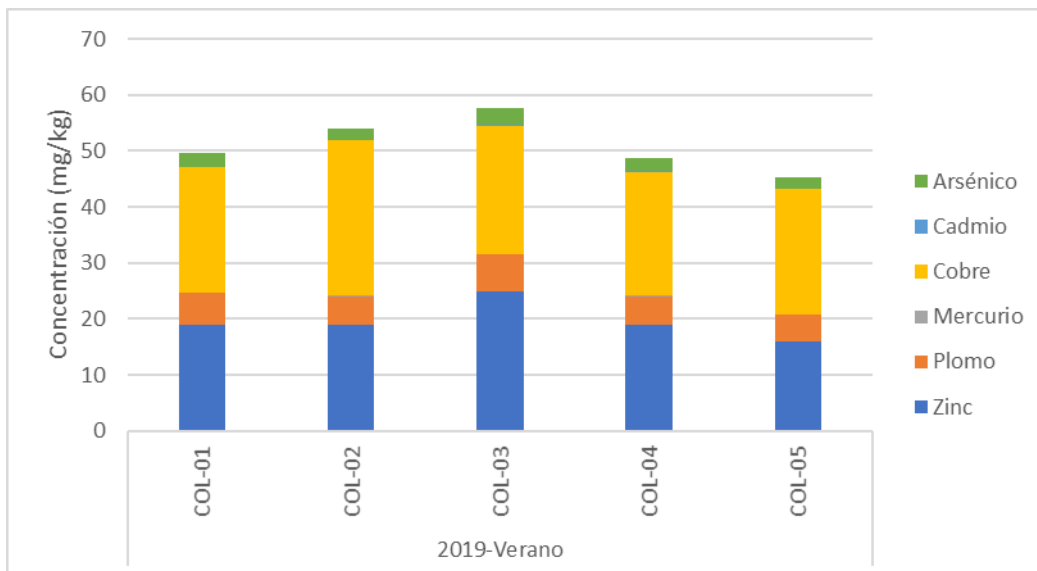


Figura 5.4-61. Concentración de metales medidos en sedimentos. Campaña verano de 2019. Bahía San Jorge, sector playa Amarilla (Coloso).

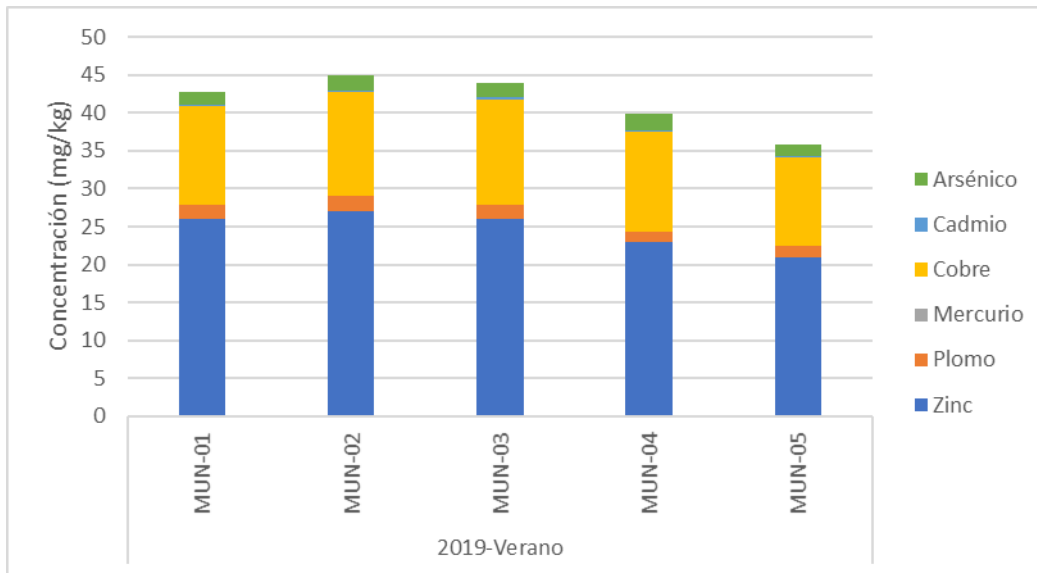


Figura 5.4-62. Concentración de metales medidos en sedimentos. Campaña verano de 2019. Bahía San Jorge, sector balneario municipal.

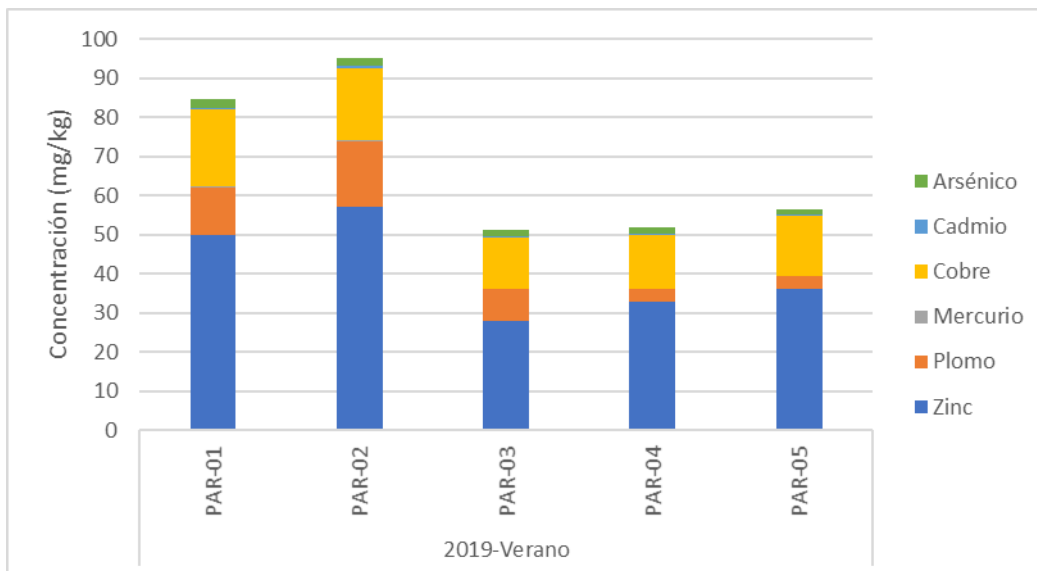


Figura 5.4-63. Concentración de metales medidos en sedimentos. Campaña verano de 2019. Bahía San Jorge, sector playa Paraíso.

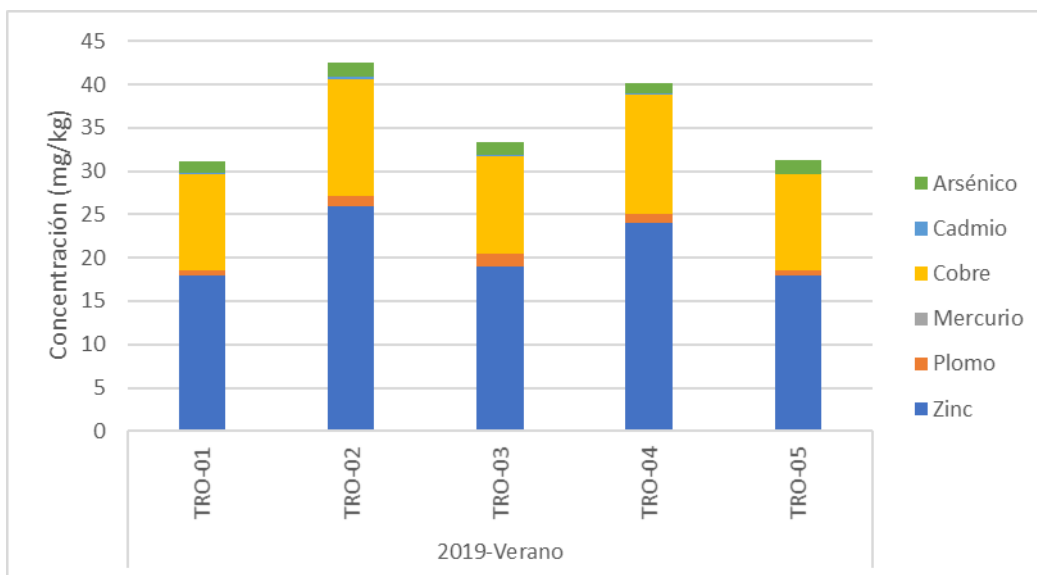


Figura 5.4-64. Concentración de metales medidos en sedimentos. Campaña verano de 2019. Bahía San Jorge, sector playa Trocadero.

b) Parámetros fisicoquímicos en la vertical, verano 2019

Para poder realizar una caracterización de los parámetros fisicoquímicos en la columna vertical del cuerpo de agua, se realizó mediciones mediante la sonda CTD, en los puntos BSI definidos en el plan de trabajo. Con los resultados de estos 10 perfiles verticales, se llevó a cabo un análisis estadístico cuyos resultados se grafican desde la Figura 5.4-65 hasta la Figura 5.4-73. En cada gráfico se generó bandas o “cajas” cuyos límites representan los percentiles 25 y 75 de cada distribución. Además, la marca central (en rojo) indica la mediana, mientras que los signos “+” representan valores atípicos de la muestra. Este análisis se realiza con los resultados de concentración de clorofila, conductividad, densidad, potencial redox, Oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura y turbidez.

· Clorofila

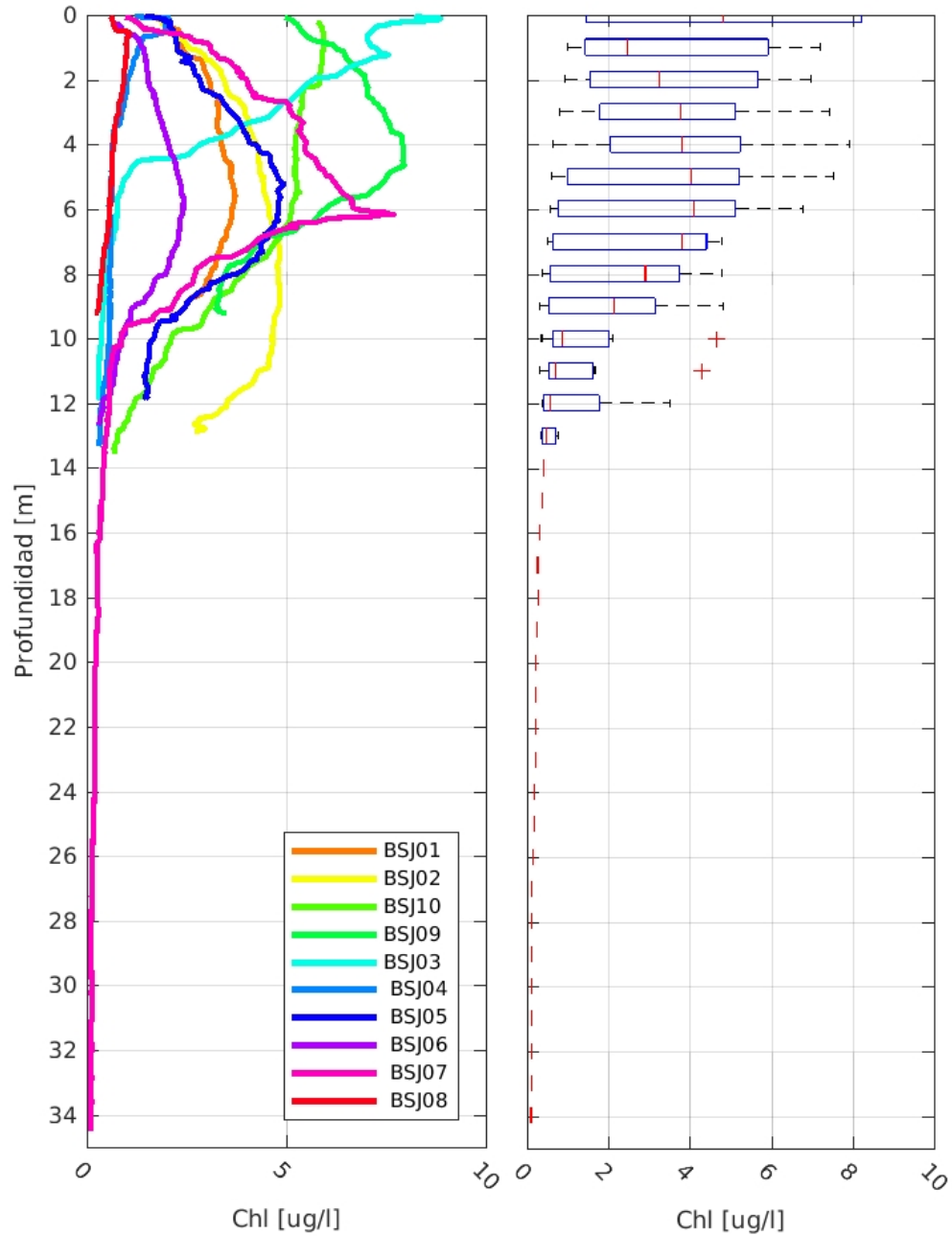


Figura 5.4-65: Perfiles de Clorofila en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Conductividad

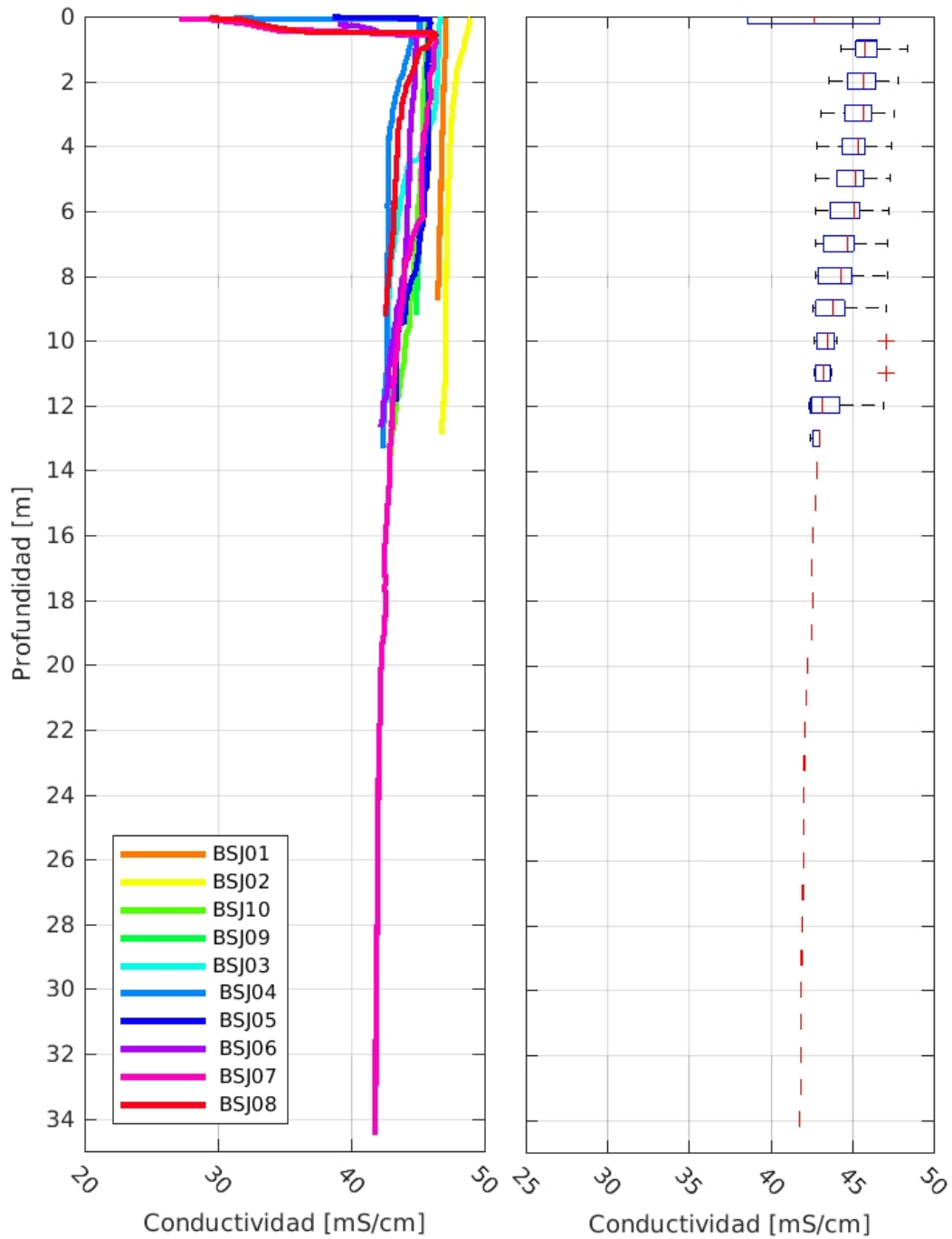


Figura 5.4-66: Perfiles de Conductividad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

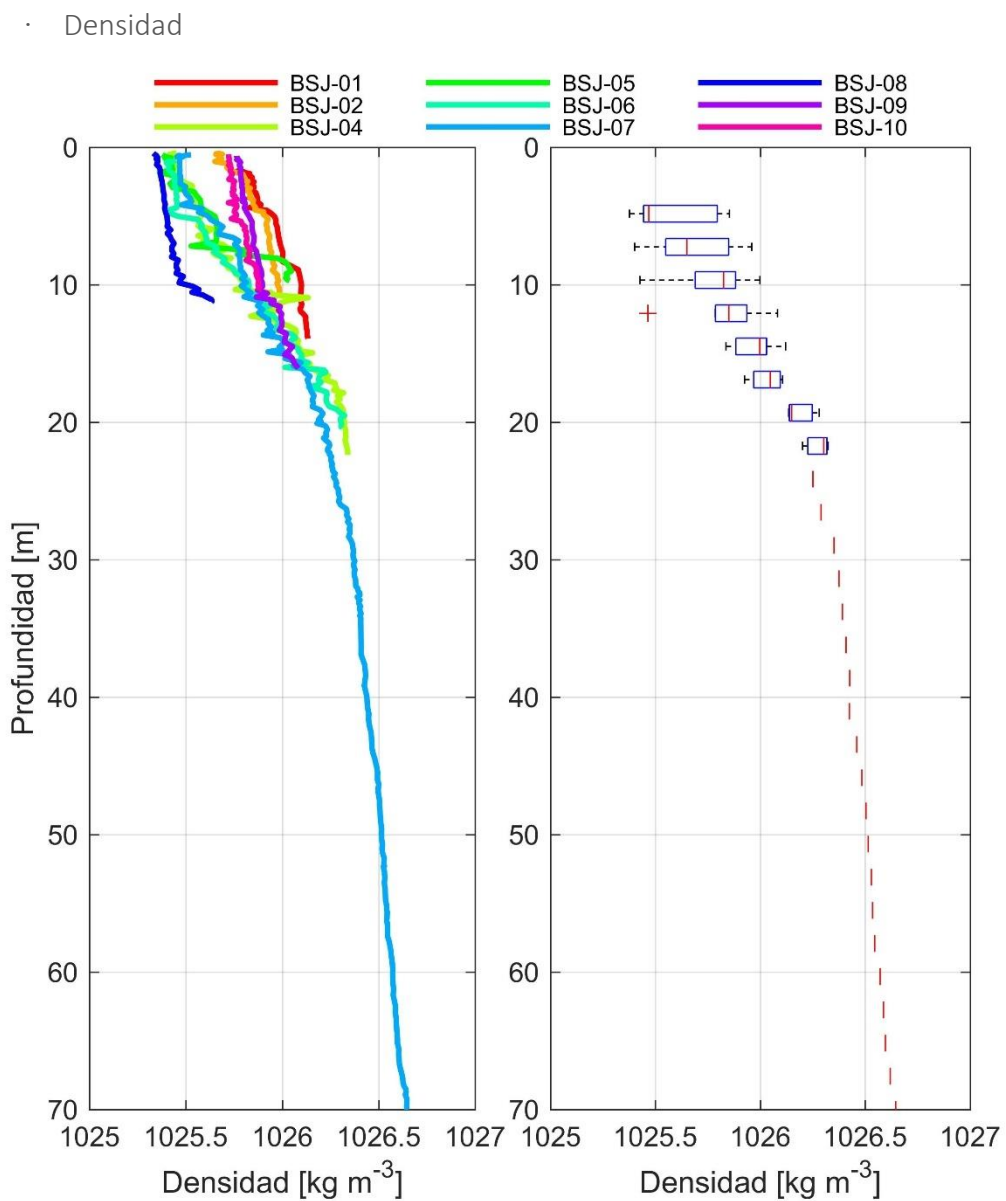


Figura 5.4-67 Perfiles de Densidad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Potencial Redox

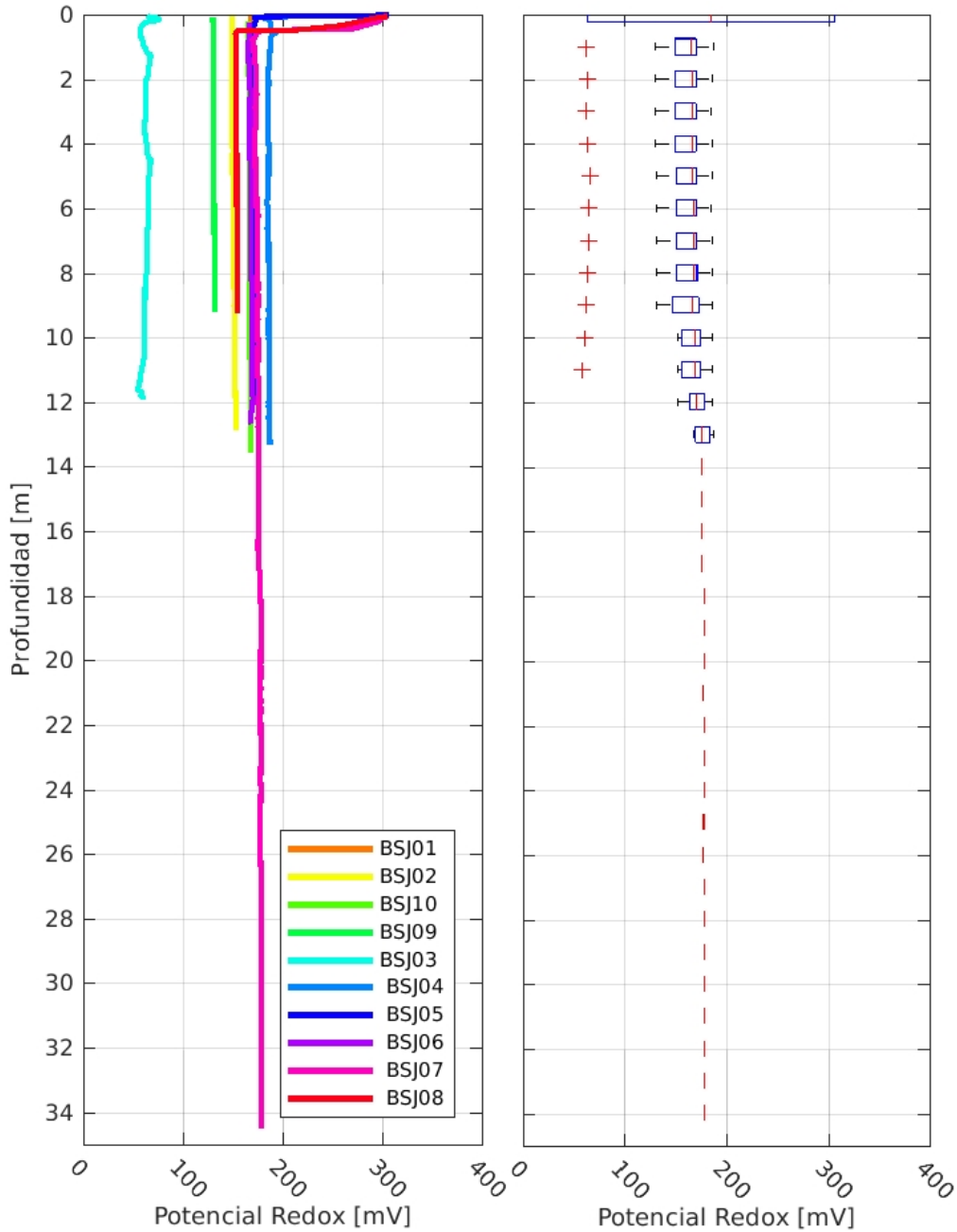


Figura 5.4-68: Perfiles de Potencial Redox en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Oxígeno Disuelto

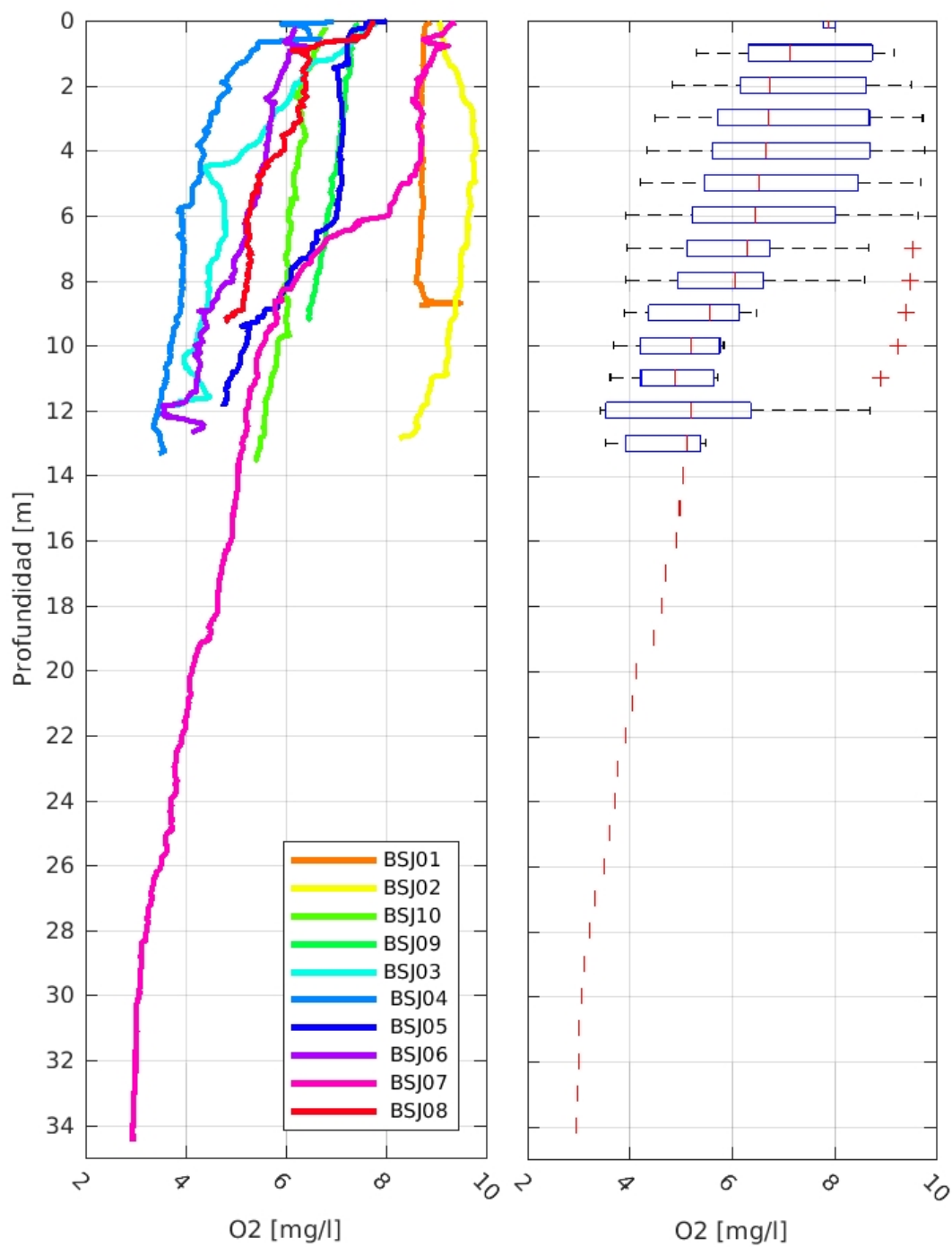


Figura 5.4-69: Perfiles de Oxígeno disuelto en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

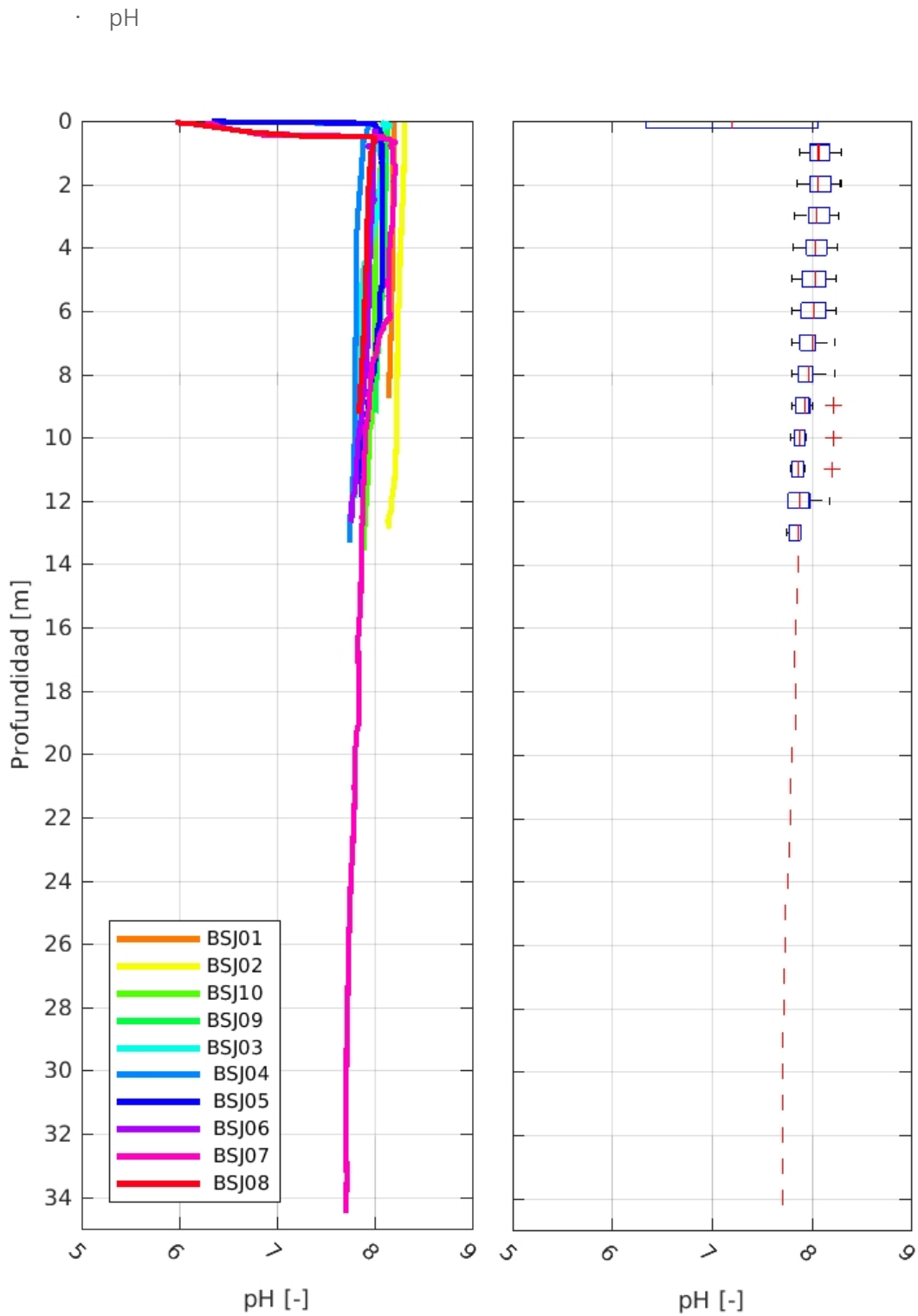


Figura 5.4-70: Perfiles de pH en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

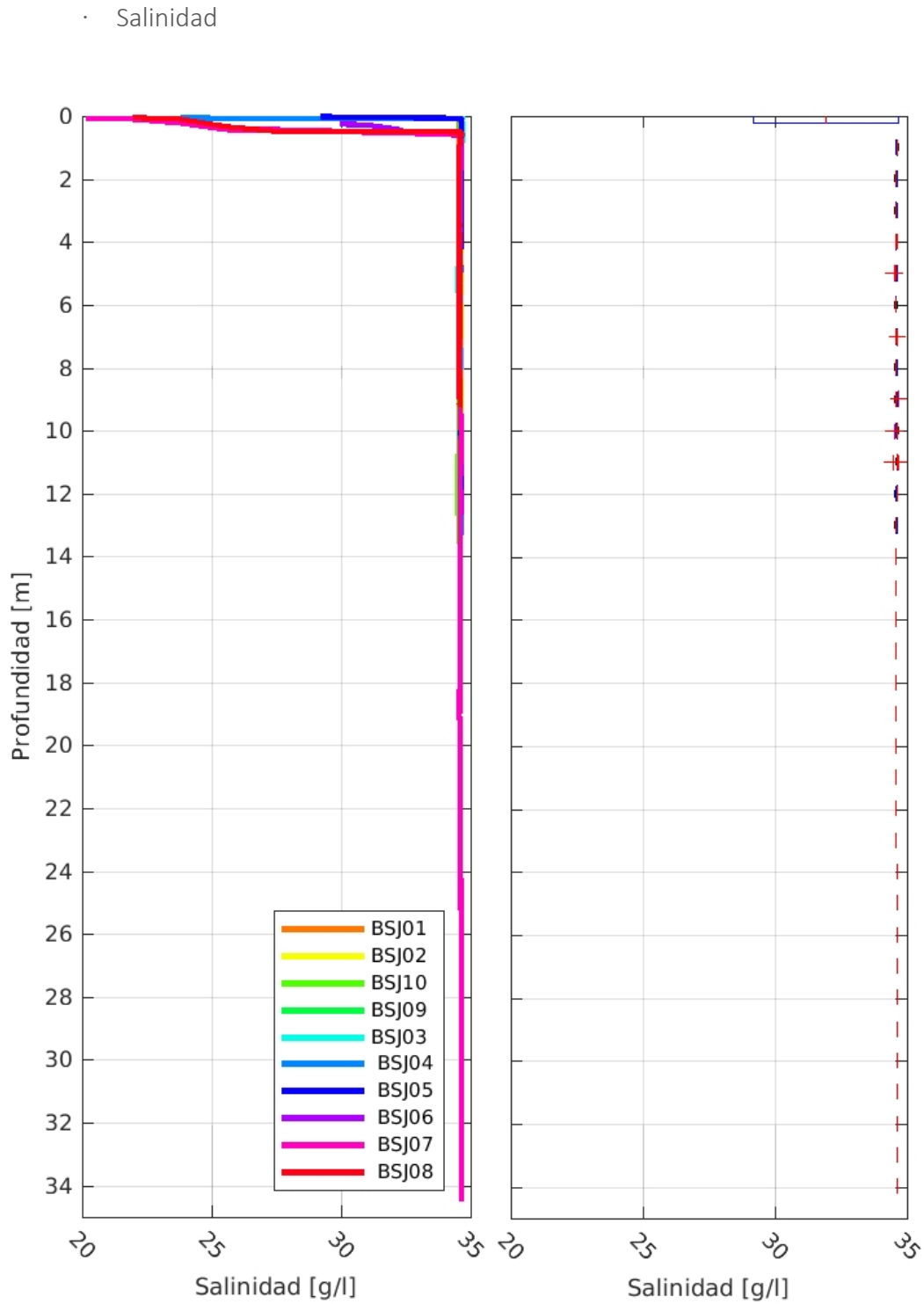


Figura 5.4-71: Perfiles de Salinidad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Temperatura

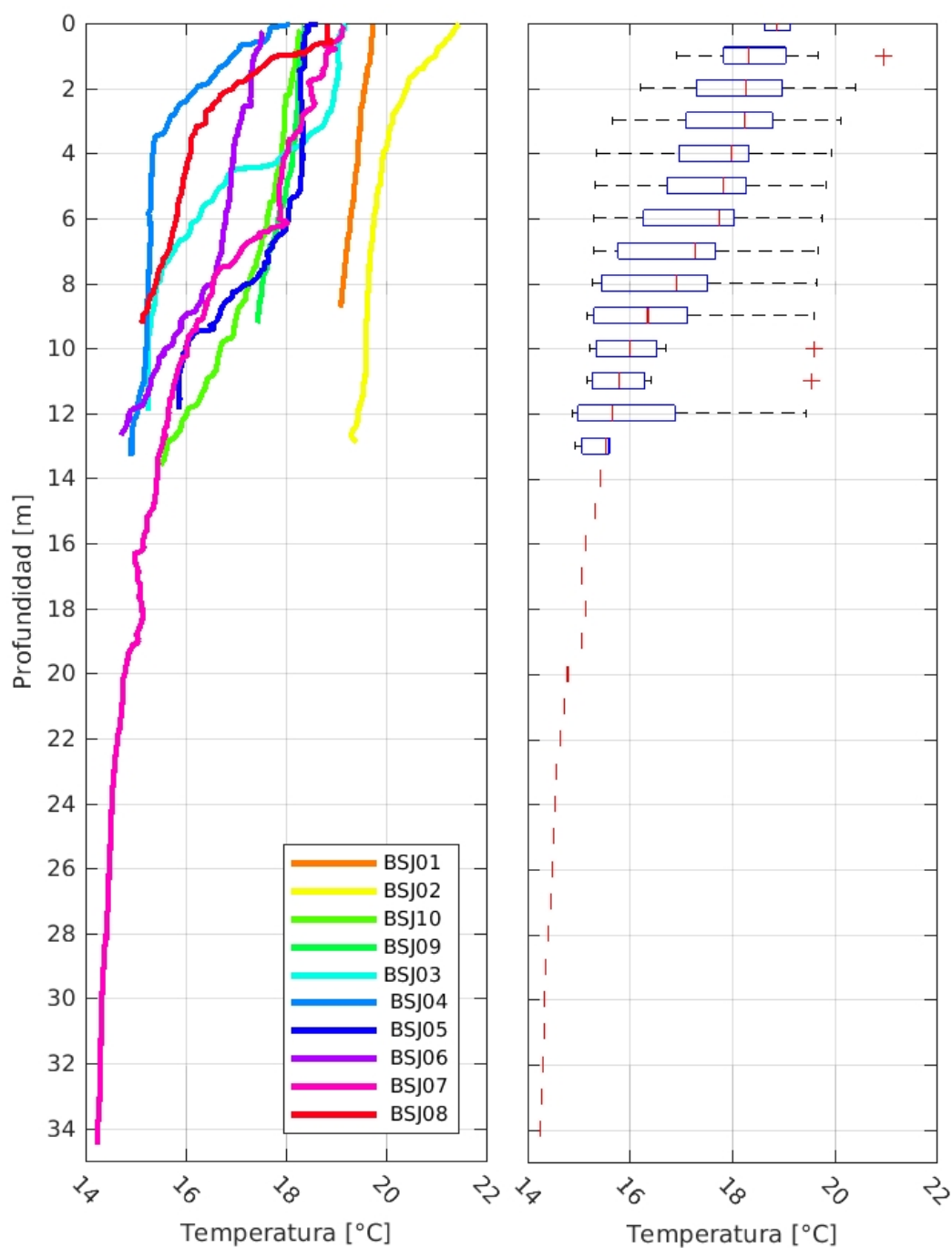


Figura 5.4-72: Perfiles de Temperatura en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

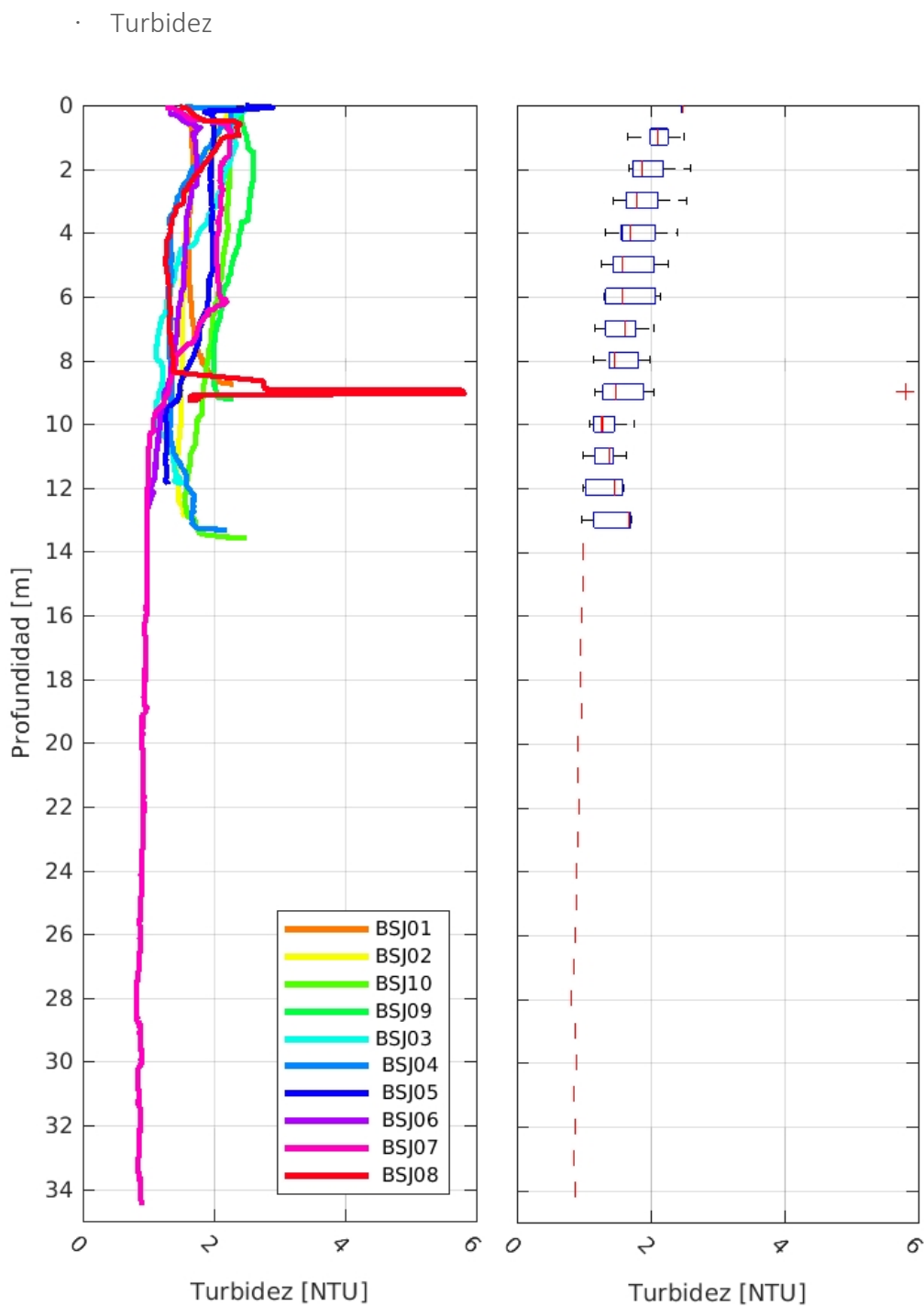


Figura 5.4-73: Perfiles de Turbidez en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

c) *Muestreo de variables oceanográficas verano 2019*

Esta actividad fue realizada de acuerdo con la programación del Plan de trabajo. Al respecto, se realizaron las 2 campañas estacionales de monitoreo de corrientes en bahía San Jorge. Con el objetivo de caracterizar un ciclo anual las corrientes características de la bahía.

· Corrientes Eulerianas

En la Figura 5.4-74 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.

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 5.4-75.

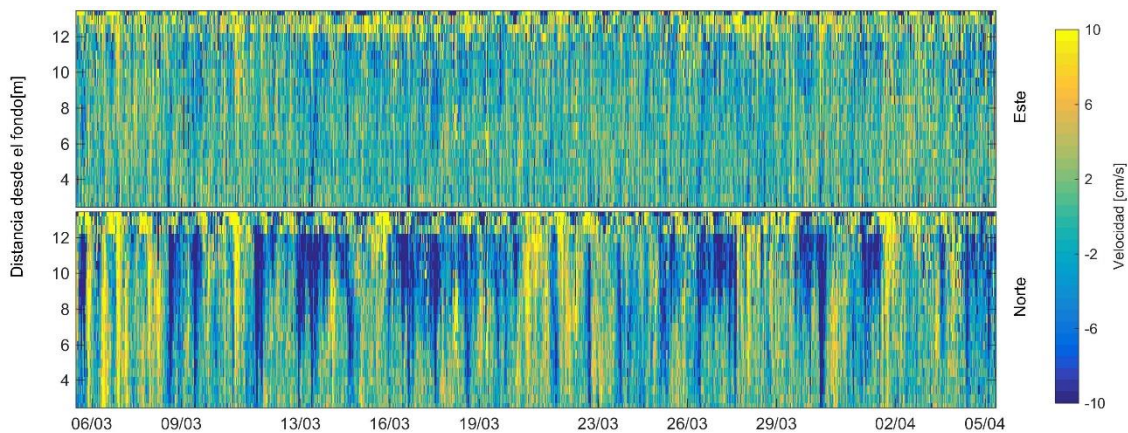


Figura 5.4-74 Registro de velocidades Eulerianas, componente este y norte, verano 2019.

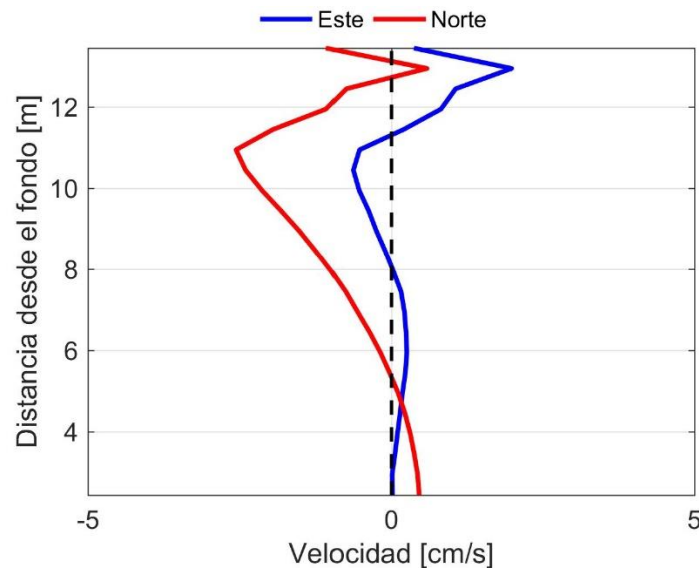


Figura 5.4-75. Estructura vertical de componentes ortogonales, ciclo diario de marea, verano 2019.

Adicionalmente, en la Figura 5.4-76 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 mayores variaciones en las direcciones registradas, con mayor preferencia hacia el SW. Finalmente, para la capa de fondo, las velocidades de mayor magnitud se presentaron hacia la dirección SW.

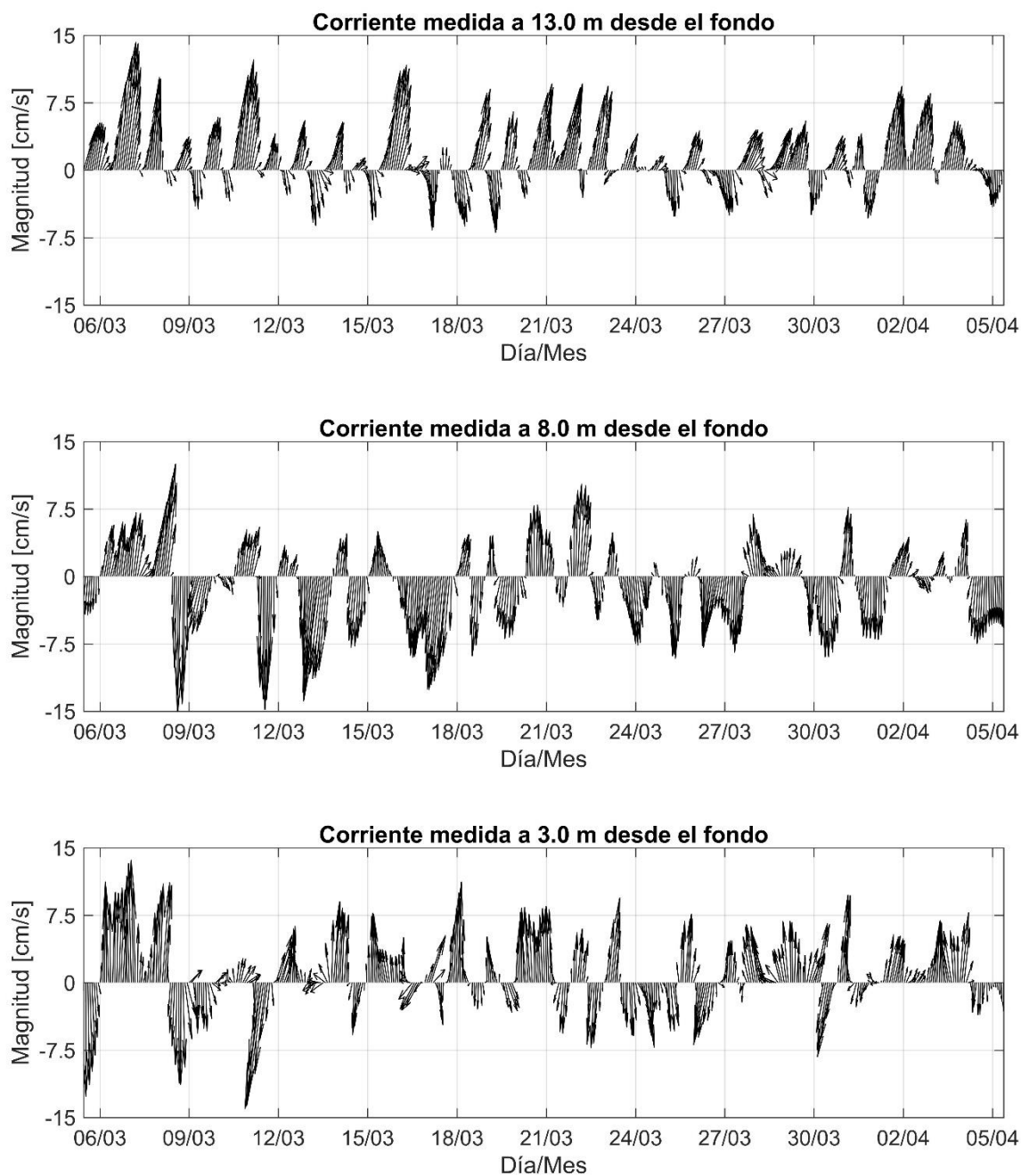


Figura 5.4-76. Registro de velocidad y dirección de corrientes según las capas definidas. Período de verano 2019. Nota: Las series de tiempo han sido suavizadas para facilitar su visualización.

· Capa Superficial

A continuación, se presentan los resultados a nivel superficial de la columna de agua. La Tabla 5.4-27 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 5.4-28 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 5.4-77 se presentan los histogramas de magnitud y dirección.

La capa superficial muestra una predominancia hacia las direcciones NE y N, con un 21,24% y 20,86%, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 10,19 cm/s, mientras que el máximo fue de 54,80 cm/s, y estuvo asociado a la dirección W (Tabla 5.4-27 y Figura 5.4-77).

Tabla 5.4-27. Frecuencia de Incidencia de datos de corriente, capa superficial, campaña verano 2019.

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]	0,11	0,09	0,13	0,09	0,11	0,04	0,11	0,09	0,79
]1,4]	1,55	2,00	1,71	1,84	1,26	1,06	0,79	1,24	11,43
]4,7]	3,30	3,82	2,63	2,45	2,34	1,89	1,28	1,91	19,60
]7,10]	3,95	4,11	3,66	3,41	2,27	1,44	1,24	1,28	21,36
]10,13]	4,22	3,68	2,69	2,02	1,86	1,12	0,61	1,10	17,31
]13,20]	5,39	5,79	2,40	2,61	2,38	1,77	0,56	1,01	21,92
]20,30]	2,11	1,66	0,56	0,47	1,03	0,31	0,31	0,27	6,74
]30,50]	0,22	0,09	0,07	0,04	0,20	0,04	0,11	0,04	0,83
]50,∞[	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
Total	20,86	21,24	13,86	12,94	11,45	7,68	5,03	6,94	100,00
Máximo(cm/s)	34,70	35,30	32,40	36,90	36,10	38,40	54,80	36,50	54,80
Promedio(cm/s)	11,86	11,14	9,60	9,57	11,03	9,92	9,65	8,77	10,19

Tabla 5.4-28. Frecuencia de Excedencia de datos de corriente, capa superficial, campaña verano 2019.

Magnitud(cm/s)	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa superficial								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
>30	0,22	0,09	0,07	0,04	0,18	0,04	0,13	0,04	0,83
>20	2,31	1,71	0,61	0,49	1,21	0,36	0,43	0,31	7,43
>13	7,64	7,43	2,94	3,10	3,53	2,11	0,99	1,32	29,06
>10	11,81	11,07	5,61	5,08	5,39	3,19	1,55	2,38	46,08
>7	15,83	15,18	9,25	8,42	7,70	4,69	2,78	3,68	67,55
>4	19,16	18,95	11,90	10,91	10,04	6,56	4,13	5,59	87,24
>1	20,73	21,15	13,72	12,82	11,34	7,64	4,92	6,85	99,17

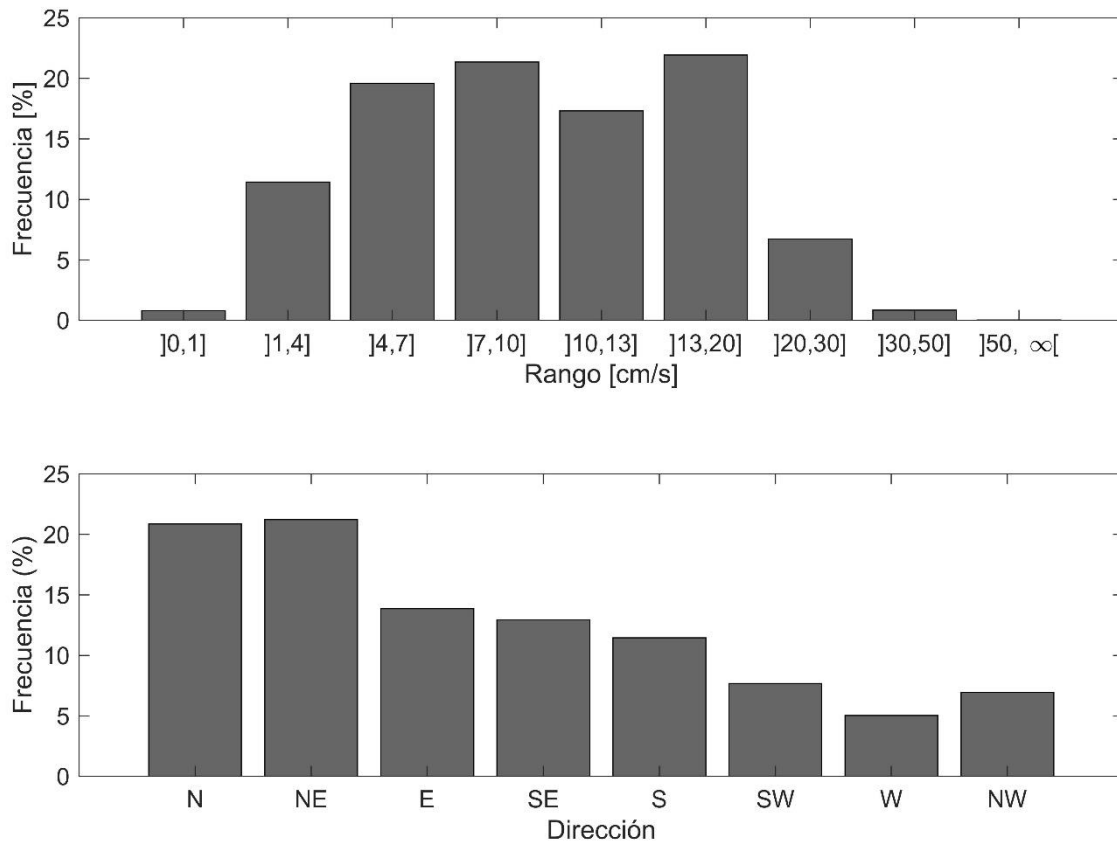


Figura 5.4-77. Histograma de Magnitud y Dirección, capa superficial, campaña verano 2019.

El diagrama de vector progresivo (Figura 5.4-78) indica que el recorrido de una partícula superficial presenta una tendencia a dirigirse al NE, con ciertas fluctuaciones. En la rosa de corriente, también se aprecia la preferencia hacia las direcciones NE y N (Figura 5.4-79).

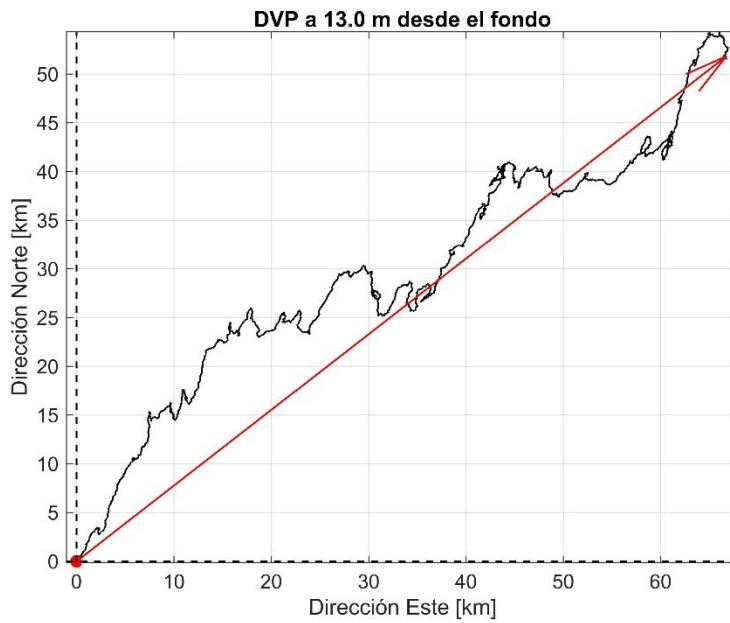


Figura 5.4-78. Diagramas de vector progresivo para capa superficial, campaña verano 2019.

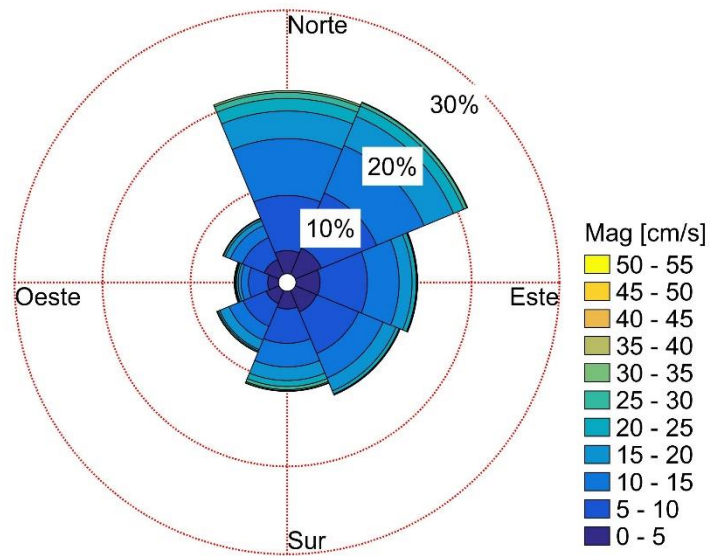


Figura 5.4-79. Rosa de corriente para las capas superficiales, campaña de verano 2019.

· Capa Intermedia

En la presente sección se presentan los resultados de la capa intermedia de la columna de agua. La Tabla 5.4-29 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 5.4-30 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 5.4-80 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 5.4-29 y Figura 5.4-80), presentando una leve predominancia hacia la dirección S, que presentó un 21,06% de las mediciones. Las magnitudes de la capa intermedia presentaron un valor promedio de 5,56 cm/s (inferior a la capa superficial), mientras que el máximo fue de 33,60 cm/s, y estuvo asociado a la dirección N.

Tabla 5.4-29. Frecuencia de Incidencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña verano 2019.

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]	0,27	0,38	0,31	0,40	0,45	0,38	0,38	0,38	2,96
]1,4]	4,11	4,27	3,97	4,22	4,15	4,38	3,68	3,62	32,41
]4,7]	5,12	4,11	3,21	4,31	5,93	4,76	2,96	3,19	33,60
]7,10]	3,05	2,20	1,24	1,68	4,83	2,72	0,92	0,92	17,56
]10,13]	1,48	0,79	0,29	0,58	2,92	1,64	0,13	0,34	8,17
]13,20]	0,70	0,52	0,04	0,16	2,43	0,58	0,11	0,09	4,63
]20,30]	0,11	0,07	0,00	0,00	0,36	0,11	0,00	0,00	0,65
]30,50]	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
]50,∞[	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	14,87	12,33	9,07	11,36	21,06	14,57	8,20	8,53	100,00
Máximo(cm/s)	33,60	23,10	16,10	17,90	26,40	23,60	16,50	17,30	33,60
Promedio(cm/s)	6,39	5,65	4,57	5,08	7,74	6,13	4,35	4,56	5,56

Tabla 5.4-30. Frecuencia de Excedencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña verano 2019.

Magnitud(cm/s)	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa superficial								
	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	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
>20	0,13	0,07	0,00	0,00	0,36	0,11	0,00	0,00	0,67
>13	0,83	0,56	0,04	0,16	2,78	0,67	0,11	0,09	5,25
>10	2,25	1,32	0,27	0,74	5,59	2,25	0,25	0,40	13,07
>7	5,23	3,41	1,48	2,29	10,24	4,96	1,08	1,35	30,05
>4	10,33	7,39	4,65	6,56	16,35	9,57	3,97	4,29	63,10
>1	14,48	11,86	8,67	10,91	20,59	14,17	7,82	8,08	96,59

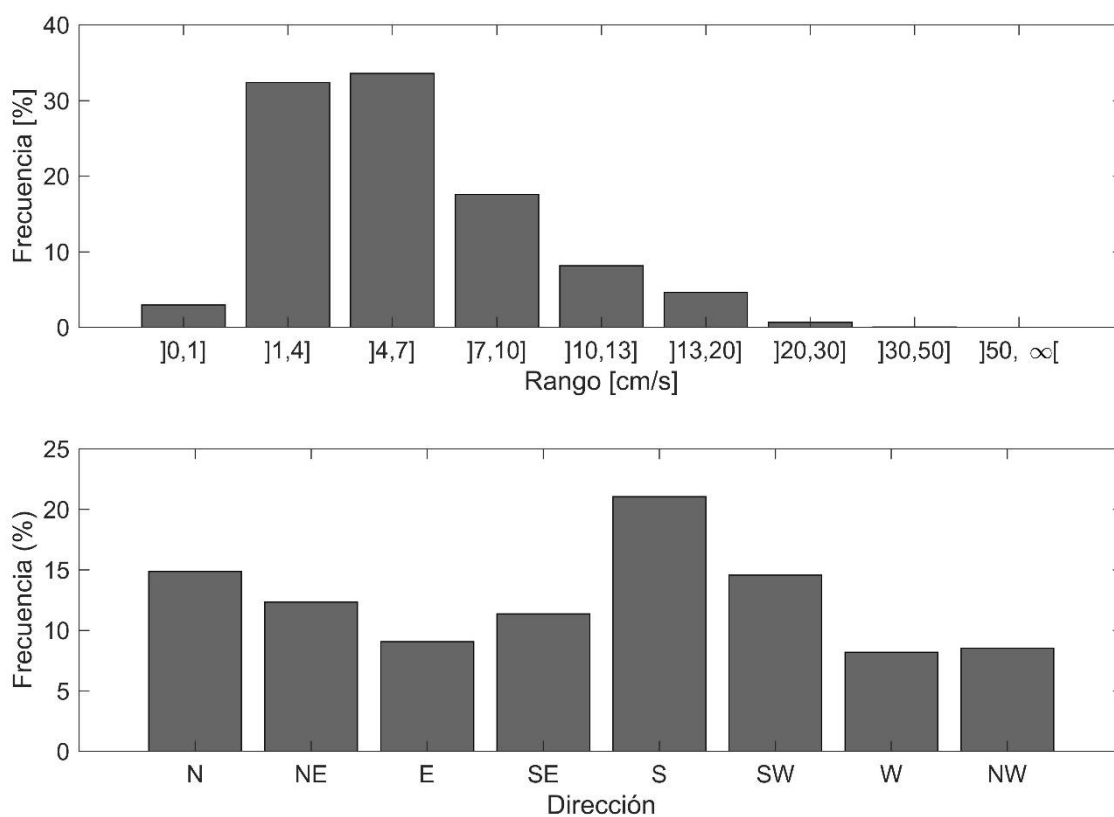


Figura 5.4-80. Histogramas de Magnitud y dirección, capa intermedia, campaña verano 2019.

Del diagrama de vector progresivo (Figura 5.4-81) se observa una predominancia hacia la dirección S, con un leve componente E. En la rosa de corrientes (Figura 5.4-82), se visualiza la preferencia hacia el S, pero distribuidas también hacia todas las direcciones.

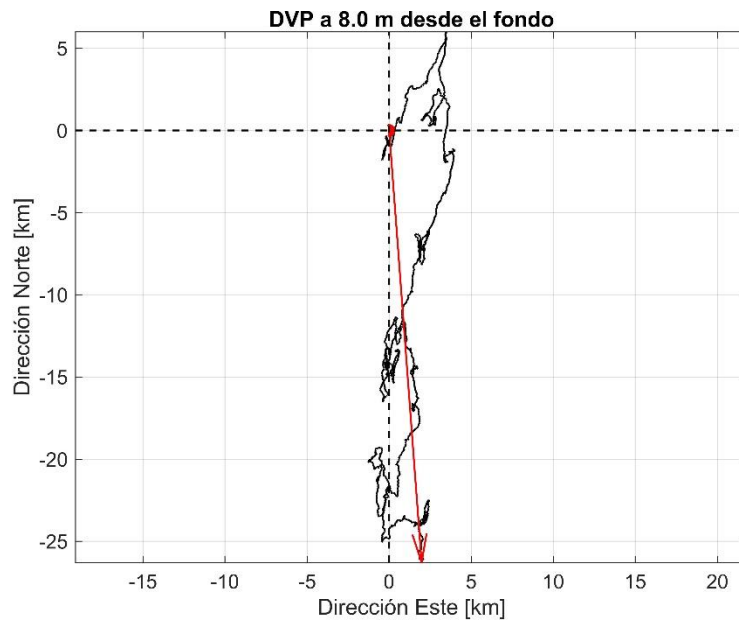


Figura 5.4-81. Diagramas de vector progresivo para las capas intermedias, campaña verano 2019.

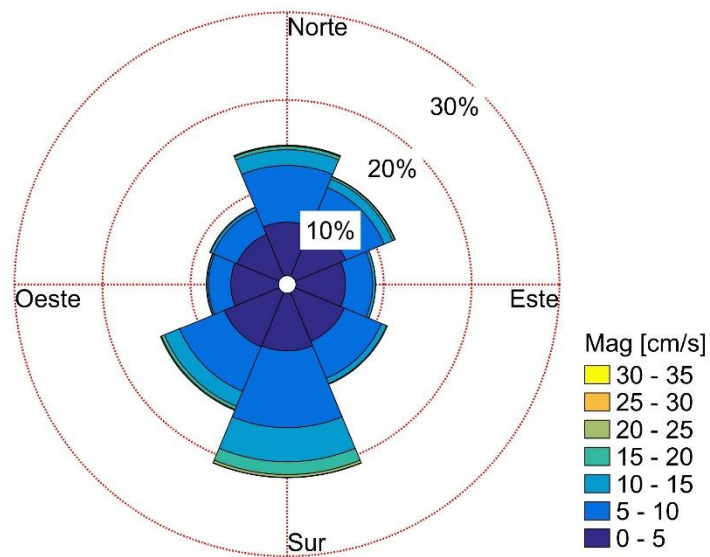


Figura 5.4-82. Rosa de corrientes para la capa intermedia, campaña verano 2019.

· 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 5.4-31 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 5.4-32 presenta las frecuencias de excedencia. En la Figura 5.4-83 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 (ver Tabla 5.4-31 y Figura 5.4-38), presentando en este caso una predominancia hacia la dirección NE, con un 15,79% de las mediciones, seguida de la dirección N con un 14,57% de las mediciones. Las magnitudes de la capa de fondo presentaron un valor promedio de 4,75 cm/s y el valor máximo medido fue de 23,20 cm/s, levemente menor a las magnitudes presentadas en la capa intermedia.

Tabla 5.4-31. Frecuencia de Incidencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña verano 2019.

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]	0,40	0,40	0,49	0,36	0,25	0,54	0,45	0,38	3,28
]1,4]	5,64	6,33	5,61	4,65	4,40	4,45	4,49	5,25	40,83
]4,7]	5,75	6,40	5,39	3,89	3,59	3,86	3,57	5,28	37,73
]7,10]	2,07	2,27	1,59	1,10	1,68	1,46	1,24	1,91	13,32
]10,13]	0,52	0,34	0,13	0,09	0,54	0,70	0,54	0,43	3,28
]13,20]	0,20	0,04	0,07	0,00	0,22	0,56	0,20	0,16	1,46
]20,30]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,04	0,00	0,00	0,11
]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	14,57	15,79	13,29	10,08	10,76	11,61	10,49	13,41	100,00
Máximo(cm/s)	17,60	19,30	16,00	12,00	23,20	21,50	16,90	18,40	23,20
Promedio(cm/s)	4,89	4,63	4,38	4,17	5,13	5,23	4,77	4,81	4,75

Tabla 5.4-32. Frecuencia de Excedencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña verano 2019.

Magnitud(cm/s)	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa superficial								Total
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
>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	0,07	0,04	0,00	0,00	0,11
>13	0,16	0,04	0,07	0,00	0,29	0,61	0,20	0,16	1,53
>10	0,72	0,34	0,20	0,09	0,81	1,30	0,72	0,54	4,72
>7	2,61	2,49	1,75	1,12	2,43	2,72	1,95	2,45	17,52
>4	8,33	8,76	6,98	4,85	5,82	6,47	5,48	7,57	54,26
>1	14,10	15,29	12,73	9,66	10,40	10,98	9,97	12,94	96,07

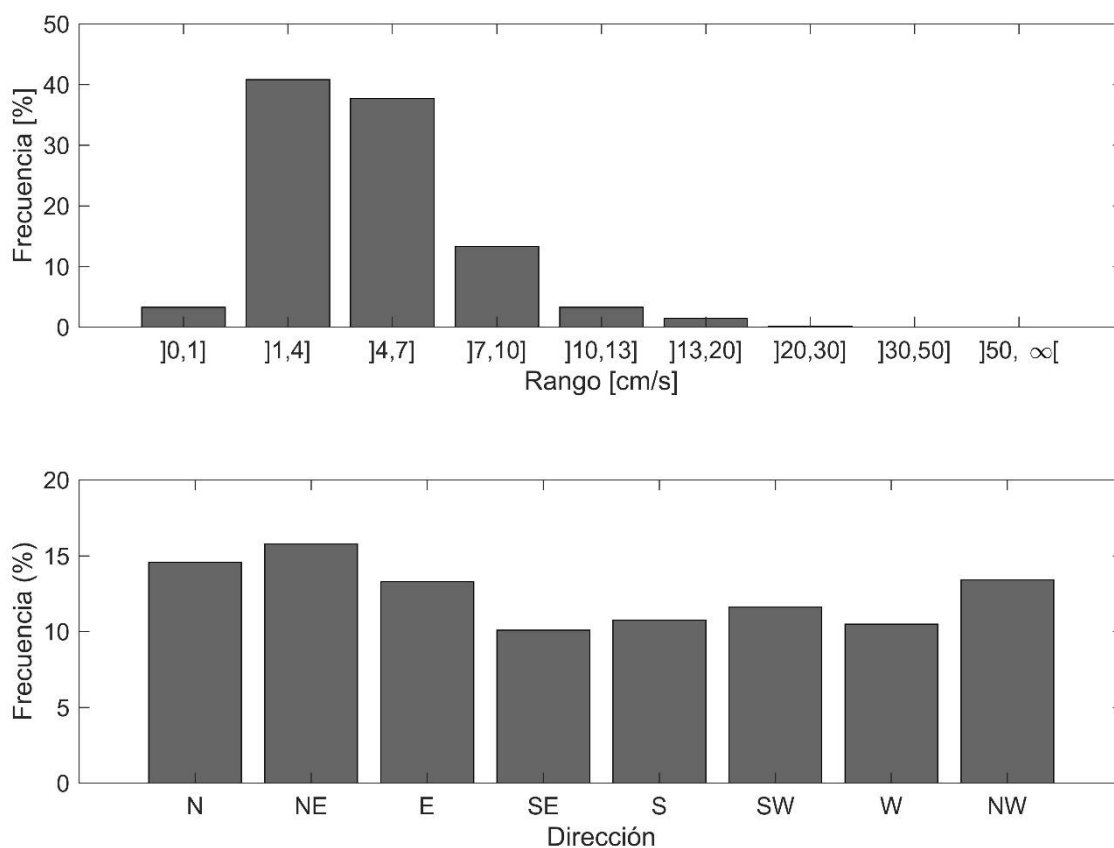


Figura 5.4-83. Histogramas de Magnitud y Dirección, capa de fondo, campaña verano 2019.

En el diagrama de vector progresivo (Figura 5.4-84) se aprecia que el desplazamiento neto fue hacia el N a lo largo del período de medición, pero con gran fluctuación hacia todas las direcciones. Esto es coherente con la preferencia hacia la dirección NE y N que se presenta en la rosa de corrientes (Figura 5.4-85), así como en los histogramas.

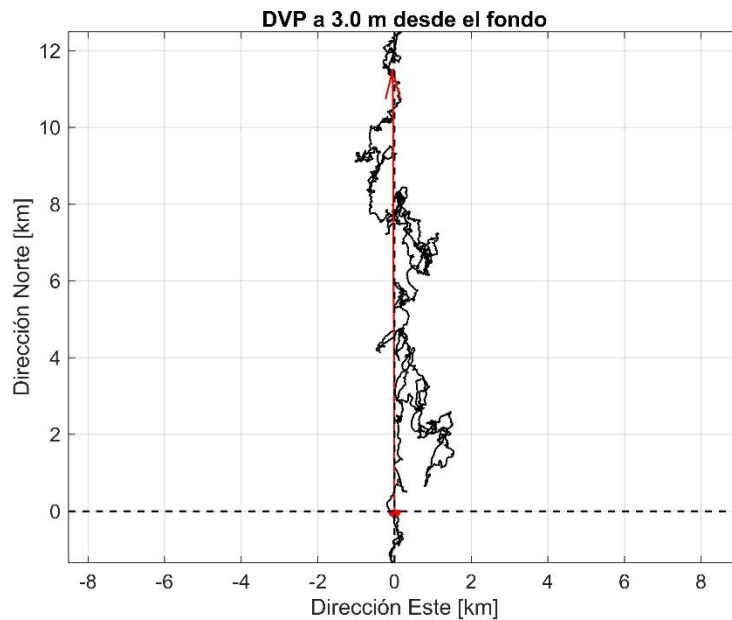


Figura 5.4-84. Diagramas de vector progresivo para la capa de fondo, campaña de verano 2019.

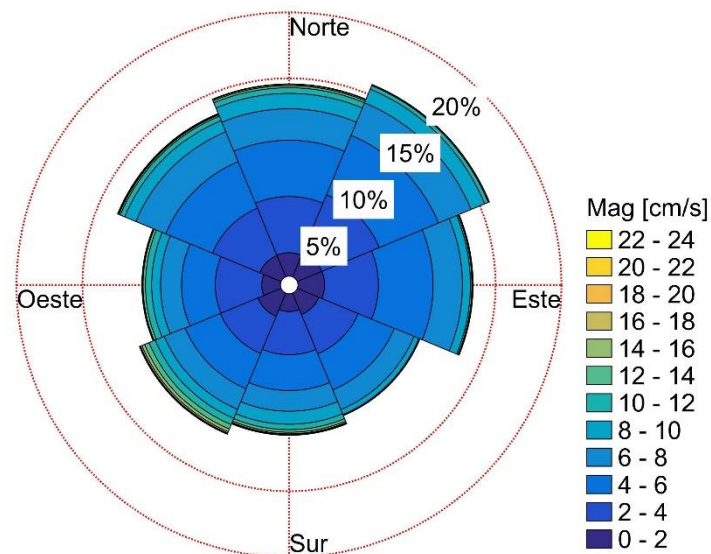


Figura 5.4-85. Rosa de corrientes para la capa de fondo, campaña de verano 2019.

· 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 5.4-86 se puede apreciar que los armónicos principales corresponden a 5 (M2, S2, K1, O1 y N2).

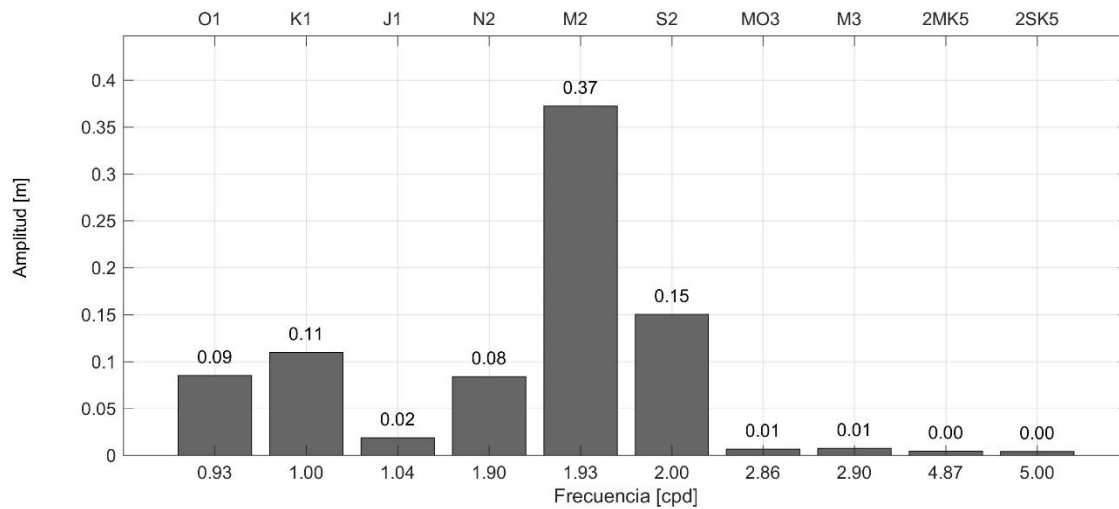


Figura 5.4-86. Frecuencia de armónicos.

En la Figura 5.4-87 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 y S2, ambos semidiurnos. En el componente M2, S2, K1 y O1 se aprecia una mayor amplitud de la elipse en la capa superficial en relación con las más profundas, sin embargo, en el componente N2 las elipses son más uniformes en la vertical.

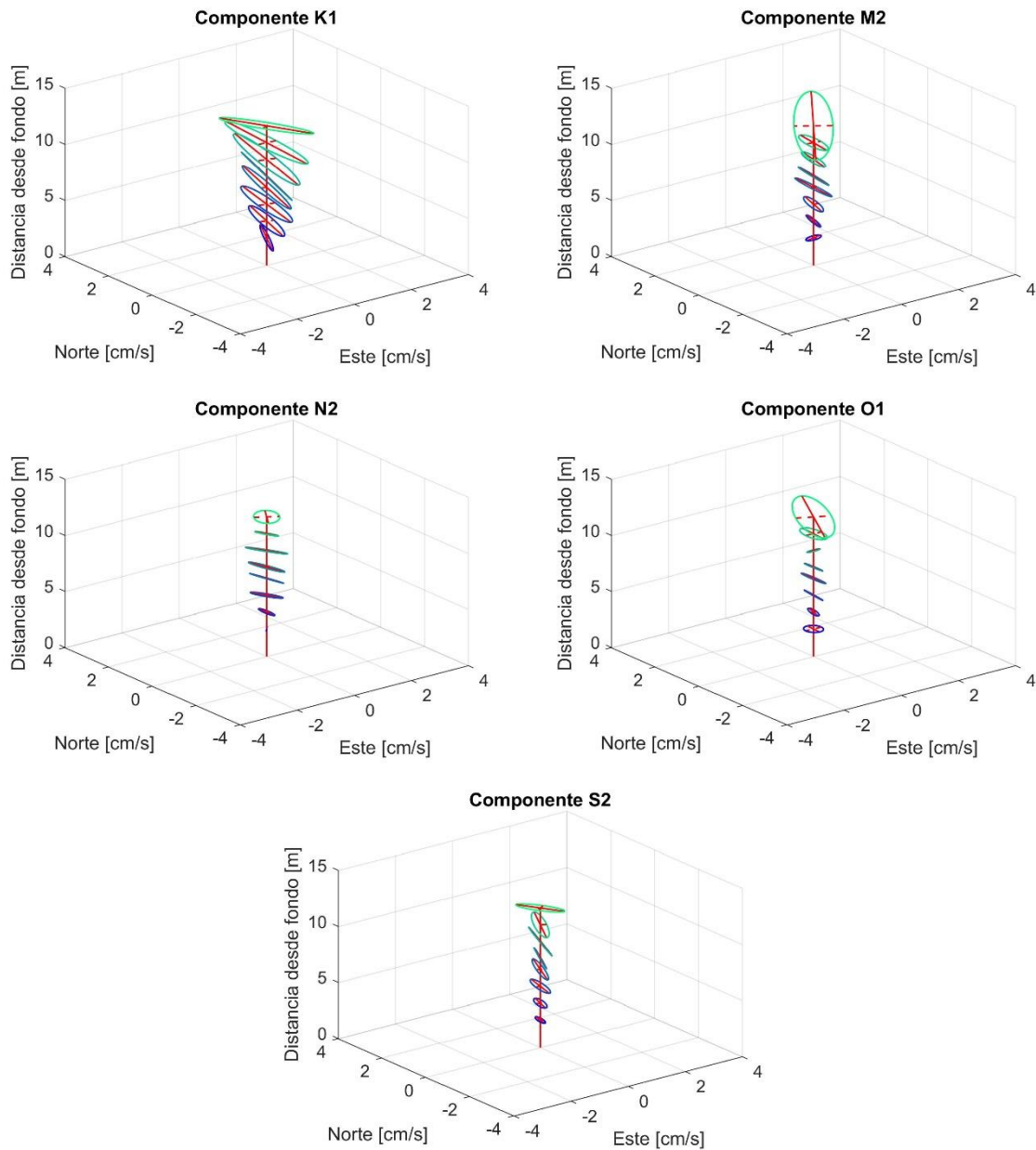


Figura 5.4-87. Elipses de corrientes de los componentes principales de marea en la columna de agua, campaña de verano 2019.

- Corrientes Lagrangianas

La dinámica del campo de velocidades se evaluó a partir de los derivadores utilizados en terreno. La Figura 5.4-88 a Figura 5.4-90 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, tanto para fases llenante y vaciante. Las figuras son respaldadas con la Tabla 5.4-33, donde se presentan las distintas posiciones de los derivadores para distintos instantes de tiempo, y condiciones de mar.

En la Figura 5.4-88, se grafican las trayectorias de los derivadores lanzados en el sector La Rinconada. En ésta se aprecian corrientes con predominancia hacia el Norte en las fases de llenante y vaciante para Cuadratura. En Sicigia se observa una corriente norte en la profundidad de 0 m para la fase de llenante, mientras que en la profundidad de 5 m se tiene una corriente sur. Para la fase de vaciante se obtuvo una corriente NE en el derivador R-DER-1 en ambas profundidades estudiadas, mientras que para el derivador R-DER-2 se observó una corriente predominante E.

En relación con los derivadores lanzados en el sector frente Antofagasta (Figura 5.4-89), se observa que para cuadratura, a lo largo de la bahía se tiene una corriente predominante N con una leve tendencia E, tanto en la condición llenante como vaciante y en ambas profundidades estudiada. En sicigia en cambio, se tiene predominancia hacia el sur con una dirección SW en vaciante y S-SE en llenante.

Por último, los derivadores en el sector puerto Coloso, graficados en la Figura 5.4-90, presentan una tendencia clara hacia el NE en Sicigia llenante y vaciante, y en Cuadratura vaciante, mientras que en Cuadratura llenante se destaca una corriente W-SW, dando cuenta de una corriente N o S que sigue la línea de costa dependiendo de las distintas fases. Por otro lado, los derivadores asociados a la capa superficial (0 m) tuvieron un desplazamiento mayor a los de 5 metros de profundidad.

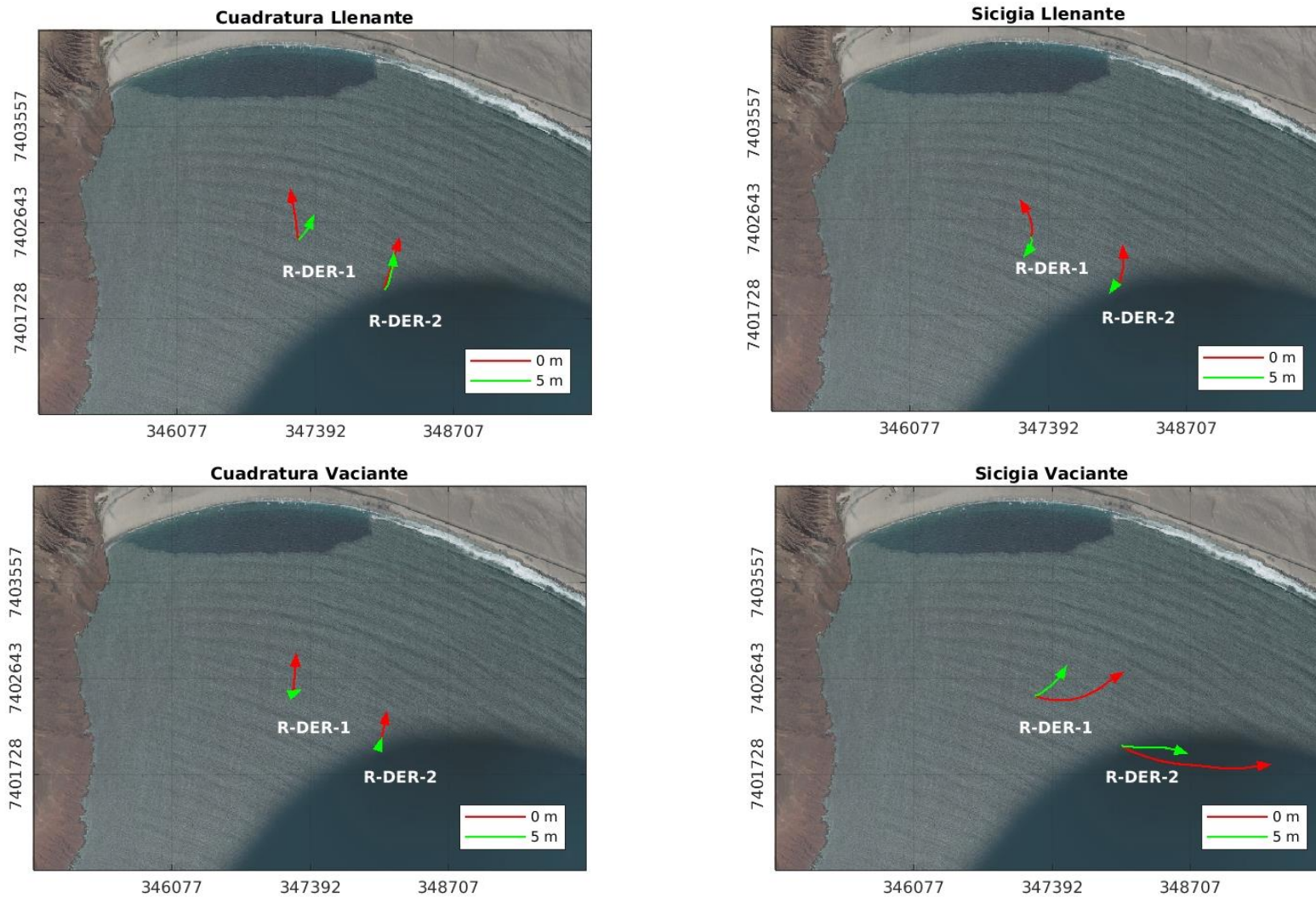


Figura 5.4-88. Trayectoria de derivadores R-DER1 y R-DER2 (sector La Rinconada) en campaña verano 2019.

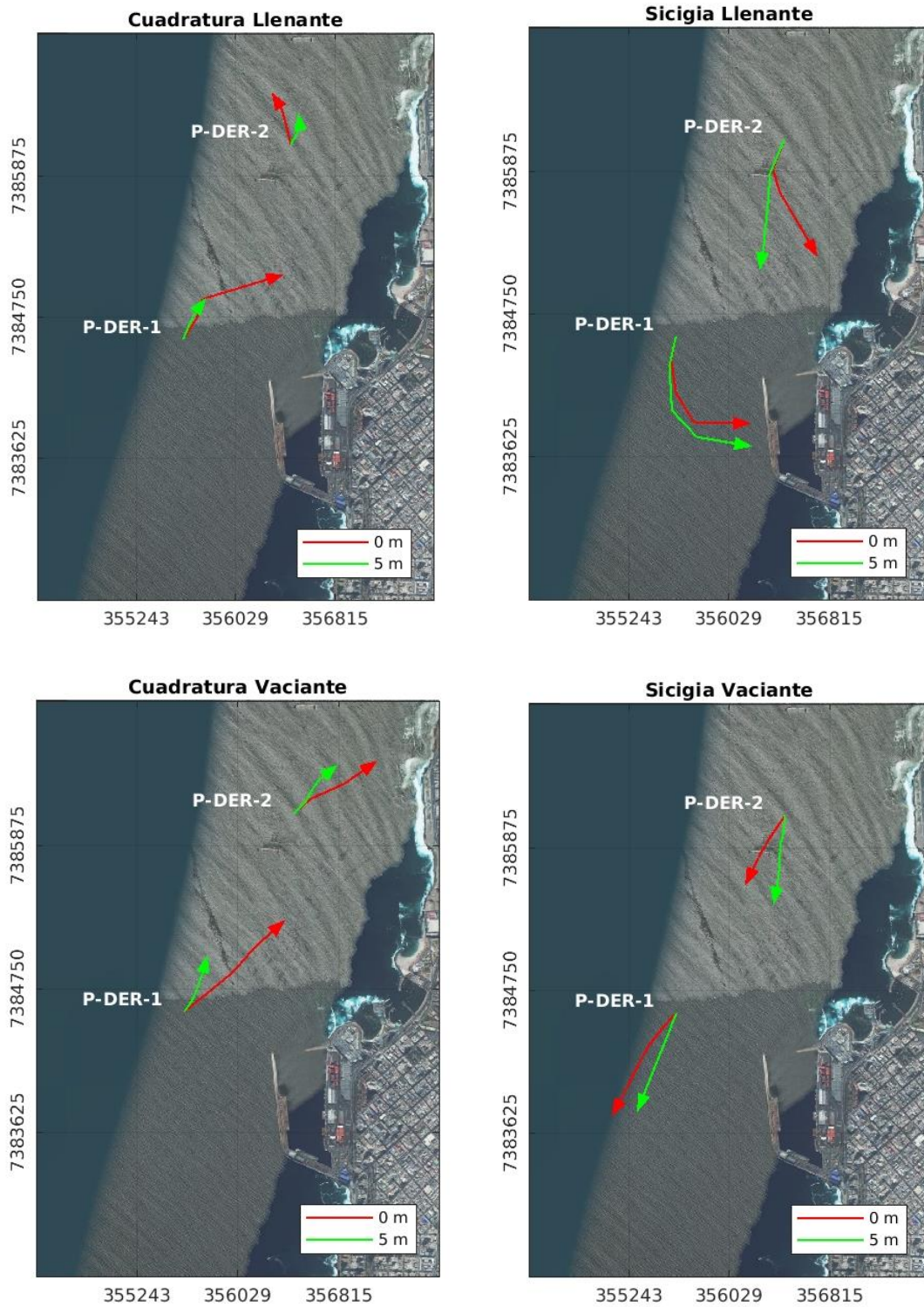


Figura 5.4-89. Trayectoria de derivadores P-DER1 y P-DER2 (sector frente Antofagasta) en campaña verano 2019.

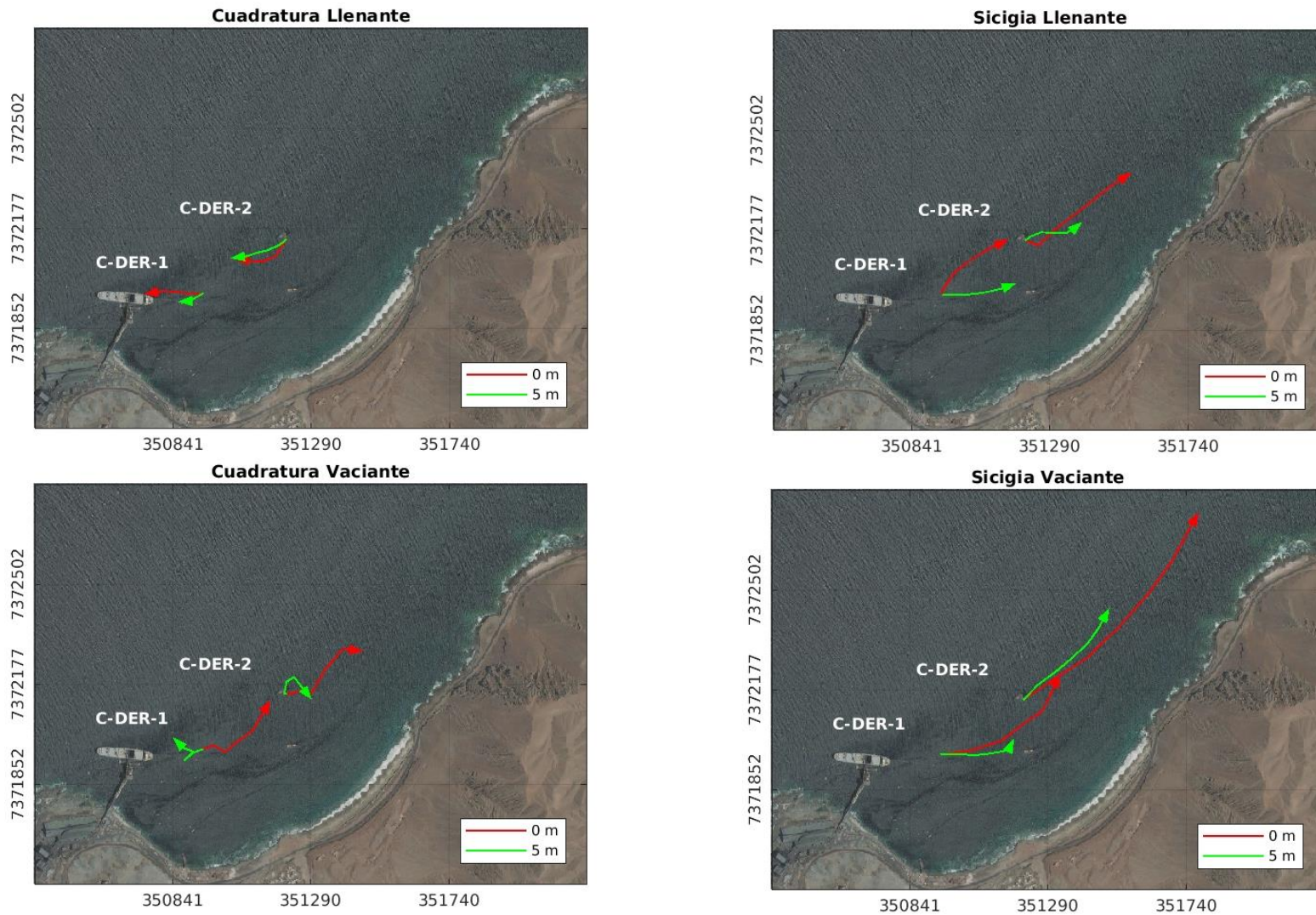


Figura 5.4-90. Trayectoria de derivadores C-DER1 y C-DER2 (sector puerto Coloso) en campaña de verano 2019.

Tabla 5.4-33. Desplazamiento de los derivadores lanzados en Bahía San Jorge, en campaña de verano 2019.

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
P-DER-1	12-03-2019	13:15	0	355615	7384571	Cuadratura Llenante
P-DER-1	12-03-2019	13:33	0	355721	7384734	Cuadratura Llenante
P-DER-1	12-03-2019	13:52	0	355769	7384890	Cuadratura Llenante
P-DER-1	12-03-2019	14:28	0	356393	7385078	Cuadratura Llenante
P-DER-1	12-03-2019	13:15	5	355615	7384571	Cuadratura Llenante
P-DER-1	12-03-2019	13:34	5	355660	7384676	Cuadratura Llenante
P-DER-1	12-03-2019	13:55	5	355707	7384778	Cuadratura Llenante
P-DER-1	12-03-2019	14:15	5	355782	7384880	Cuadratura Llenante
P-DER-1	12-03-2019	14:52	0	355615	7384571	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	15:09	0	355781	7384704	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	15:25	0	355993	7384878	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	15:48	0	356168	7385076	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	16:12	0	356385	7385271	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	14:52	5	355615	7384571	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	15:10	5	355672	7384653	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	15:28	5	355713	7384743	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	15:51	5	355755	7384868	Cuadratura Vaciente
P-DER-1	12-03-2019	16:24	5	355790	7384989	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	13:02	0	356470	7386120	Cuadratura Llenante
P-DER-2	12-03-2019	13:23	0	356433	7386272	Cuadratura Llenante
P-DER-2	12-03-2019	14:06	0	356330	7386511	Cuadratura Llenante
P-DER-2	12-03-2019	13:44	0	356398	7386399	Cuadratura Llenante
P-DER-2	12-03-2019	13:02	5	356470	7386120	Cuadratura Llenante
P-DER-2	12-03-2019	13:22	5	356527	7386218	Cuadratura Llenante
P-DER-2	12-03-2019	14:03	5	356534	7386346	Cuadratura Llenante
P-DER-2	12-03-2019	13:42	5	356543	7386274	Cuadratura Llenante
P-DER-2	12-03-2019	14:42	0	356470	7386120	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	14:59	0	356602	7386233	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	15:16	0	356865	7386351	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	15:38	0	357105	7386519	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	14:42	5	356470	7386120	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	14:58	5	356566	7386216	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	15:15	5	356594	7386276	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	15:36	5	356658	7386372	Cuadratura Vaciente
P-DER-2	12-03-2019	16:02	5	356796	7386486	Cuadratura Vaciente
C-DER-1	13-03-2019	13:29	0	350941	7371966	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	13:40	0	350931	7371965	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	13:55	0	350900	7371965	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	14:06	0	350889	7371964	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	14:17	0	350864	7371969	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	14:28	0	350811	7371973	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	14:43	0	350756	7371964	Cuadratura Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
C-DER-1	13-03-2019	13:29	5	350941	7371966	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	13:41	5	350901	7371944	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	13:54	5	350867	7371933	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	14:07	5	350900	7371940	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	14:18	5	350867	7371938	Cuadratura Llenante
C-DER-1	13-03-2019	15:18	0	350941	7371966	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	15:30	0	350975	7371978	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	15:43	0	351012	7371956	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	15:53	0	351043	7371982	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	16:04	0	351102	7372025	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	16:19	0	351157	7372118	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	15:18	5	350941	7371966	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	15:29	5	350907	7371953	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	15:40	5	350879	7371928	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	15:52	5	350909	7371958	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	16:03	5	350877	7371970	Cuadratura Vaciante
C-DER-1	13-03-2019	16:16	5	350850	7371997	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	13:33	0	351211	7372143	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	13:43	0	351193	7372116	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	13:59	0	351179	7372090	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	14:10	0	351165	7372081	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	14:20	0	351137	7372070	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	14:31	0	351104	7372069	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	14:46	0	351051	7372077	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	13:33	5	351211	7372143	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	13:44	5	351196	7372128	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	13:59	5	351172	7372115	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	14:10	5	351149	7372105	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	14:21	5	351116	7372098	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	14:32	5	351083	7372086	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	14:47	5	351038	7372080	Cuadratura Llenante
C-DER-2	13-03-2019	15:22	0	351211	7372143	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	15:32	0	351252	7372153	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	15:46	0	351293	7372146	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	15:57	0	351340	7372228	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	16:09	0	351396	7372291	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	16:21	0	351454	7372284	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	15:22	5	351211	7372143	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	15:33	5	351208	7372150	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	15:48	5	351205	7372144	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	15:58	5	351213	7372184	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	16:12	5	351237	7372200	Cuadratura Vaciante
C-DER-2	13-03-2019	16:27	5	351289	7372133	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-03-2019	12:31	0	347234	7402473	Cuadratura Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
R-DER-1	12-03-2019	12:46	0	347227	7402521	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	12:56	0	347222	7402559	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	13:14	0	347214	7402649	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	13:29	0	347199	7402735	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	13:45	0	347182	7402821	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	14:03	0	347160	7402941	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	12:31	5	347234	7402473	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	12:46	5	347268	7402509	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	12:56	5	347293	7402534	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	13:13	5	347323	7402575	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	13:28	5	347344	7402612	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	13:43	5	347360	7402655	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	14:00	5	347376	7402692	Cuadratura Llenante
R-DER-1	12-03-2019	14:38	0	347234	7402473	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-03-2019	14:53	0	347240	7402561	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-03-2019	15:10	0	347253	7402686	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-03-2019	15:30	0	347264	7402861	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-03-2019	14:38	5	347234	7402473	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-03-2019	14:53	5	347251	7402489	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-03-2019	15:08	5	347267	7402511	Cuadratura Vaciante
R-DER-1	12-03-2019	15:26	5	347295	7402522	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-03-2019	12:37	0	348057	7401998	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	12:51	0	348066	7402053	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	13:06	0	348088	7402122	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	13:22	0	348115	7402194	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	13:38	0	348136	7402271	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	13:53	0	348164	7402360	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	14:13	0	348196	7402481	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	12:37	5	348057	7401998	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	12:51	5	348089	7402044	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	13:06	5	348107	7402112	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	13:21	5	348120	7402173	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	13:37	5	348136	7402224	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	13:52	5	348139	7402275	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	14:11	5	348144	7402333	Cuadratura Llenante
R-DER-2	12-03-2019	14:32	0	348057	7401998	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-03-2019	14:47	0	348082	7402088	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-03-2019	15:01	0	348102	7402182	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-03-2019	15:19	0	348125	7402310	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-03-2019	14:32	5	348057	7401998	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-03-2019	14:46	5	348065	7402025	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-03-2019	15:00	5	348070	7402041	Cuadratura Vaciante
R-DER-2	12-03-2019	15:16	5	348075	7402056	Cuadratura Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	16:25	0	355615	7384571	Sicigia Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
P-DER-1	05-03-2019	16:51	0	355578	7384391	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	17:20	0	355613	7384126	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	17:56	0	355760	7383890	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	18:28	0	356184	7383886	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	16:25	5	355615	7384571	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	16:52	5	355563	7384337	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	17:21	5	355583	7383988	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	17:57	5	355779	7383778	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	18:32	5	356192	7383709	Sicigia Llenante
P-DER-1	05-03-2019	13:45	0	355615	7384571	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	14:15	0	355509	7384455	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	14:36	0	355393	7384310	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	15:05	0	355290	7384109	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	15:46	0	355119	7383779	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	13:45	5	355615	7384571	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	14:15	5	355559	7384426	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	14:35	5	355494	7384265	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	15:08	5	355408	7384053	Sicigia Vaciante
P-DER-1	05-03-2019	15:40	5	355317	7383817	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	16:10	0	356470	7386120	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	16:38	0	356377	7385888	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	17:07	0	356434	7385703	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	17:34	0	356564	7385484	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	18:16	0	356719	7385215	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	16:10	5	356470	7386120	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	16:36	5	356355	7385852	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	17:06	5	356341	7385635	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	17:43	5	356308	7385296	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	18:10	5	356279	7385114	Sicigia Llenante
P-DER-2	05-03-2019	13:32	0	356470	7386120	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	14:02	0	356413	7386039	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	14:23	0	356337	7385926	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	14:45	0	356260	7385792	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	15:25	0	356167	7385597	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	13:32	5	356470	7386120	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	14:04	5	356452	7385952	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	14:21	5	356435	7385906	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	14:44	5	356419	7385641	Sicigia Vaciante
P-DER-2	05-03-2019	15:20	5	356384	7385444	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	16:57	0	350941	7371966	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:07	0	350944	7371986	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:19	0	350966	7372017	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:30	0	350984	7372041	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:43	0	351024	7372073	Sicigia Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
C-DER-1	06-03-2019	17:54	0	351083	7372111	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	18:04	0	351149	7372143	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	16:57	5	350941	7371966	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:07	5	350966	7371966	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:18	5	351004	7371967	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:30	5	351047	7371969	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:41	5	351088	7371976	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	17:52	5	351134	7371987	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	18:02	5	351173	7372001	Sicigia Llenante
C-DER-1	06-03-2019	15:15	0	350941	7371966	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	15:26	0	351040	7371978	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	15:38	0	351141	7372011	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	15:50	0	351214	7372068	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	16:01	0	351271	7372106	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	16:11	0	351297	7372154	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	16:23	0	351327	7372222	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	15:15	5	350941	7371966	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	15:25	5	351004	7371968	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	15:36	5	351049	7371964	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	15:49	5	351100	7371969	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	16:00	5	351148	7371977	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	16:10	5	351170	7371995	Sicigia Vaciante
C-DER-1	06-03-2019	16:20	5	351177	7372008	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	16:59	0	351211	7372143	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:10	0	351255	7372128	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:22	0	351313	7372182	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:33	0	351384	7372236	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:46	0	351438	7372280	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:57	0	351492	7372322	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	18:08	0	351551	7372359	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	16:59	5	351211	7372143	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:09	5	351230	7372157	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:21	5	351264	7372171	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:33	5	351300	7372167	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:45	5	351348	7372169	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	17:56	5	351379	7372188	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	18:06	5	351390	7372197	Sicigia Llenante
C-DER-2	06-03-2019	15:18	0	351211	7372143	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	15:29	0	351309	7372210	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	15:41	0	351418	7372279	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	15:53	0	351523	7372381	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	16:04	0	351616	7372487	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	16:15	0	351693	7372591	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	16:28	0	351778	7372746	Sicigia Vaciante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
C-DER-2	06-03-2019	15:18	5	351211	7372143	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	15:28	5	351260	7372193	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	15:40	5	351319	7372237	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	15:52	5	351371	7372281	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	16:03	5	351422	7372329	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	16:13	5	351455	7372375	Sicigia Vaciante
C-DER-2	06-03-2019	16:25	5	351487	7372434	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	16:17	0	347234	7402473	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	16:31	0	347246	7402517	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	16:43	0	347243	7402569	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	16:56	0	347233	7402628	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	17:11	0	347205	7402696	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	17:32	0	347139	7402808	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	16:17	5	347234	7402473	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	16:31	5	347242	7402433	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	16:42	5	347235	7402401	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	16:55	5	347223	7402364	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	17:10	5	347204	7402331	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	17:29	5	347174	7402291	Sicigia Llenante
R-DER-1	05-03-2019	12:15	0	347234	7402473	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	12:28	0	347317	7402448	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	12:41	0	347399	7402434	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	12:55	0	347488	7402431	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	13:10	0	347590	7402439	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	13:28	0	347701	7402468	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	13:51	0	347841	7402536	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	14:10	0	347945	7402615	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	14:30	0	348065	7402692	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	12:15	5	347234	7402473	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	12:29	5	347272	7402486	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	12:42	5	347307	7402508	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	12:56	5	347345	7402539	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	13:12	5	347390	7402572	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	13:30	5	347432	7402614	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	13:53	5	347479	7402671	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	14:12	5	347508	7402713	Sicigia Vaciante
R-DER-1	05-03-2019	14:34	5	347526	7402745	Sicigia Vaciante
R-DER-2	05-03-2019	16:12	0	348057	7401998	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	16:25	0	348073	7402027	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	16:50	0	348106	7402149	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	17:04	0	348116	7402247	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	17:22	0	348107	7402376	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	16:12	5	348057	7401998	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	16:24	5	348032	7401983	Sicigia Llenante

Punto	Fecha	Hora	Prof. [m]	UTM Huso 19K		Condición Mar
				Este [m]	Norte [m]	
R-DER-2	05-03-2019	16:36	5	348021	7401975	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	16:49	5	348011	7401973	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	17:02	5	348003	7401964	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	17:19	5	347992	7401948	Sicigia Llenante
R-DER-2	05-03-2019	12:22	0	348057	7401998	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	12:35	0	348160	7401942	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	12:49	0	348277	7401899	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	13:04	0	348425	7401855	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	13:21	0	348591	7401825	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	13:39	0	348774	7401811	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	14:02	0	349007	7401785	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	14:22	0	349213	7401784	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	14:49	0	349464	7401820	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	12:22	5	348057	7401998	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	12:34	5	348105	7401990	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	12:47	5	348161	7401987	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	13:02	5	348226	7401981	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	13:19	5	348296	7401979	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	13:37	5	348382	7401983	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	13:59	5	348489	7401977	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	14:19	5	348574	7401959	Sicigia Vaciente
R-DER-2	05-03-2019	14:44	5	348675	7401925	Sicigia Vaciente

· Batimetría digital en bahía San Jorge

Una de las condiciones relevantes en el funcionamiento de la bahía, corresponde a la batimetría del sistema, por lo cual se realizó una recopilación y generación de información específica para la batimetría del sector.

Así, la zona de bahía San Jorge, Antofagasta, 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 2000, 2113, 2112 y 2111 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 5.4-30.

Tabla 5.4-34 Cartas SHOA que abarcan el área de estudio

Nombre	Código Plano	SKU	Escala	Carta
Bahía San Jorge a Puerto Caldera	CL2AN020	CL2002	1:500000	2000
Caleta Coloso	CL5AN030	CL5006	1:10000	2113
Caleta Chumba	CL5AN025	CL5006	1:10000	2112
Caleta Abtao	CL5AN020	CL5006	1:15000	2112
Rada de Antofagasta	CL5AN015	CL5005	1:8000	2111

La ubicación de estas cartas, según el “Catálogo de cartas y publicaciones náuticas” del SHOA, es mostrada en las Figura 5.4-91 y Figura 5.4-92 a continuación.

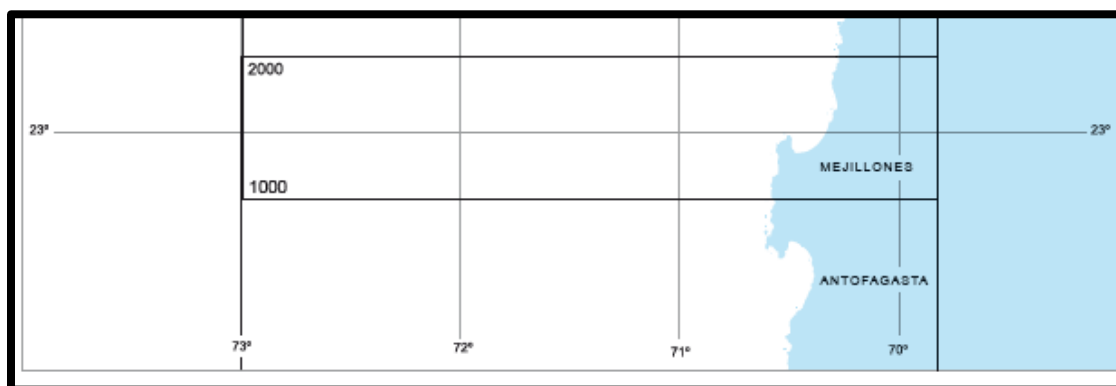


Figura 5.4-91 Ubicación carta SHOA N°2000. (Fuente: Catálogo de cartas y publicaciones náuticas, SHOA).

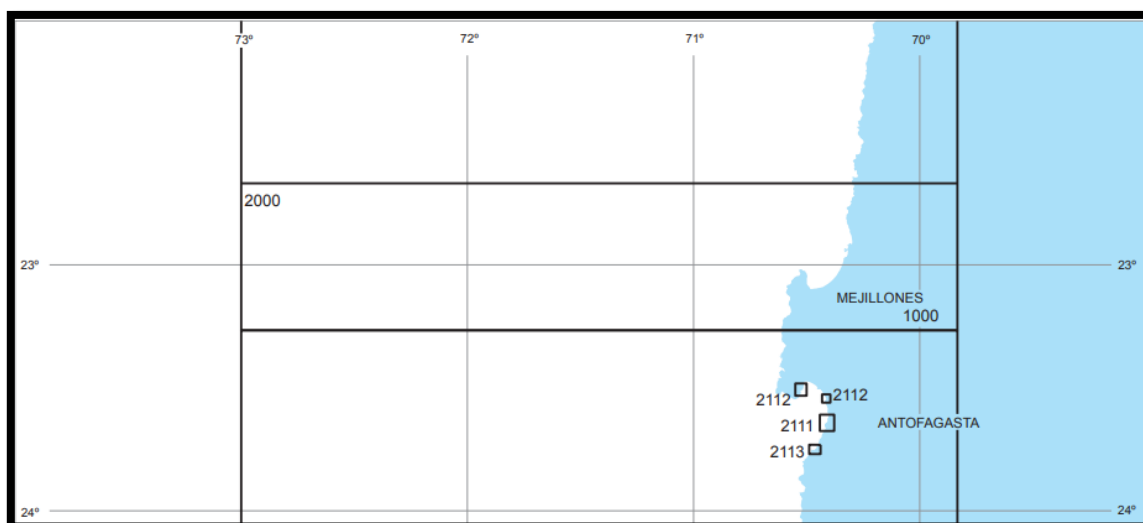


Figura 5.4-92 Ubicación cartas SHOA N°2111, 2112 y 2113. (Fuente: Catálogo de cartas y publicaciones náuticas, SHOA).

Para complementar la información de las cartas náuticas digitales mencionadas en la Tabla 5.4-30, se llevó a cabo una medición de batimetría mediante la utilización de un dispositivo Garmin 420S (Figura 5.4-94) en la campaña de verano 2019, con una frecuencia de muestreo de 0,2 Hz, en los sectores de Rinconada, Petroleras y Carrizo. En la Figura 5.4-93 se adjuntan las trayectorias seguidas en cada uno de los sectores mencionados anteriormente, demarcadas por líneas continuas.

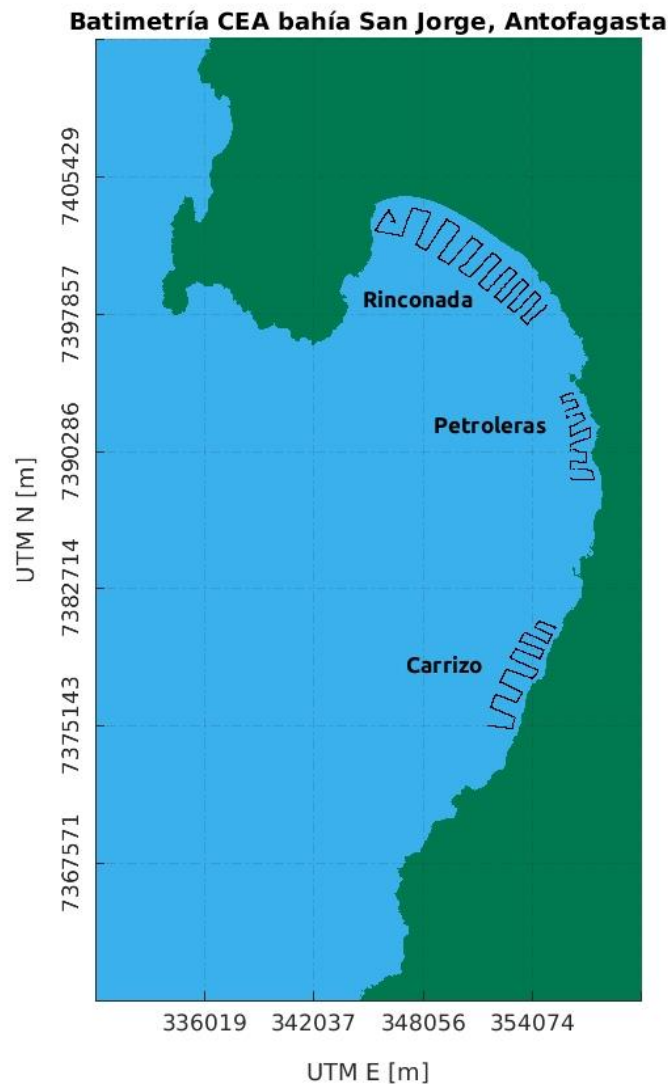


Figura 5.4-93: Batimetría muestreada en bahía San Jorge, Antofagasta, en los sectores de Rinconada, Petroleras y Carrizo. Las líneas trazadas dan cuenta de las trayectorias seguidas en cada uno de los sectores.



Figura 5.4-94: Dispositivo Garmin 420s utilizado para la adquisición de datos batimétricos.

Posteriormente, con la información de cartas SHOA y la batimetría realizada, se llevó a cabo 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 5 m x 5 m. El modelo de elevación conseguido se muestra en la Figura 5.4-95 y es entregado en formato digital en anexos digitales (**Anexos_digitales\04_OE3\7_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 (**Anexos_digitales\04_OE3\7_Batimetria**).

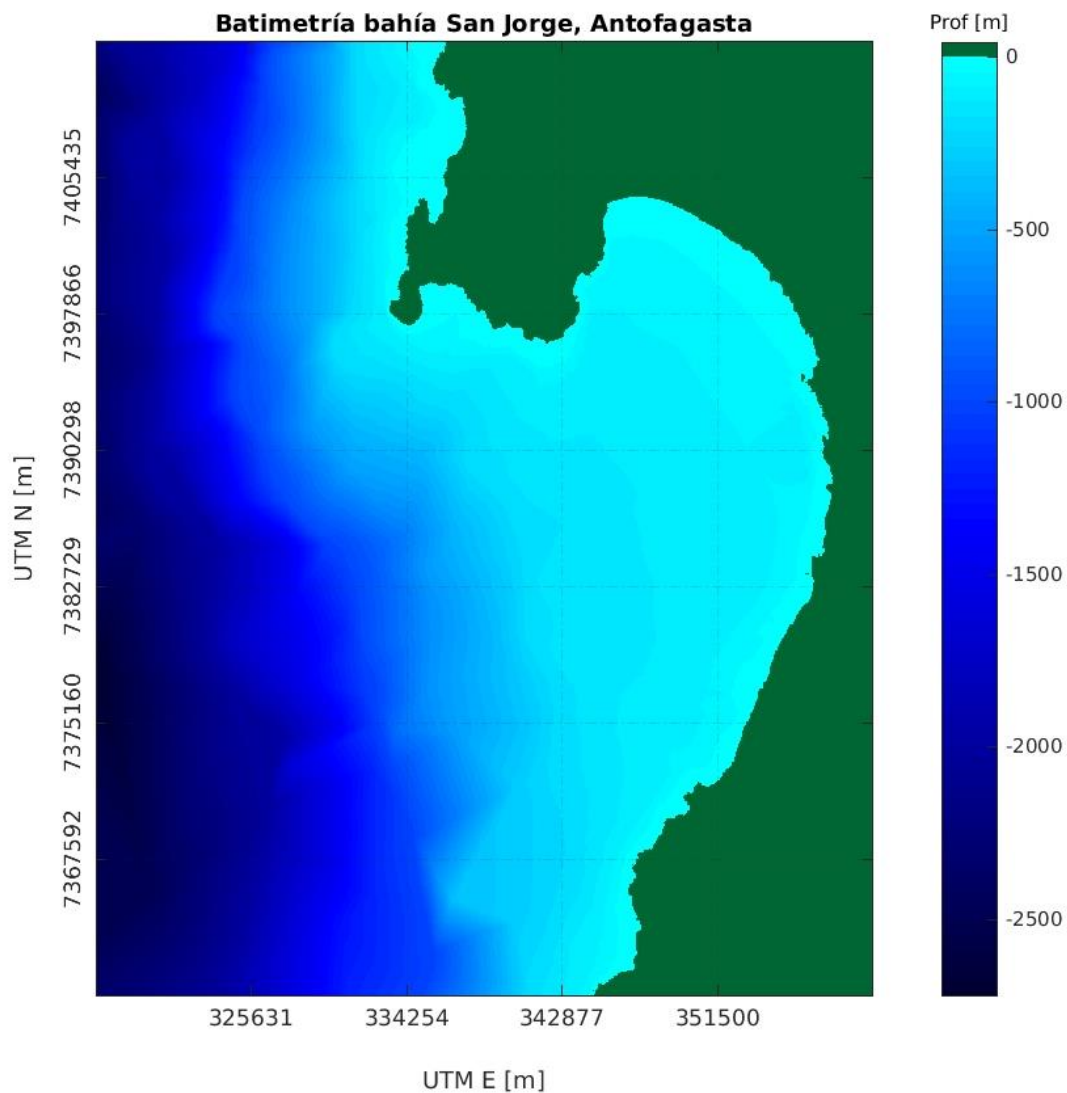


Figura 5.4-95 Modelo de elevación de bahía San Jorge, Antofagasta (vista 2D). El modelo digital de elevación (DEM) es obtenido mediante interpolación de la información de las cartas SHOA y mediciones de batimetría CEA sobre una malla con un tamaño de celda de 5 m x 5 m. Fuente: Elaboración propia, CEA 2019.

d) Resultados de muestras de la matriz biológica

· Fitoplancton

El análisis cualitativo indicó que la composición de fitoplancton durante verano 2019 estuvo representada principalmente por el grupo de dinoflagelados con un total de 18 taxa, mientras que el grupo de diatomeas registró una presencia de 20 taxa y el grupo de los silicoflagelados estuvo representado por 1 taxón. Al analizar la composición taxonómica, los resultados indicaron que los taxa fitoplanctónicos que presentaron los índices de abundancia relativa en categoría “Muy Abundante” alcanzaron 13 grupos taxonómicos, destacando el dinoflagelado *Triplos fusus* con el I.A.R. más alto en 9 puntos de muestreo, seguido de los dinoflagelados *Dinophysis caudata* y *Protoperdinium pellucidum* en 7 puntos de muestreo (Tabla 5.4-35).

Tabla 5.4-35 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) para la comunidad de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge. Campaña verano 2019.

Taxa/Puntos de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
Diatomeas										
<i>Asteromphalus sp.</i>				R		R				
<i>Biddulphia sp.</i>			E							
<i>Chaetoceros spp.</i>			A	E				E		E
<i>Coscinodiscus perforatus</i>						R				
<i>Coscinodiscus spp.</i>			A	E	A	E	E	R		
<i>Eucampia sp.</i>			R	E	R		E	E		R
<i>Guinardia sp.</i>		E	A			A				
<i>Licmophora sp.</i>					R					
<i>Lithodesmium sp.</i>						E				
<i>Navicula sp.</i>						R				
<i>Pennales ind.</i>					R		E			
<i>Planktoniella sp.</i>	E		R	E	E	E	E			
<i>Pleurosigma sp.</i>	E		E	A	R	E	R			
<i>Pseudonitzschia sp.</i>								E	R	
<i>Rhizosolenia spp.</i>	A		M	A	M	M	M	M	E	A
<i>Rhizosolenia styliformis</i>			E							
<i>Thalassiosira sp.</i>	E	E	A	M	A	A	M	A	A	R
<i>Thalassiothrix sp.</i>	A		E	A	A		A	E		
Dinoflagelados										
<i>Amphidinium sp.</i>	M	M	M	E	A	A				A
<i>Dinophysis acuminata</i>	E	R	E	R	E	E				E

Taxa/Puntos de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
<i>Dinophysis caudata</i>	M	M	M	M	M	M				M
<i>Dinophysis spp.</i>	E		A		E	R	M	M	A	E
<i>Diplopsalis sp.</i>		E	E			E				
<i>Gonyaulax sp.</i>			R		E	A	E			
<i>Gymnodinium sp.</i>							R			E
<i>Podolampas sp.</i>			E		M	A				
<i>Prorocentrum spp.</i>	A	A	M	A	E	M	A	A	M	M
<i>Protoperdinium claudicans</i>	E	E	A	A	E	E	A	A	R	E
<i>Protoperdinium depressum</i>										
<i>Protoperdinium pellucidum</i>	A	M	M	M	A	M	M	A	M	M
<i>Protoperdinium spp.</i>	E	A	A	M	A	M	M	M	E	M
<i>Tripos balechii</i>		E	E			E				
<i>Tripos furca</i>		A	M			M				
<i>Tripos fusus</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	A	M
<i>Tripos horridus</i>										
<i>Tripos limulus</i>	E		A	E	M	M	A	E	R	R
<i>Tripos muelleri</i>			E		E	E	E	R		
<i>Tripos spp.</i>	A			A	M		M	A	A	A
Silicoflagelados										
<i>Dictyocha sp.</i>	E	A	E	R	E	A			R	E

En el muestreo cuantitativo realizado en verano de 2019, se registró un total de 38 taxa en la comunidad fitoplanctónica, asociada al estrato de superficie. Los dos grupos más representativos en términos del número de taxa, corresponden a los dinoflagelados (59,59%) y a las diatomeas (36,73%). En el estrato fondo, ocurre un patrón similar, variando las proporciones en magnitud (Figura 5.4-96). Las mayores abundancias fueron registradas en el estrato de fondo, en los puntos de muestreo BSJ-04 y BSJ-03. La menor abundancia fue registrada en el estrato de fondo, en los puntos de muestreo BSJ-07 y BSJ-08 (Figura 5.4-97). En general, dominaron los dinoflagelados, mayormente representados por organismos de los géneros *Prorocentrum sp.* y *Tripos fusus* (Figura 5.4-98).

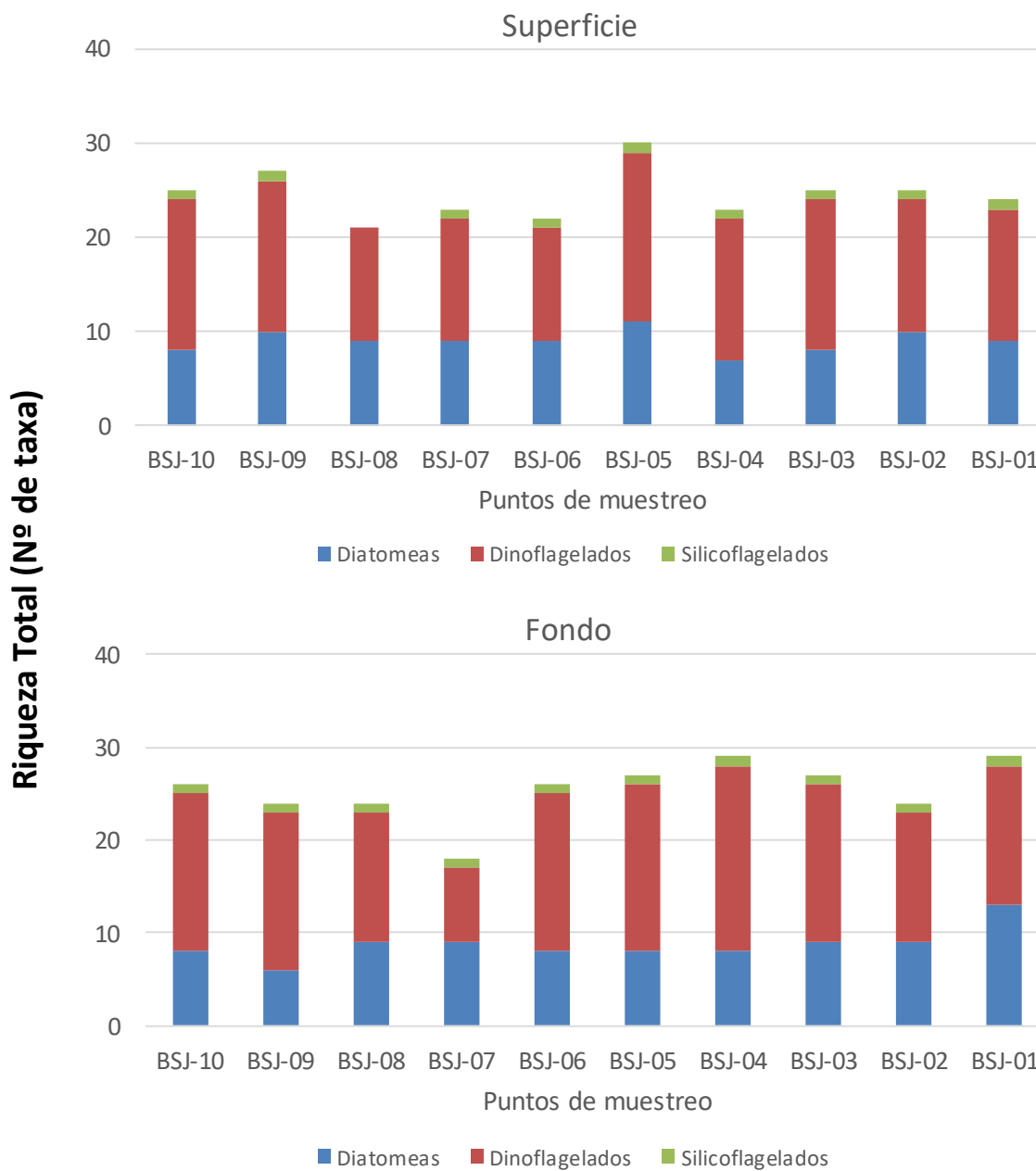


Figura 5.4-96 Riqueza de fitoplancton, verano 2019. Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están ubicados de sur a norte en el eje de las abscisas.

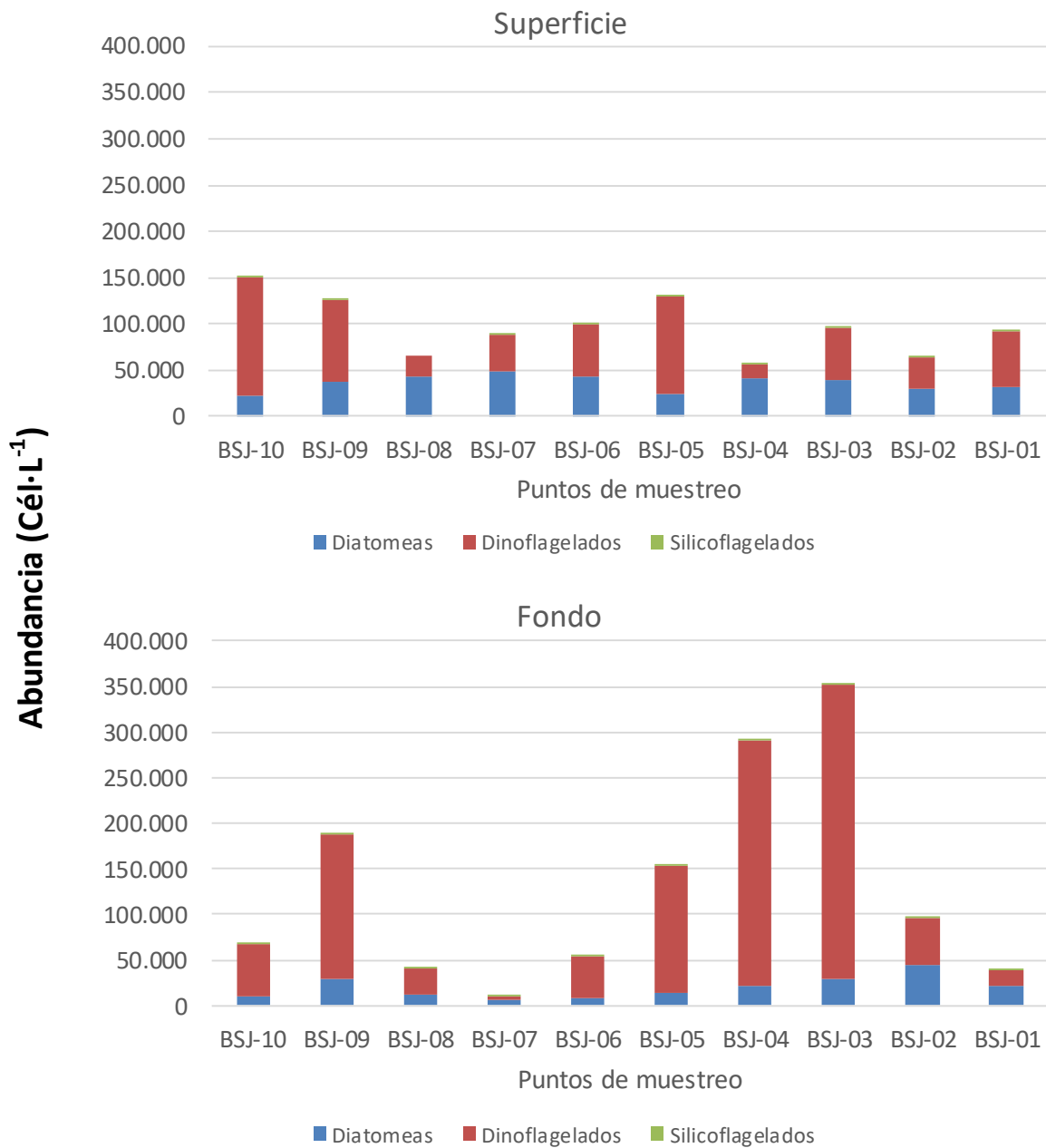


Figura 5.4-97 Abundancia de fitoplancton, verano 2019. Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están ubicados de sur a norte en el eje de las abscisas.

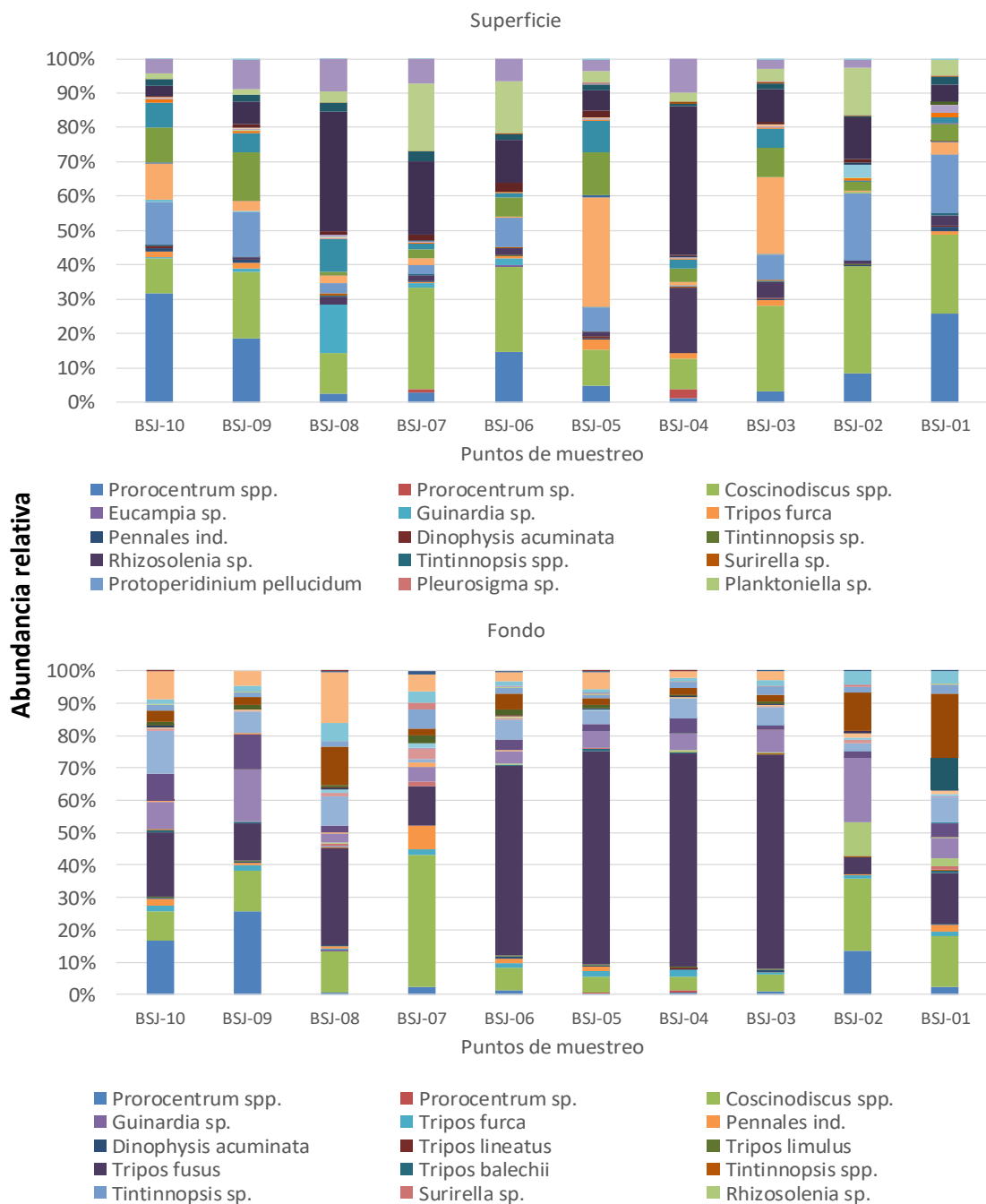


Figura 5.4-98 Composición de especies y abundancia relativa en la comunidad fitoplanctónica, verano 2019. Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están ubicados de sur a norte en el eje de las abscisas.

- Zooplancton

En el muestreo realizado en verano de 2019, se registró un total de 26 taxa en la comunidad zooplanctónica (holoplancton). Los dos grupos más representativos en términos del número de taxa, corresponden a los copépodos ciclopoideos (23,08%) y los eufásidos (15,38%) (Figura 5.4-99.a). Las mayores abundancias fueron registradas en los puntos de muestreo BSJ-07 y BSJ-10. La menor abundancia fue registrada en el punto de muestreo BSJ-08 (Figura 5.4-99.b). En la mayoría de los puntos de muestreo dominaron los copépodos en estado nauplio y ciclopoideos (Figura 5.4-99.c). Lo descrito anteriormente ocurre en la columna de agua desde los 0,1 a 20m.

Por otra parte, se registró un total de 17 taxa en la comunidad zooplanctónica (meroplancton). El grupo más representativo, en función del número de taxa, corresponde a los decápodos (Figura 5.4-100.a). Las mayores abundancias fueron registradas en los puntos de muestreo BSJ-07 y BSJ-06. La menor abundancia fue registrada en el punto de muestreo BSJ-09 (Figura 5.4-100.b). En la mayoría de los puntos de muestreo dominaron las larvas de Bivalvos y los estados larvales de cirripedios (Figura 5.4-100.c). Lo descrito anteriormente ocurre en la columna de agua desde los 0,1 a 20m.

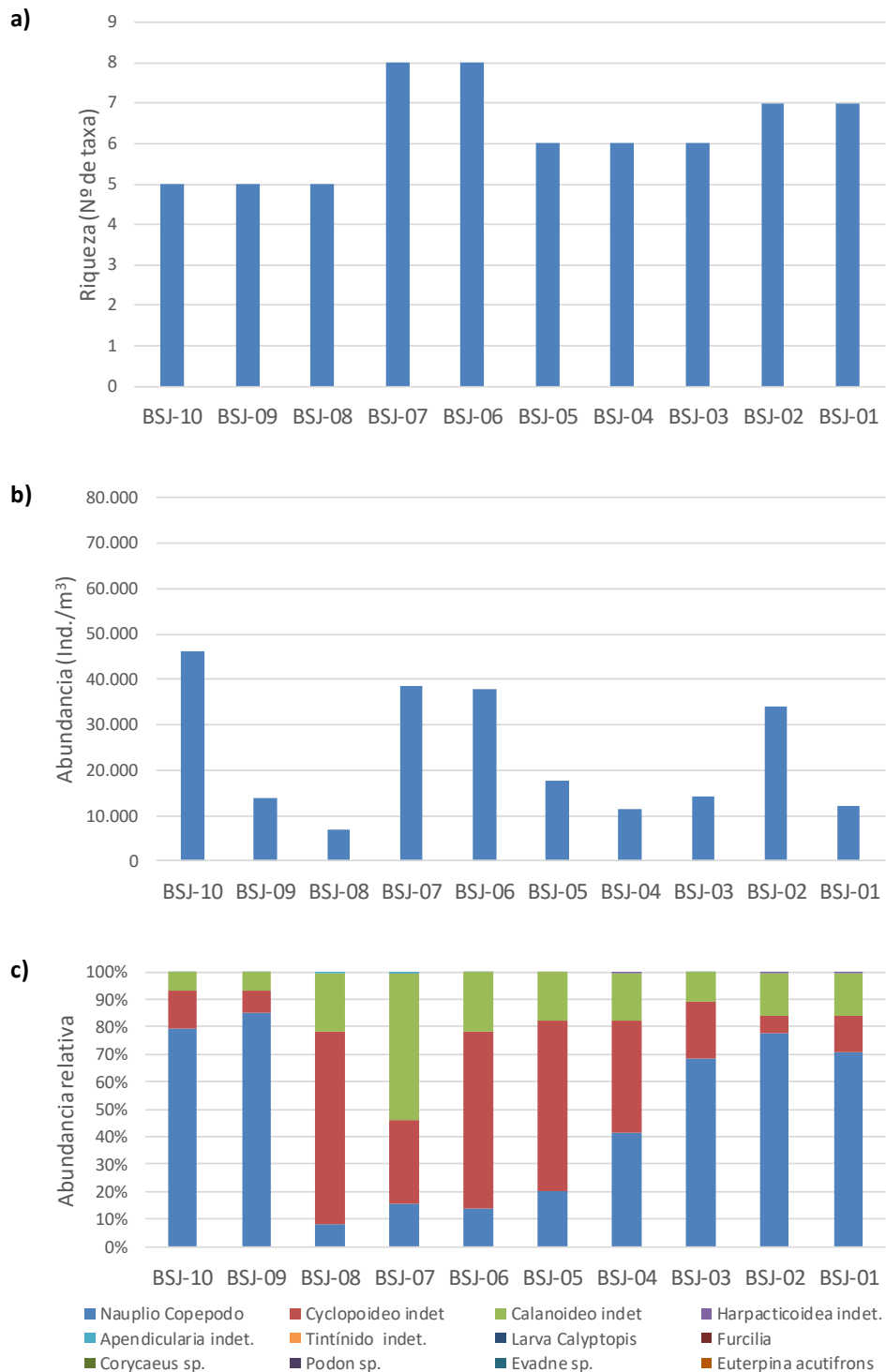


Figura 5.4-99 Riqueza, abundancia y composición de taxa pertenecientes al Holoplancton. Verano 2019, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están ubicados de sur a norte en el eje de las abscisas

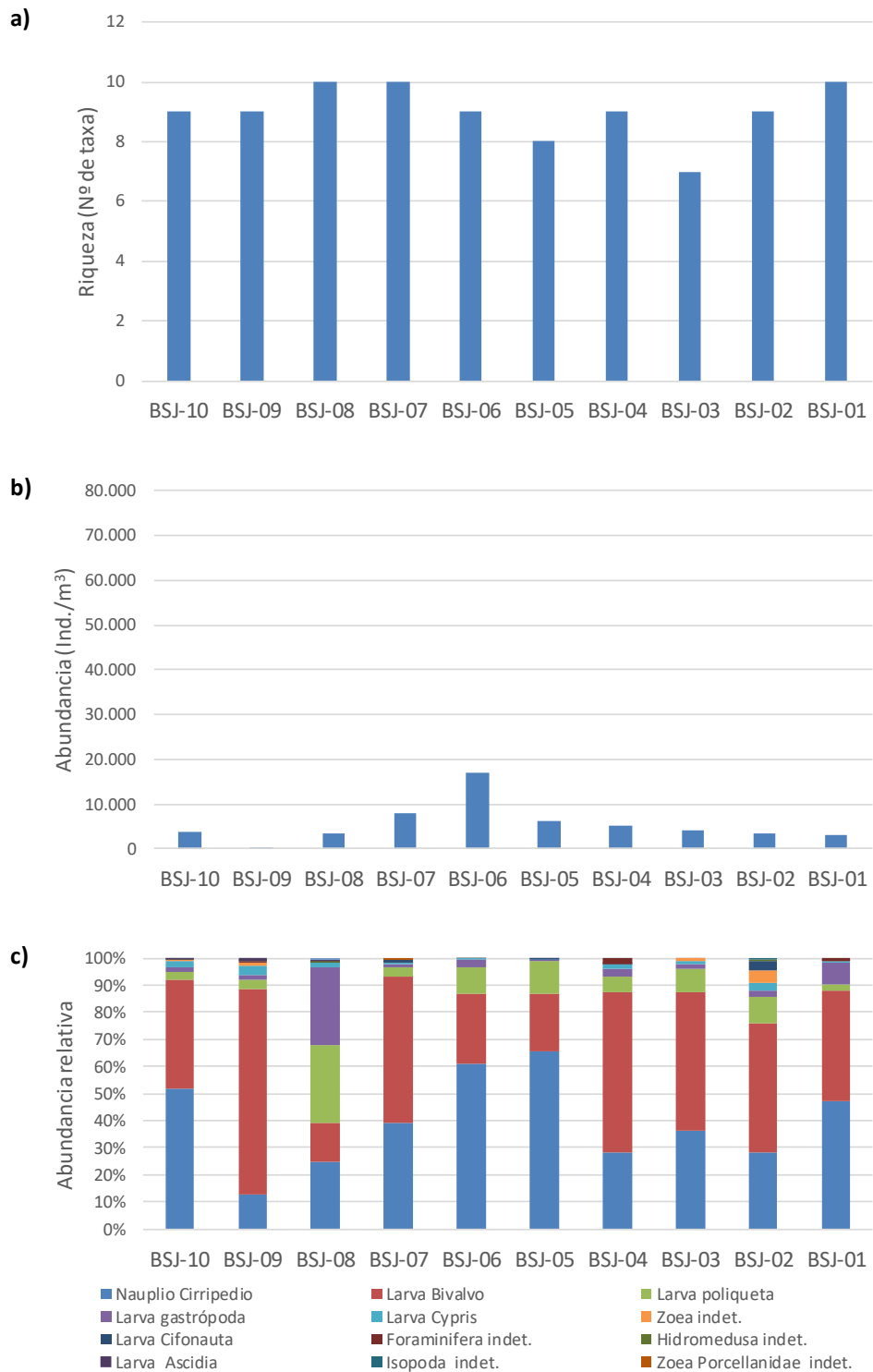


Figura 5.4-100 Riqueza, abundancia y composición de taxa pertenecientes al Meroplancton. Verano 2019, Bahía San Jorge, Antofagasta. Los puntos de muestreo están ubicados de sur a norte en el eje de las abscisas

La estructura del Holoplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo (Figura 5.4-101a). El índice de equidad mostró valores superiores a 0,70 en todos los puntos de muestreo evaluado. Lo anterior indicaría que el meroplancton presentó una alta diversidad de especies con baja dominancia monoespecífica de algún taxón.

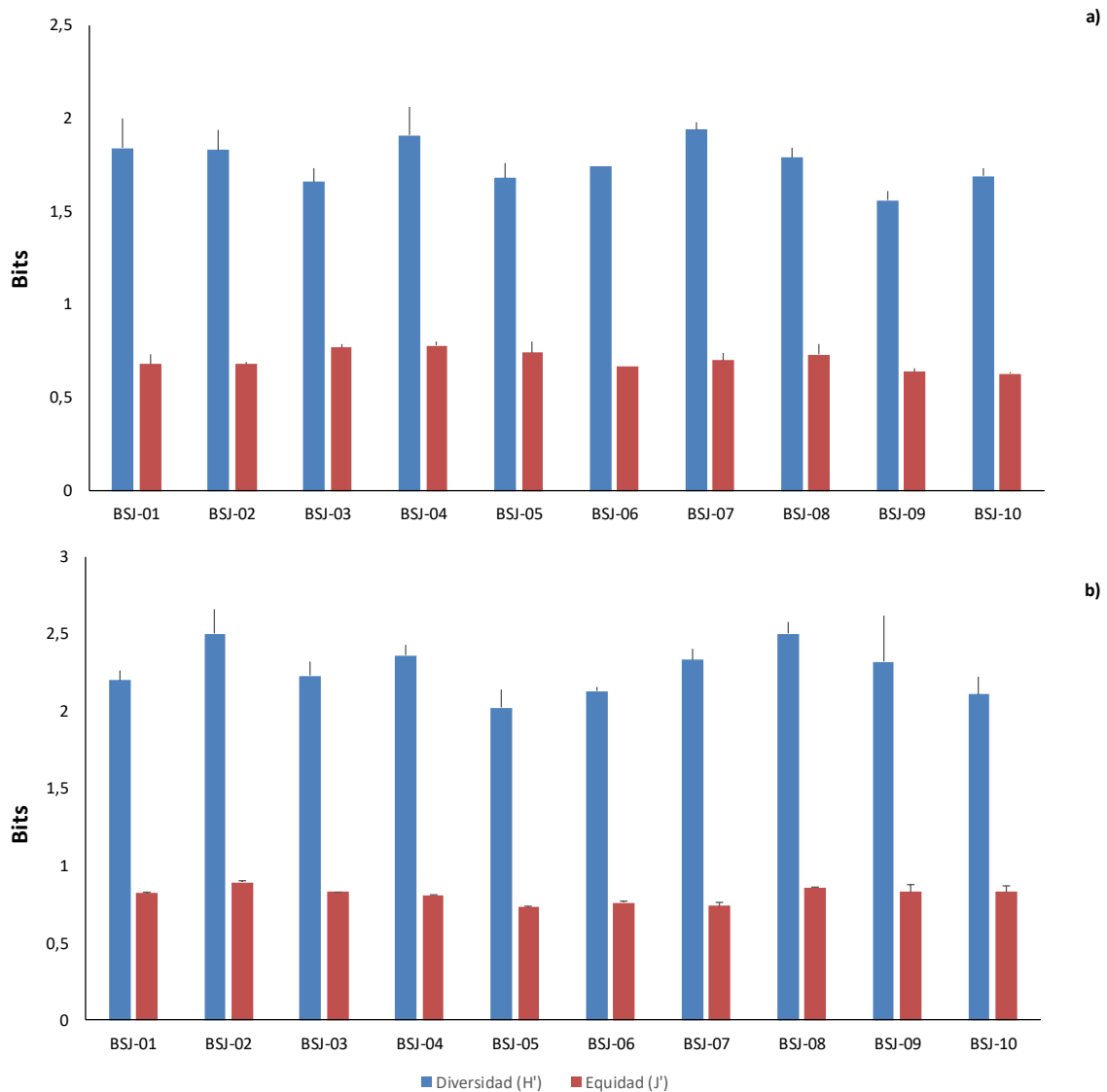


Figura 5.4-101 Índice de Shannon Wiener e Índice de Pielou, para las comunidades a) Holoplanctónicas, b) Meroplanctónicas. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña verano 2019.

En cuanto a la biomasa de zooplancton, se puede observar un patrón irregular entre los puntos de muestreo, con mayores biomásas en el punto BSJ-07, seguido por el punto de

muestreo BSJ-04 (Figura 5.4-102). Los menores valores de biomasa se registraron en el punto de muestreo BSJ-01.

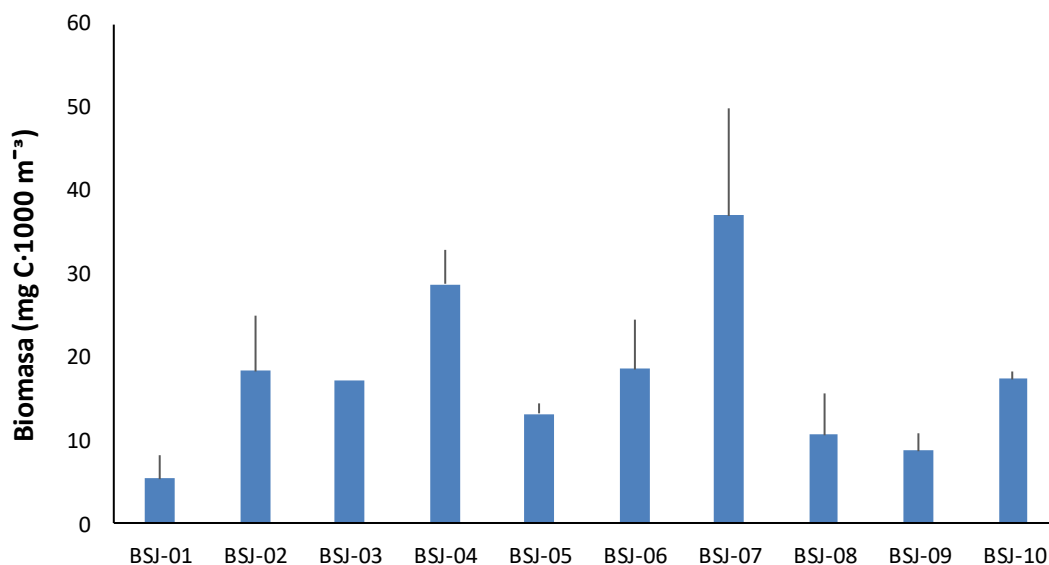


Figura 5.4-102 Biomasa (n=2; E.E.) en la comunidad zooplancton registrada en Bahía San Jorge. Campaña de verano 2019.

· Ictioplancton

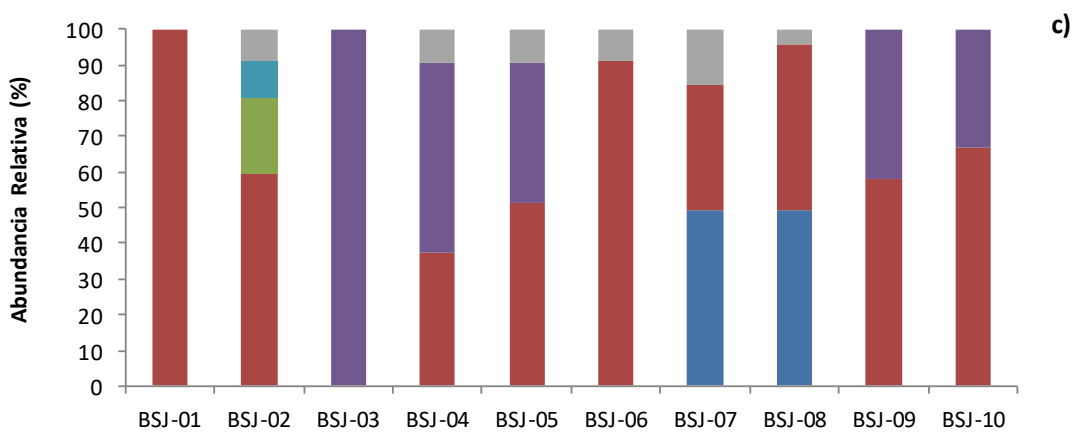
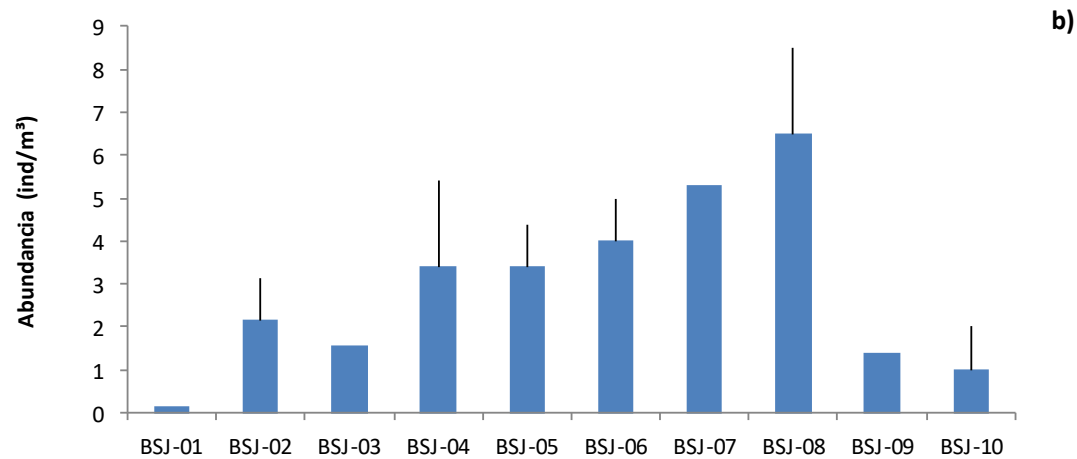
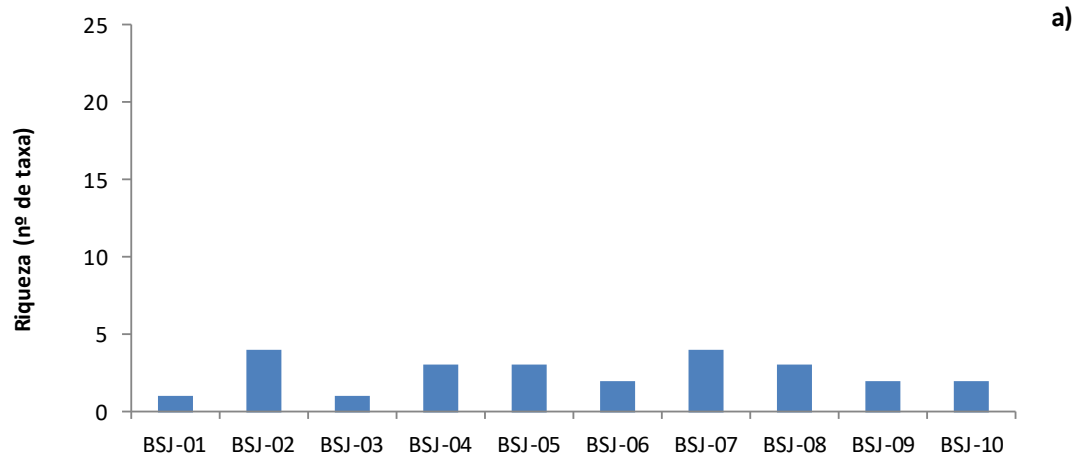
El ictioplancton registro una riqueza total de 9 taxa, de las cuales 6 correspondieron a la porción de huevos y 3 a la de larvas. La riqueza total en el área de estudio presentó valores irregulares entre los puntos de muestreo para las dos porciones, con mayor cantidad de huevos en los puntos BSJ-02 y BSJ-07. Las larvas presentaron solo un taxa en los puntos BSJ-01, BSJ-02, BSJ-03 y BSJ-09 (Figura 5.4-103a; Figura 5.4-104a).

La abundancia promedio en cambio, presentó mayor abundancia de huevos en el sector sur de la Bahía (BSJ-08), para la porción de larvas en el punto BSJ-09. Los menores valores de abundancia fueron en el sector norte BSJ-01 (huevos) (Figura 5.4-103b; Figura 5.4-104b).

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 presentaron dominancia de la Anchoveta *Engraulis ringens* y *Normanichthys crockeri* para la porción de huevos y larvas. (Figura 5.4-103c; Figura 5.4-104c).

La estructura del ictioplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo (Figura 5.4-105a-b) El índice de equidad mostró valores irregulares mayores a 0,9. Lo anterior indicaría que el ictioplancton (porción huevos) presentó una baja diversidad ($H' < 2$) de especies con baja

dominancia mono-específica de algún taxón. No se pudo realizar el análisis comunitario en porción de larvas por la baja cantidad de datos.



■ *Engraulis ringens* ■ *Normanichthys crockeri* ■ *Sardinops sagax* ■ Otros >10%

Figura 5.4-103 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio (n=2, ± E.E.) y c) Abundancia relativa (%) de la fracción de huevos. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de verano 2019.

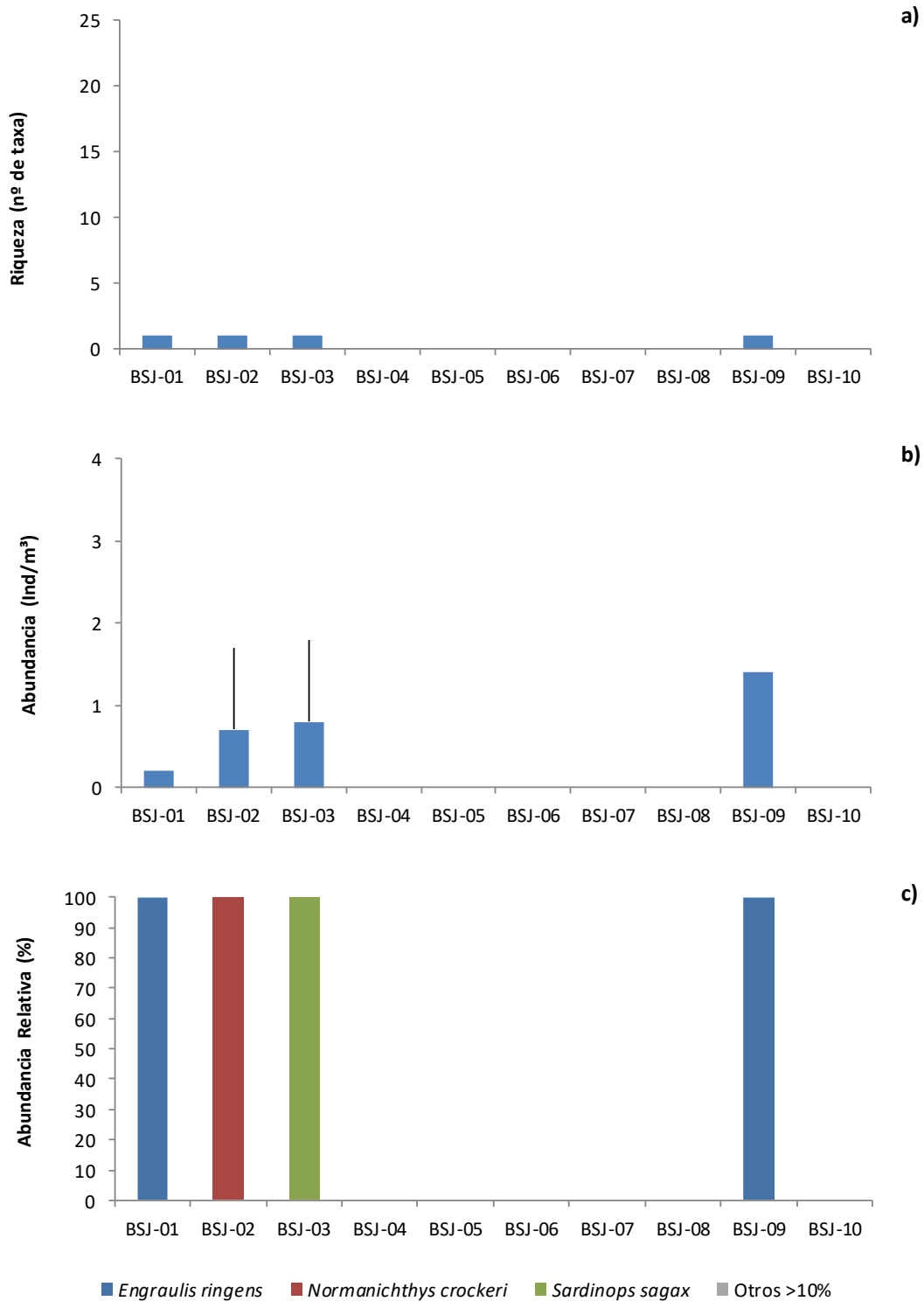


Figura 5.4-104 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio ($n=2$, \pm E.E.) y c) Abundancia relativa (%) de la fracción de larvas. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de verano 2019.

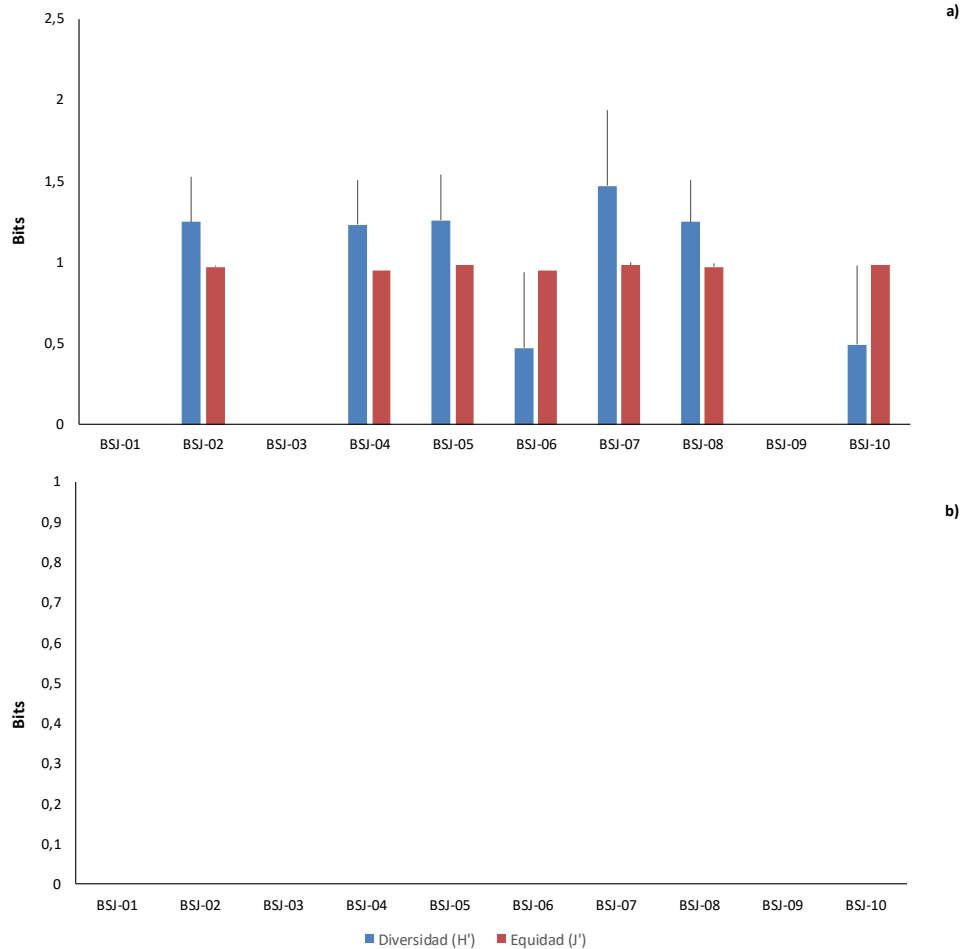


Figura 5.4-105 a) Porción de Huevos, b) Porción de Larvas, valores de Índice de Shannon Wiener (azul), e Índice de Pielou (rojo). Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña verano 2019.

En cuanto a la biomasa de ictioplancton, se puede observar un patrón irregular entre los puntos de muestreo, con mayores biomásas en el punto de muestreo BSJ-06 (Figura 5.4-106).

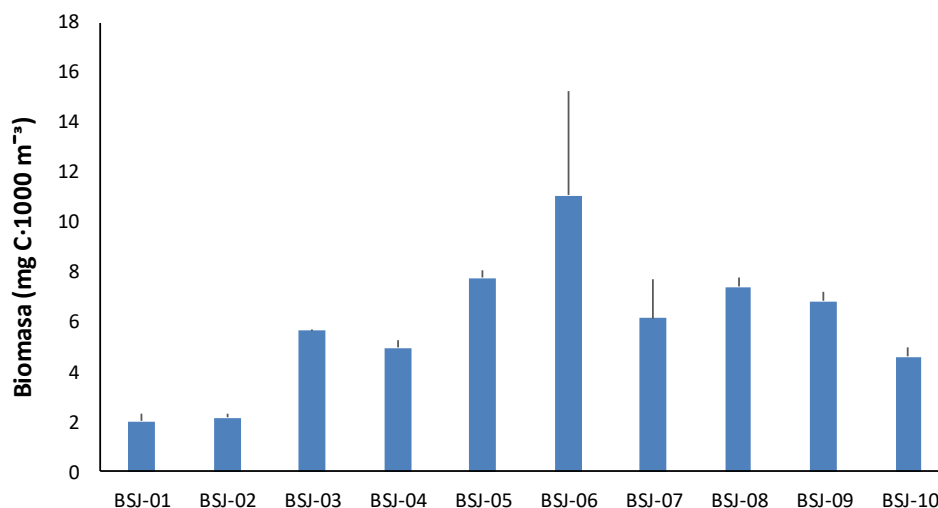


Figura 5.4-106 Biomasa de ictioplancton (equivalente de Carbono mg C·1000 m⁻³) registrada en Bahía San Jorge. Campaña de verano 2019.

- Comunidades bentónicas
- Submareal blando

En el muestreo realizado en verano de 2019, se registró un total de 41 taxa en la comunidad de la infauna asociada al sistema submareal blando. Las mayores riquezas y abundancias fueron registradas en los puntos de muestreo ubicados al norte y al sur del área de estudio (BSJ-01 y BSJ-10, respectivamente) (Figura 5.4-107 a y b). En la mayoría de los puntos de muestreo dominó el grupo de los poliquetos, mayormente representados por organismos de las familias Spionidae y Syllidae (Figura 5.4-107 c).

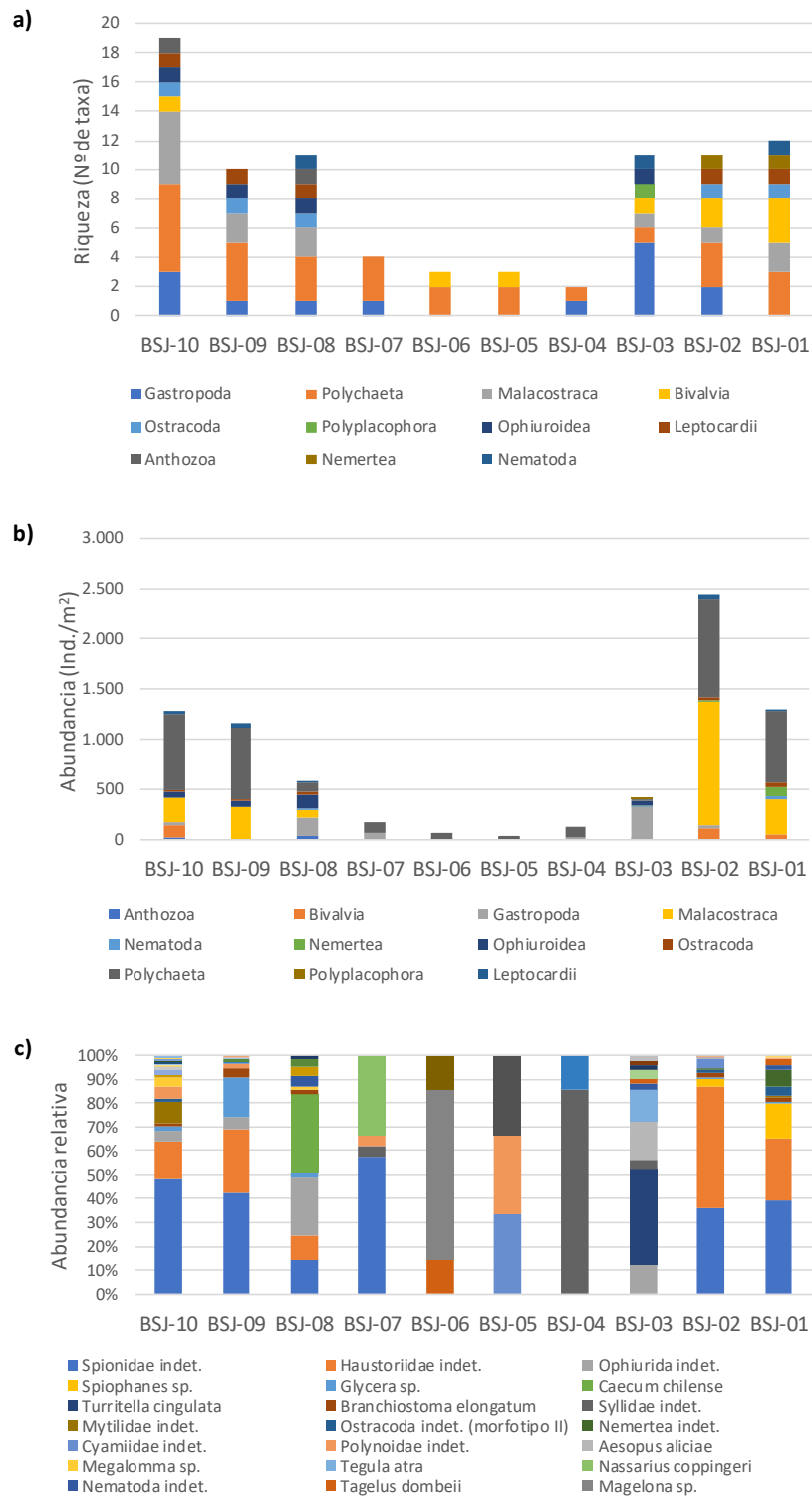


Figura 5.4-107 Riqueza, abundancia y composición de taxa de la infauna Submareal. Verano 2019, Bahía San Jorge, Antofagasta.

– Intermareal blando

En general, el estrato intermareal superior, presento la menor riqueza de taxa y la mayoría de ellas pertenecientes al grupo de los malacostracos e insectos (Figura 5.4-108). La mayor riqueza de taxa se registró en el nivel intermareal medio e inferior (Figura 5.4-109a y Figura 5.4-110a). Con respecto a la abundancia, los mayores registros estuvieron asociados al nivel intermareal medio e inferior, específicamente en el punto de muestreo TI-04 (Figura 5.4-109b y Figura 5.4-110b).

La composición de taxa indicó la dominancia absoluta el género *Exirolana braziliensis* y *Phalerisida maculata.*, en el intermareal superior del punto de muestreo TI-08 y TI-05, respectivamente (Figura 5.4-108). Por otra parte, se registró la dominancia absoluta de organismos poliquetos *Glycera* sp. en el nivel medio del punto de muestreo TI-08 (Figura 5.4-109b c). *Emerita analoga* dominó el nivel inferior de los puntos de muestreo TI-08, TI-07 y TI-05 (Figura 5.4-110).

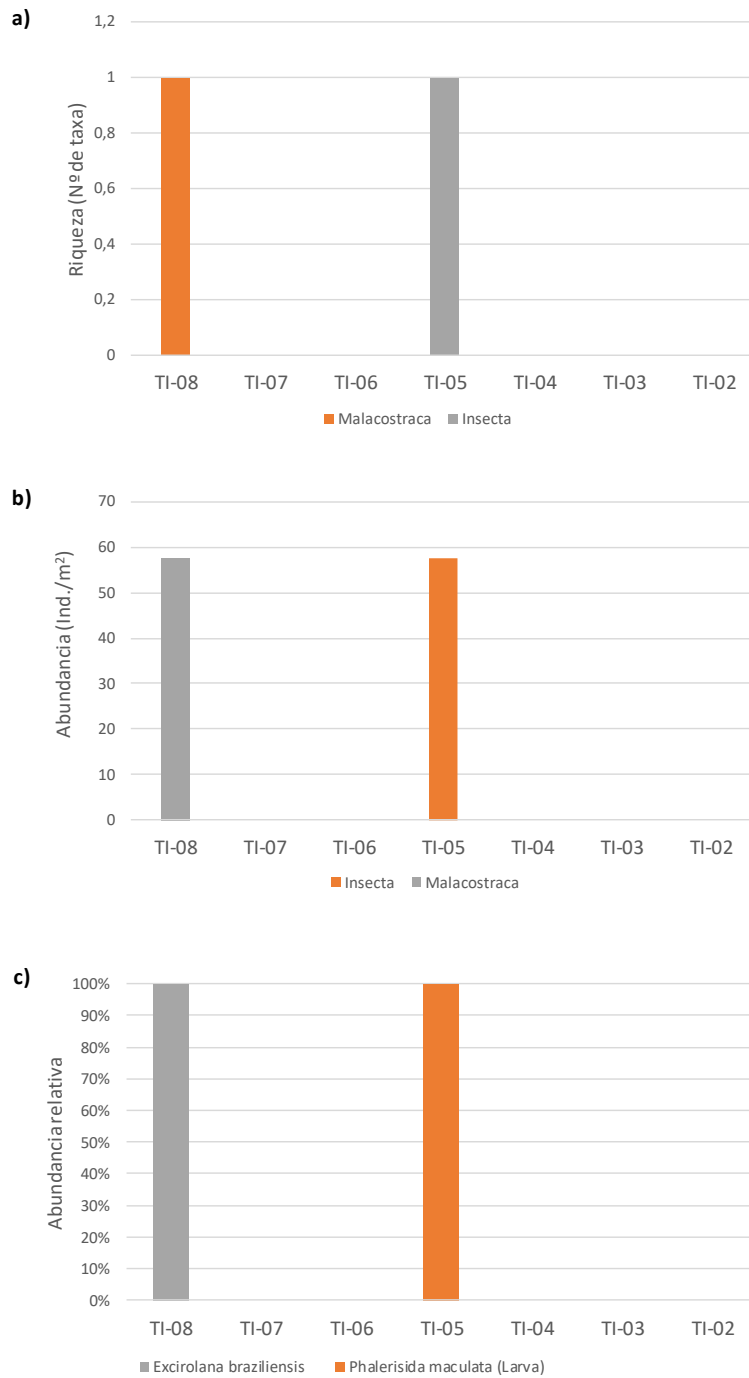


Figura 5.4-108 Riqueza, abundancia y composición de taxa de la infauna intermareal (Superior). Verano 2019, bahía San Jorge, Antofagasta.

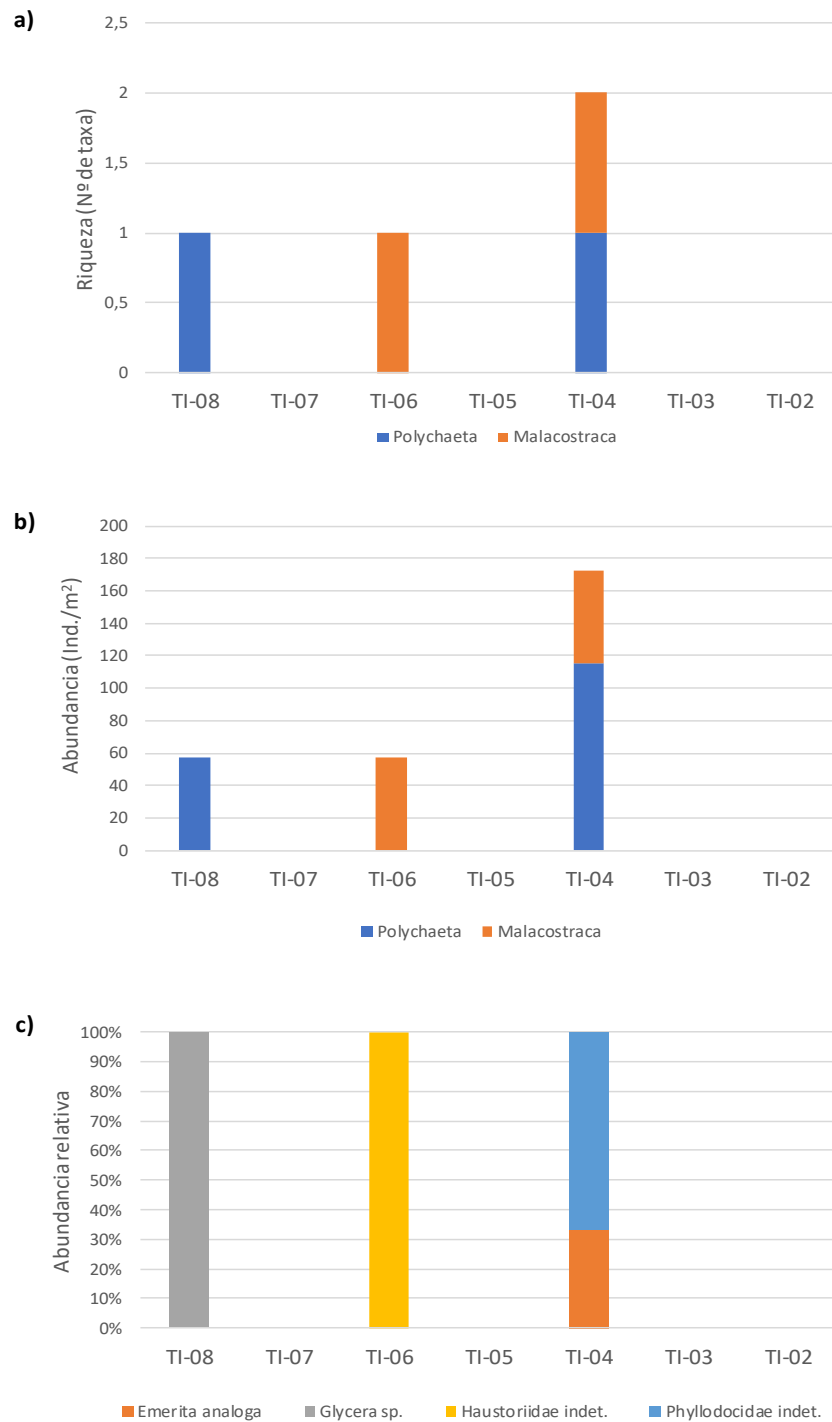


Figura 5.4-109 Riqueza, abundancia y composición de taxa de la infauna intermareal (Medio). Verano 2019, Bahía San Jorge, Antofagasta.

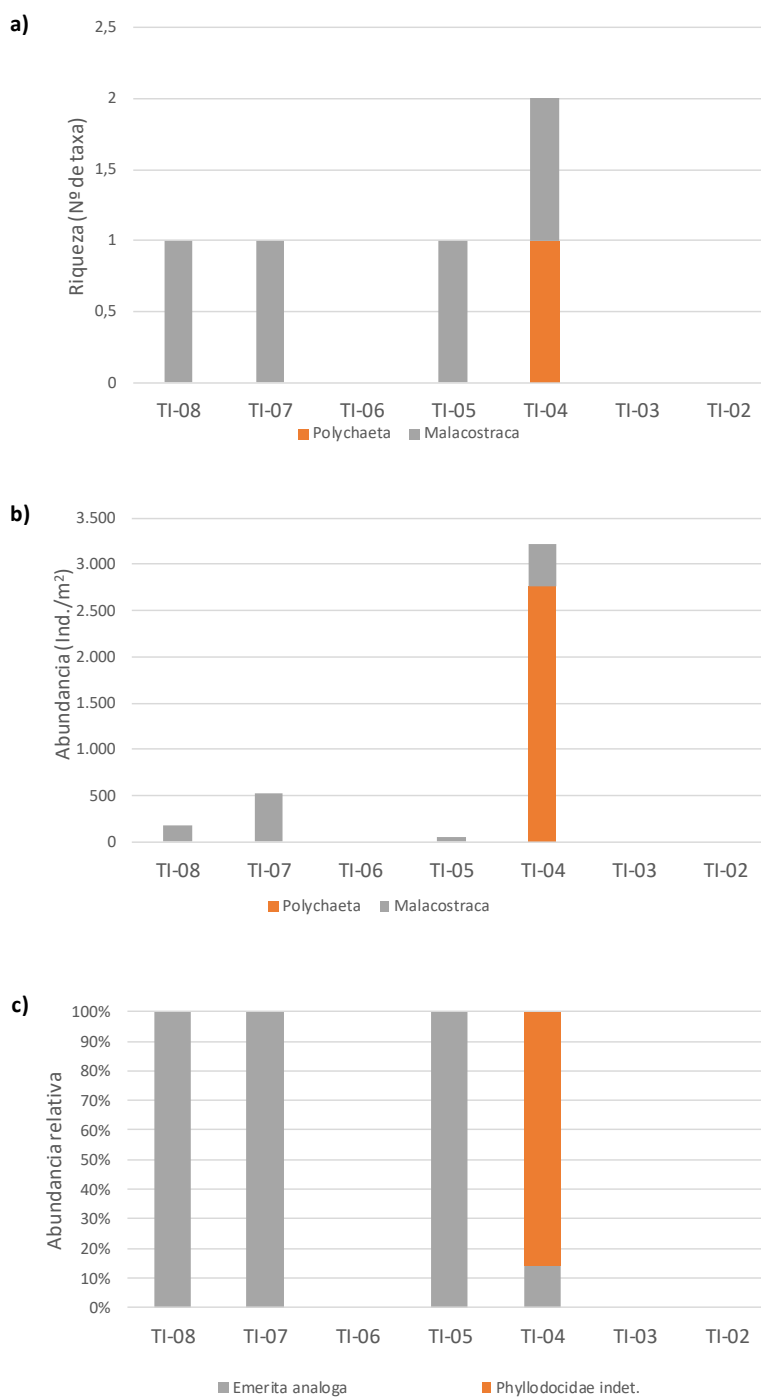


Figura 5.4-110 Riqueza, abundancia y composición de taxa de la infauna intermareal (Inferior). Verano 2019, Bahía San Jorge, Antofagasta.

– Intermareal duro

En el ambiente intermareal de sustrato duro se discriminaron dos grandes grupos, respecto de sus capacidades de movilidad: organismos sésiles y fauna móvil. Respecto de los organismos sésiles presentes en el transecto intermareal de sustrato duro prospectado (TIR-1), se reconoció un total de 11 grupos taxonómicos. De estos, 4 pertenecieron al grupo de macroalgas, así como al grupo de crustáceos. Por su parte, para los grupos de moluscos, cnidarios y tunicados se reconoció la presencia de un taxón en cada grupo. Con relación a la riqueza puntual de organismos sésiles observada en la zona intermareal prospectada, se observó que los mayores valores de riqueza se registraron en la zona inferior de la franja intermareal, reconociéndose un gradiente decreciente desde la zona inferior con mayor influencia de las masas de agua oceánicas hacia la zona superior de la franja intermareal, alcanzando promedios que variaron desde 7 a 3 grupos taxonómicos, respectivamente (Figura 5.4-111a).

Con relación a los valores de cobertura de los organismos sésiles, se observó un patrón inverso, donde los mayores registros se observaron en la zona superior de la franja intermareal decreciendo progresivamente hacia el estrato inferior. Los mayores registros de cobertura promedio en la parte alta de la franja intermareal son consecuencia de la importante presencia de los crustáceos cirripedios *Jehlius cirratus*. Así, los valores promedio de cobertura levantados en la zona de interés variaron entre 71,3 a 102,3 % de cobertura, respectivamente (Figura 5.4-111b).

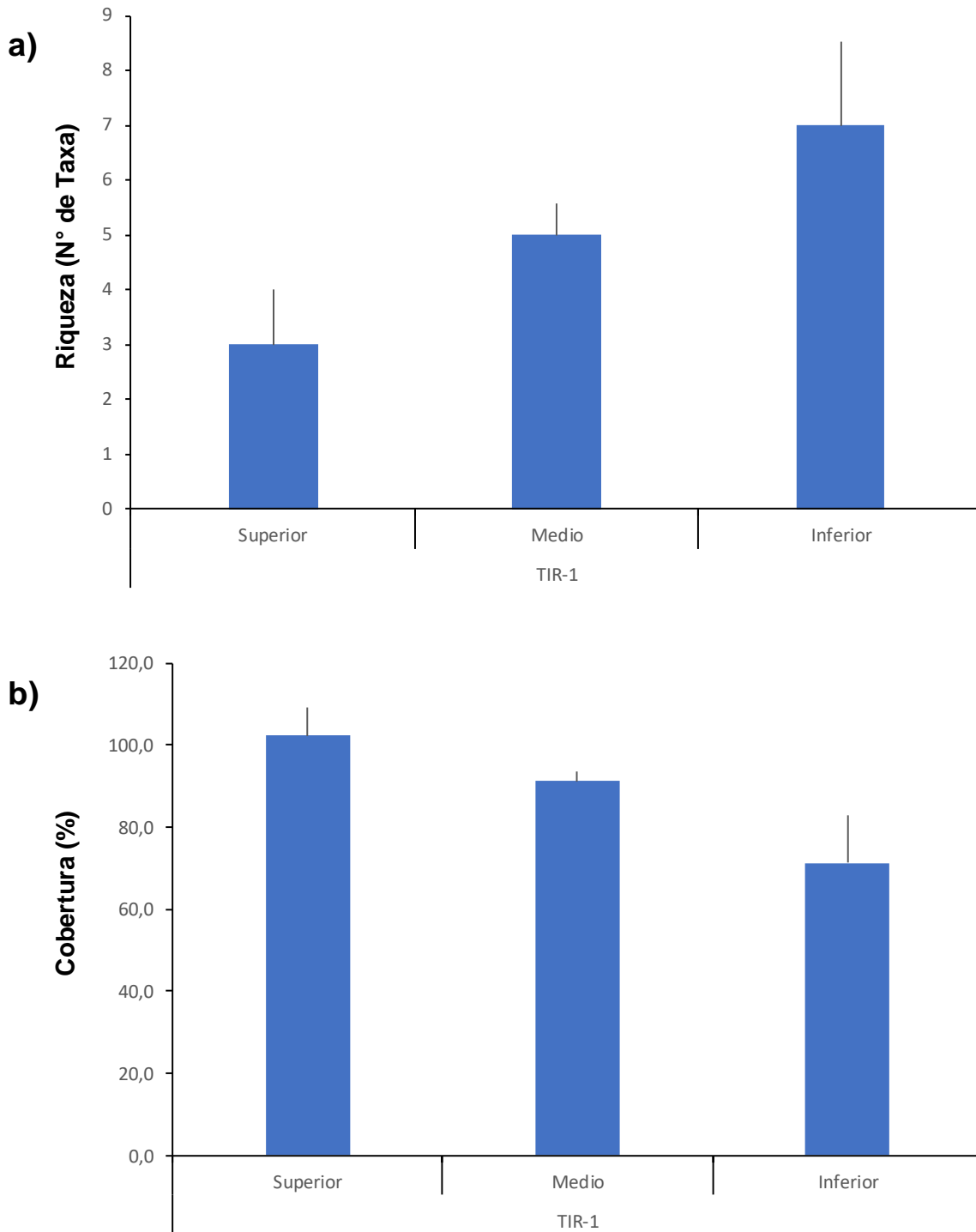


Figura 5.4-111 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos sésiles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía San Jorge. Campaña verano 2019.

Al considerar la morfología y relieve costero del área de estudio se observó la presencia de una franja intermareal de una treintena de metros de ancho con una pendiente moderadamente pronunciada en algunos sectores, la que presentó una exposición este respecto de la Bahía San Jorge. Se reconoció la presencia de macizos rocosos de granito que dominan la totalidad de la franja intermareal, con la presencia ocasional de rocas y colpas de gran tamaño. En la zona media y alta se observó la presencia esporádica de pozones intermareales, los que alcanzan una relevancia discreta en la oferta de hábitats del área prospectada. Con relación a las coberturas relativas, destacó la dominancia en el estrato superior del grupo de crustáceos cirripedios *Jhelius cirratus*; mientras que en la zona inferior destacó la presencia del alga roja *Lithothamnium* sp., así como el tunicado característico del ambiente intermareal en la zona cercana a Antofagasta, *Pyura praeputialis* (piure de Antofagasta). La gran mayoría las especies reconocidas en la franja intermareal de sustrato duro prospectada poseen una amplia distribución geográfica, tanto a nivel regional como nacional (Figura 5.4-112).

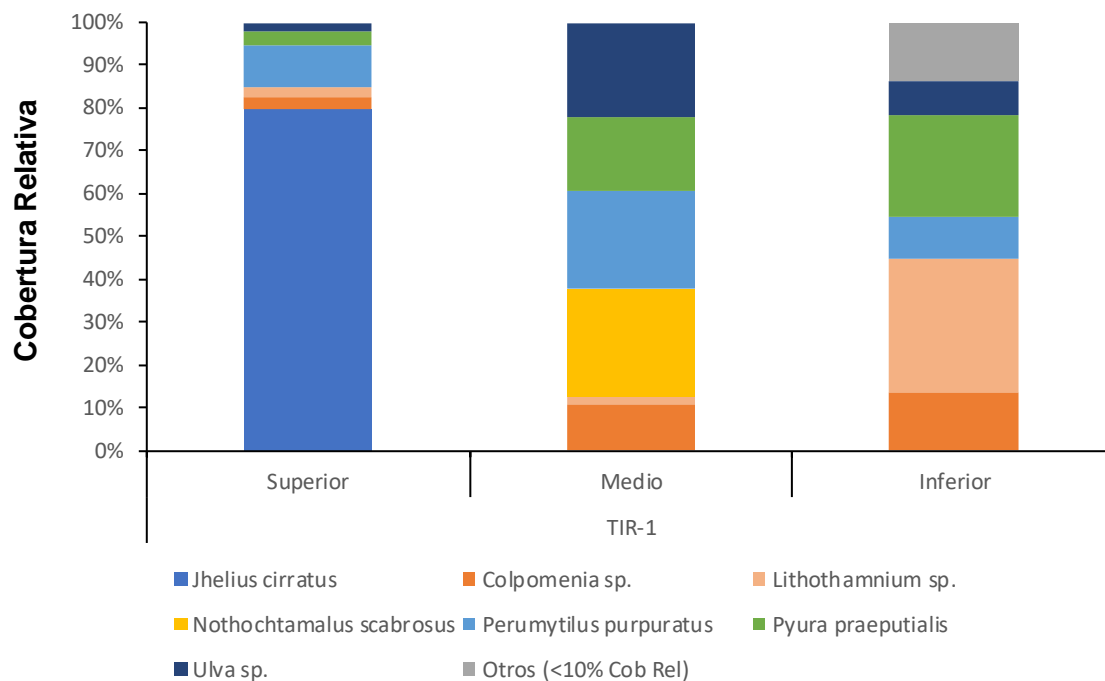


Figura 5.4-112 Cobertura relativa de ensambles de organismos sésiles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía San Jorge. Campaña Verano 2019.

La Figura 5.4-113 presenta los valores de riqueza y abundancia correspondientes a los organismos móviles detectados durante la campaña estival 2019. Al respecto, se discriminó un total de 6 grupos taxonómicos, dominados por el grupo de los moluscos (4 especies), secundados por el grupo de los equinodermos (2 especies). Con relación a los valores de riqueza, en general, se estimaron promedios discretos en el área de estudio, cuyos registros más altos se levantaron en la zona inferior del transecto prospectado, decreciendo progresivamente hacia los estratos superiores, registrándose valores promedios que variaron desde 3 taxa a 1 taxón, respectivamente (Figura 5.4-113a).

Con relación a los registros de densidad estimados, se observó un patrón distinto al observado para la variable de riqueza, detectándose las mayores abundancias en el estrato superior del transecto visitado, mientras que el registro más bajo se observó en la zona intermedia de la franja intermareal prospectada. Así, el valor promedio de densidad más alto alcanzó 35 ind·m⁻² dominado principalmente por los caracoles *Echinolittorina peruviana*, la que representa una especie características de este tipo de ambientes (Figura 5.4-113b).

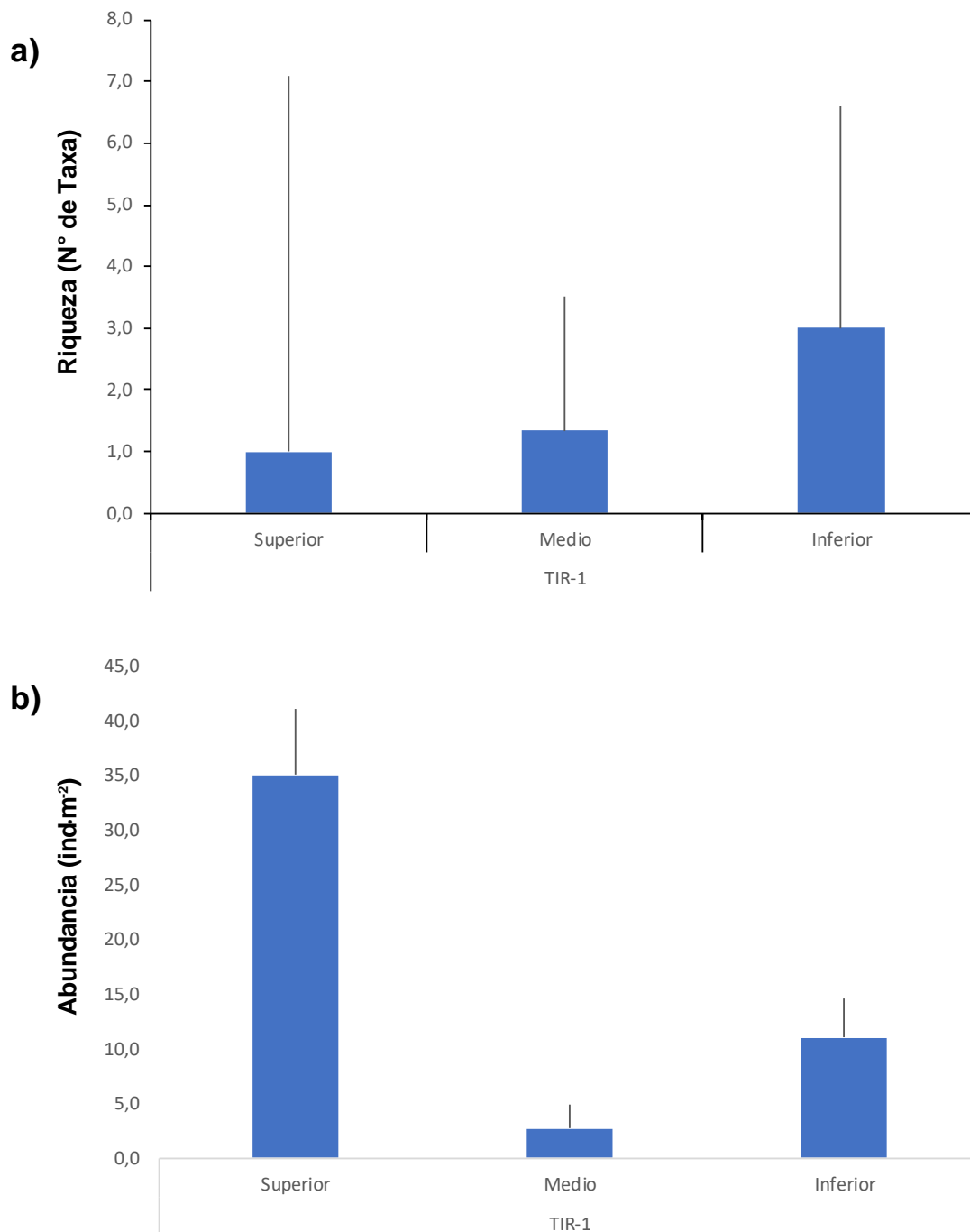


Figura 5.4-113 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos móviles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía San Jorge. Campaña verano 2019.

Con relación a las abundancias relativas, destacó la dominancia en términos generales del grupo de los equinodermos, específicamente los erizos negros (*Tetrapygus niger*) en las zonas inferior e intermedia del transecto visitado. En tanto, en la zona superior destacó para el grupo de organismos móviles la presencia exclusiva de los caracoles *E. peruviana* antes mencionados (Figura 5.4-114). Al igual que lo comentado para los organismos sésiles, todas las especies de organismos móviles identificadas durante la campaña estival poseen un amplio rango de distribución geográfica que excede ampliamente la escala local y regional (Figura 5.4-114).

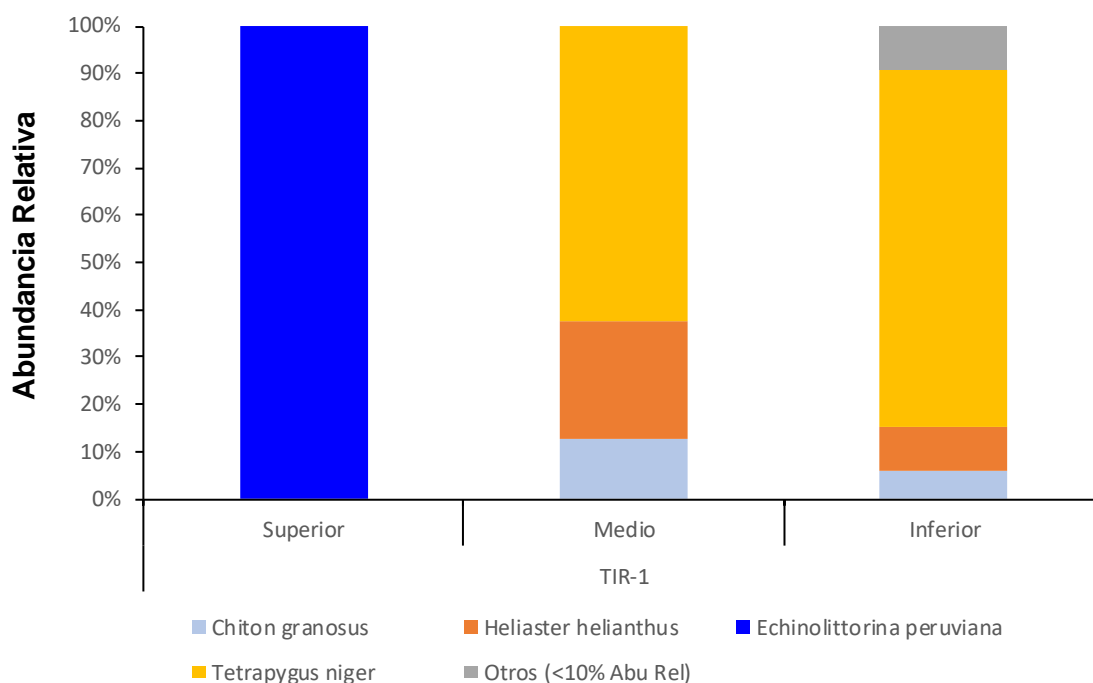


Figura 5.4-114 Abundancia relativa de ensambles de organismos móviles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía San Jorge. Campaña Verano 2019.

- iv. Actualización de la información de calidad de agua, sedimentos y biota de la bahía de San Jorge – Campaña Invierno 2019

La campaña se ejecutó entre el 04 y 08 de septiembre de 2019. A la fecha del terreno no se pudo tener el permiso para entrar a la zona protegida la Rinconada, por lo que la medición del punto BSJ-02 no se pudo llevar a cabo. De la configuración de muestreo establecida en el Plan de Trabajo, se listan a continuación la totalidad de las actividades realizadas.

- **Calidad fisicoquímica agua y sedimento submareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en bahía San Jorge en estaciones BSJ-1@10, excepto en la estación BSJ-02.
- **Calidad fisicoquímica sedimento intermareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en bahía San Jorge en estaciones TI-02,

TI-05, TI-06 y TI-08, muestras ubicadas en playas recreacionales, en acuerdo con la contraparte técnica.

- **Parámetros fisicoquímicos en la vertical:** Lance de sonda CTD en estaciones BSJ-1@10 (excepto en la estación BSJ-02) para el muestreo de la columna vertical de agua de parámetros físicos: clorofila, conductividad, densidad, potencial redox, oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura y turbidez. Se incorporan datos de disco Secchi durante el lance de la sonda para análisis de visibilidad de fondo.
- **Comunidades planctónicas:** Muestreo de comunidades planctónicas en superficie y profundidad, en estaciones BSJ-1@10 (excepto en la estación BSJ-02).
- **Comunidades bentónicas:** Muestreo de la infauna para la caracterización de comunidades bentónicas, en estaciones BSJ-1@10 (excepto en la estación BSJ-02).

El punto BSJ-02, no se pudo llevar a cabo por ubicarse al interior de la reserva marina La Rinconada. Al respecto, se tramitó el permiso de pesca de investigación con la SUBPESCA, trámite que excepcionalmente tomó un tiempo excesivo de ejecución, en primera instancia por un cambio interno en la SUBPESCA con respecto a la forma de la solicitud, pasó de solicitud física a solicitud digital, con inconvenientes en su plataforma para ingresar el listado de especies. Solucionados los inconvenientes digitales, el proceso de solicitud coincidió con el 18 de octubre de 2019, fecha en la cual todos los servicios públicos vieron retrasadas sus labores en función de la situación país (Manifestaciones sociales durante los meses siguientes). No se pudo obtener el permiso de pesca para ingresar al área a tomar las muestras en la estación de primavera.

La ubicación de los puntos de muestreo correspondió a los mismos de la campaña anterior (Figura 5.4-17 y Figura 5.4-18).

a) Resultados de muestras de calidad química de agua y sedimento invierno 2019

· Calidad de agua

En la columna de agua de bahía San Jorge, se registraron parámetros in-situ (pH, y conductividad). Además, en laboratorio se analizaron parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales y turbidez); nutrientes (amonio y fósforo total); parámetros biológicos (coliformes totales, fecales y DBO5); metales disueltos (aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc); y otros parámetros de importancia ambiental (aceites y grasas, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos totales). A continuación, se describen en mayor detalle los parámetros in-situ y los seis metales identificados como agentes potencialmente contaminantes en el Objetivo específico 2. El resto de los resultados se presentan en: Anexos_digitales\04_OE3\2_Base_datos_Agua_Sedimentos.

En general, las aguas presentaron conductividades espacialmente homogéneas. La mayor conductividad de 53600 uS/cm se registró en el punto BSJ-03, estrato superficial, mientras que la mínima de 52600 uS/cm se registró en el estrato superficial de BSJ-08 (Tabla 5.4-36).

Las aguas de la bahía San Jorge fueron clasificadas, en general, entre moderadamente alcalinas y neutras (Hounslow, 1995) en función del pH y se encontraron dentro de los rangos establecidos en la normativa internacional EPA (2009), sin observar efectos adversos de largo plazo (reproducción) en organismos expuestos de manera continua, es decir sin un riesgo crónico, como también dentro del rango establecido en la norma canadiense CCME (2007), lo cual indicaría que no se producirían efectos crónicos en los organismos, clasificando las aguas como aptas para la vida acuática (Tabla 5.4-36).

Tabla 5.4-36 Parámetros in situ medidos en invierno de 2019. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo	Conductividad (uS/cm)	pH (unidad)	Turbidez (NTU)
BSJ-01-S	53500	8,15	0,49
BSJ-01-F	53400	8,1	0,58
BSJ-02-S	-	-	-
BSJ-02-F	-	-	--
BSJ-03-S	53600	8,47	0,87
BSJ-03-F	53500	8,04	1,08
BSJ-04-S	53200	7,83	0,96
BSJ-04-F	53300	7,65	0,53
BSJ-05-S	53300	8,44	0,16
BSJ-05-F	53100	7,98	1,11
BSJ-06-S	53200	8,14	0,38
BSJ-06-F	53100	7,68	0,60
BSJ-07-S	53000	8,36	0,44
BSJ-07-F	53100	7,71	0,40
BSJ-08-S	52600	8,05	2,16
BSJ-08-F	53100	7,65	1,36
BSJ-09-S	53300	7,88	1,06
BSJ-09-F	53300	7,84	1,28
BSJ-10-S	53400	7,85	0,70
BSJ-10-F	53400	7,69	0,50
Decreto N°144, 2009			
	-	-	-
EPA, 2009 (US)	CMC	-	-
	CCC	-	6,5 - 8,5
CCME, 2007 (Canadá)			
	-	7,0 - 8,7	-
Australia y Nueva Zelanda (2000)			
	-	8-8,4	-

La concentración de arsénico disuelto varió entre bajo el límite de detección (<0,005 mg/L), en la mayoría de los puntos de muestreo, y 0,032 mg/L en BSJ-05, estrato superficial, valores que se encontraron bajo los criterios normativos (Tabla 5.4-37). El mismo comportamiento

se observó con el cadmio disuelto, en donde todos los puntos de muestreo presentaron concentraciones bajo el límite de detección (0.001 mg/L) (Tabla 5.4-37).

La concentración de cobre disuelto varió entre bajo el límite de detección (<0,003 mg/L), en la mayoría de los puntos de muestreo, y 0,004 mg/L en BSJ-01, estrato fondo. La concentración de cobre se encontró bajo los criterios de la EPA, mientras que para la los criterios de CCME (2007) y la normativa de Australia y Nueva Zelanda no se puede determinar el cumplimiento ya que los límites de detección son mayores a los criterios establecidos (Tabla 5.4-37).

La concentración de mercurio disuelto se encontró bajo el límite de detección (<0.001 mg/L) en todos los puntos de muestreo, concentraciones que se encontraron bajo el criterio CMC de la EPA (2009). Mientras que para el criterio CCC de la EPA (2009) y la normativa de Australia y Nueva Zelanda no se puede determinar el cumplimiento ya que los límites de detección son mayores a los criterios establecidos (Tabla 5.4-37).

Las concentraciones de plomo disuelto se encontraron bajo el límite de detección (<0.008 mg/L) en todos los puntos de muestreo, mientras que las concentraciones de zinc disuelto variaron entre bajo el límite de detección (0.002 mg/L) y 0.006 mg/L en BSJ-10, estrato fondo. Las concentraciones de plomo y zinc disueltos se encontraron bajo los criterios de la EPA (2009). Mientras que para la normativa de Australia y Nueva Zelanda no se puede determinar el cumplimiento ya que los límites de detección son mayores a los criterios establecidos (Tabla 5.4-37).

Tabla 5.4-37: Metales disueltos medidos en la campaña de invierno de 2019. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo	Arsénico disuelto (mg/L)	Cadmio disuelto (mg/L)	Cobre disuelto (mg/L)	Mercurio disuelto (mg/L)	Plomo disuelto (mg/L)	Zinc disuelto (mg/L)
BSJ-01-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-01-F	<0,005	<0,001	0,004	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-02-S	-	-	-	-	-	-
BSJ-02-F	-	-	-	-	-	-
BSJ-03-S	0,014	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-03-F	0,018	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-04-S	0,007	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,003
BSJ-04-F	0,006	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,002
BSJ-05-S	0,032	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-05-F	0,011	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-06-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002

Punto de muestreo	Arsénico disuelto (mg/L)	Cadmio disuelto (mg/L)	Cobre disuelto (mg/L)	Mercurio disuelto (mg/L)	Plomo disuelto (mg/L)	Zinc disuelto (mg/L)	
BSJ-06-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,003	
BSJ-07-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002	
BSJ-07-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002	
BSJ-08-S	0,012	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002	
BSJ-08-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002	
BSJ-09-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002	
BSJ-09-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,002	
BSJ-10-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,003	
BSJ-10-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	0,006	
Decreto N°144, 2009	-	-	-	-	-	-	
EPA, 2009 (US)	CMC	0,069	0,04	0,0048	0,0018	0,21	0,09
	CCC	0,036	0,0088	0,0031	0,00094	0,0081	0,081
CCME, 2007 (Canadá)	12,5	0,0125	0,00012	-	-	-	
Australia y Nueva Zelanda (2000)	-	-	0,0007	0,0003	0,0001	0,0022	

· Calidad del sedimento submareal e intermareal

En los sedimentos submareales de bahía San Jorge, se analizó la granulometría de los sedimentos; hidrocarburos (hidrocarburos totales, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos aromáticos totales); y metales (aluminio, arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel y plomo). A continuación, se describen en mayor detalle aquellos seleccionados como agentes contaminantes en el Objetivo específico 2. El resto de los resultados se presentan en: Anexos digitales\04_OE3\2_Base_datos_Agua_Sedimentos.

Los sedimentos submareales presentaron concentraciones de arsénico entre 1.10 mg/kg en el punto BSJ-01 y 20.63 mg/kg en BSJ-04. Los intermareales variaron entre 2.25 mg/kg y 3.42 mg/kg en TI-02 y TI-06, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Los puntos BSJ-04 y BSJ-05, superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50% (CCME, 2002) (Tabla 5.4-38 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge).

La concentración de cadmio en los sedimentos submareales varió de <0.1 mg/kg a 1.9 mg/kg en BSJ-01/BSJ-03/BSJ-06/BSJ-08/BSJ-09/BSJ-10 y BSJ-05, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales fueron de <0.1 mg/kg para todos los puntos de muestreo

intermareales. Especialmente, las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Los puntos BSJ-04 y BSJ-05, superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50% (CCME, 2002) (Tabla 5.4-38 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge).

La concentración de cobre en los sedimentos submareales varió de 12.3 mg/kg a 993.4 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-04, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 11.4 mg/kg a 23.3 mg/kg en TI-02 y TI-08, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Desde los puntos BSJ-03 al BSJ-10, incluyendo a los puntos TI-05 y TI-06, las concentraciones superaron el criterio ISQG. Y de estos, los puntos BSJ-04 y BSJ-05 superaron el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentes sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-38 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge).

La concentración de mercurio en los sedimentos submareales varió de <0.01 mg/kg a 0.18 mg/kg en BSJ-01/BSJ-03/BSJ-08 y BSJ-07, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron todos bajo el límite de detección salvo el punto TI-08 con 0.02 mg/kg. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Sólo los puntos BSJ-05 y BSJ-07 superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50% (CCME, 2002) (Tabla 5.4-38 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge).

La concentración de plomo en los sedimentos submareales varió de 0.5 mg/kg a 102.1 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-05, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 0.5 mg/kg a 28.4 mg/kg en TI-02 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Para los puntos BSJ-04 y BSJ-05, se superó el criterio ISQG, mientras que el criterio PEL no fue superado en esta campaña (Tabla 5.4-38 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge).

La concentración de cinc en los sedimentos submareales varió de 12.0 mg/kg a 296.0 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-05, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 0.5 mg/kg a 28.4 mg/kg en TI-02 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. En los puntos BSJ-04 y BSJ-5, las concentraciones superaron el criterio ISQG. Además, sólo en BSJ-05 se superó el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-38 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge).

La concentración de vanadio en los sedimentos submareales varió de 20.3 mg/kg a 65.3 mg/kg en BSJ-05 y BSJ-04, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 20.0 mg/kg a 39.0 mg/kg en TI-02 y TI-08, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. No existe criterio para este parámetro (CCME, 2002) (Tabla 5.4-38 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge).

Tabla 5.4-38 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge, con fondo gris valores que superan criterio ISQG, en cursiva valores que superan el criterio PEL.

Punto de muestreo	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Vanadio (mg/kg)	
Submareal	BSJ-01	1,1	<0,1	12,3	0,01	<0,5	12	38
	BSJ-02	-	-	-	-	-	-	-
	BSJ-03	3,81	<0,1	27,2	<0,01	12,2	48	45,8
	BSJ-04	20,63	0,9	993,4	0,11	102	262	65,3
	BSJ-05	8,64	1,9	321,9	0,16	102,1	296	20,3
	BSJ-06	3,48	<0,1	36,4	0,1	21,3	94	32,6
	BSJ-07	3,62	0,5	56,2	0,18	20,6	86	24,5
	BSJ-08	3,62	<0,1	24,5	<0,01	9,8	41	41,5
	BSJ-09	3	<0,1	36,8	0,02	7,7	18	28,2
	BSJ-10	1,47	<0,1	41,6	0,04	4,8	17	21,5
Intermareal	TI-02	2,25	<0,1	11,4	<0,01	<0,5	20	20
	TI-05	3,04	<0,1	19	0,01	28,4	44	26,8
	TI-06	3,42	<0,1	15,1	<0,01	5,2	29	26,6
	TI-08	2,77	<0,1	23,3	0,02	6,5	19	39
CCME, 2002 (Canadá)	ISQG	7.24	0.7	18.7	0.13	30.2	124	-
	PEL	41.6	4.2	108	0.70	112	271	-

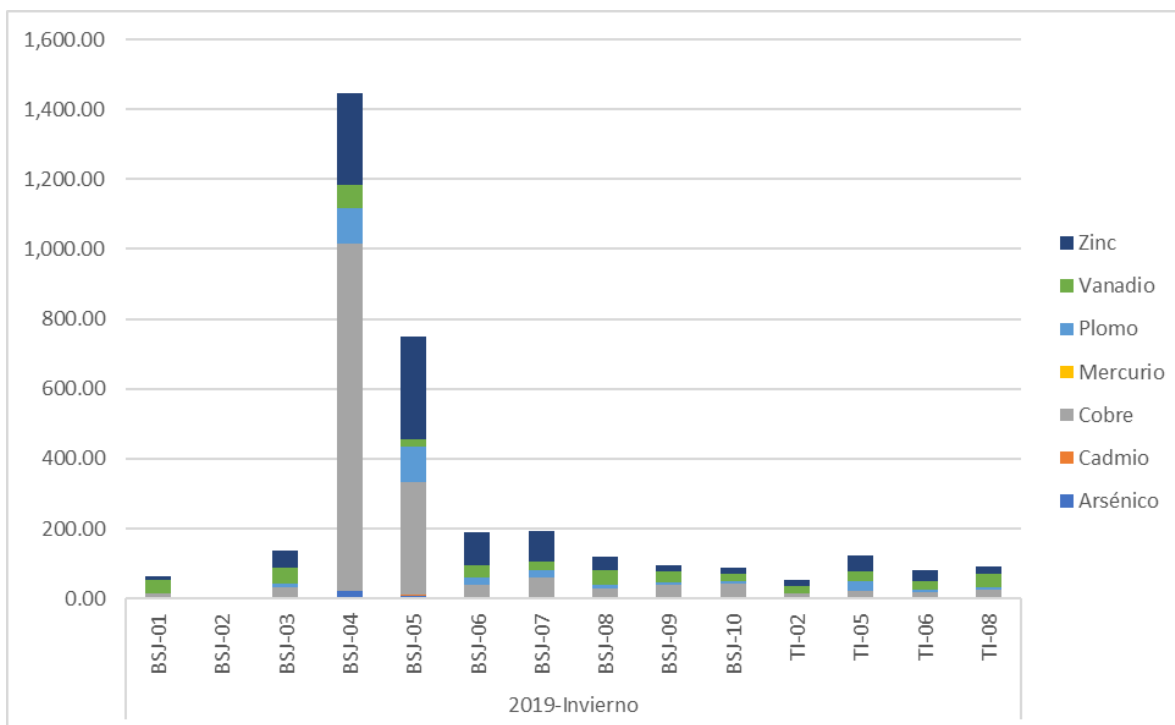


Figura 5.4-115 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge.

A continuación, en la Tabla 5.4-42, se presentan los valores de hidrocarburos y materia orgánica total en sedimentos, correspondientes a la campaña de monitoreo de invierno de 2019.

Tabla 5.4-39 Hidrocarburos y materia orgánica medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña invierno de 2019. Bahía San Jorge.

Estrato	Punto de monitoreo	Hidrocarburos totales (mg/kg)	Materia Orgánica Total (%)
Submareal	BSJ-01	9.80	0.00
	BSJ-02	-	0.00
	BSJ-03	9.80	0.00
	BSJ-04	9.70	0.00
	BSJ-05	9.30	0.00
	BSJ-06	9.50	0.00
	BSJ-07	9.50	0.00
	BSJ-08	9.60	0.00
	BSJ-09	9.30	0.00
	BSJ-10	9.70	0.00
Intermareal	TI-02	9.60	0.00
	TI-05	9.80	0.00
	TI-06	9.20	0.00
	TI-08	9.70	0.00

(-) valor no registrado.

b) Parámetros fisicoquímicos en el vertical invierno 2019

Para poder realizar una caracterización de los parámetros fisicoquímicos en la columna vertical del cuerpo de agua, se realizó mediciones mediante la sonda CTD, en los puntos BSJ definidos en el plan de trabajo. Con los resultados de estos 10 perfiles verticales, se llevó a cabo un análisis estadístico cuyos resultados se grafican desde la Figura 5.4-20 hasta la Figura 5.4-28. En cada gráfico se generó bandas o “cajas” cuyos límites representan los percentiles 25 y 75 de cada distribución. Además, la marca central (en rojo) indica la mediana, mientras que los signos “+” representan valores atípicos de la muestra. Este análisis se realiza con los resultados de concentración de clorofila, conductividad, densidad, potencial redox, Oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura y turbidez.

· Clorofila

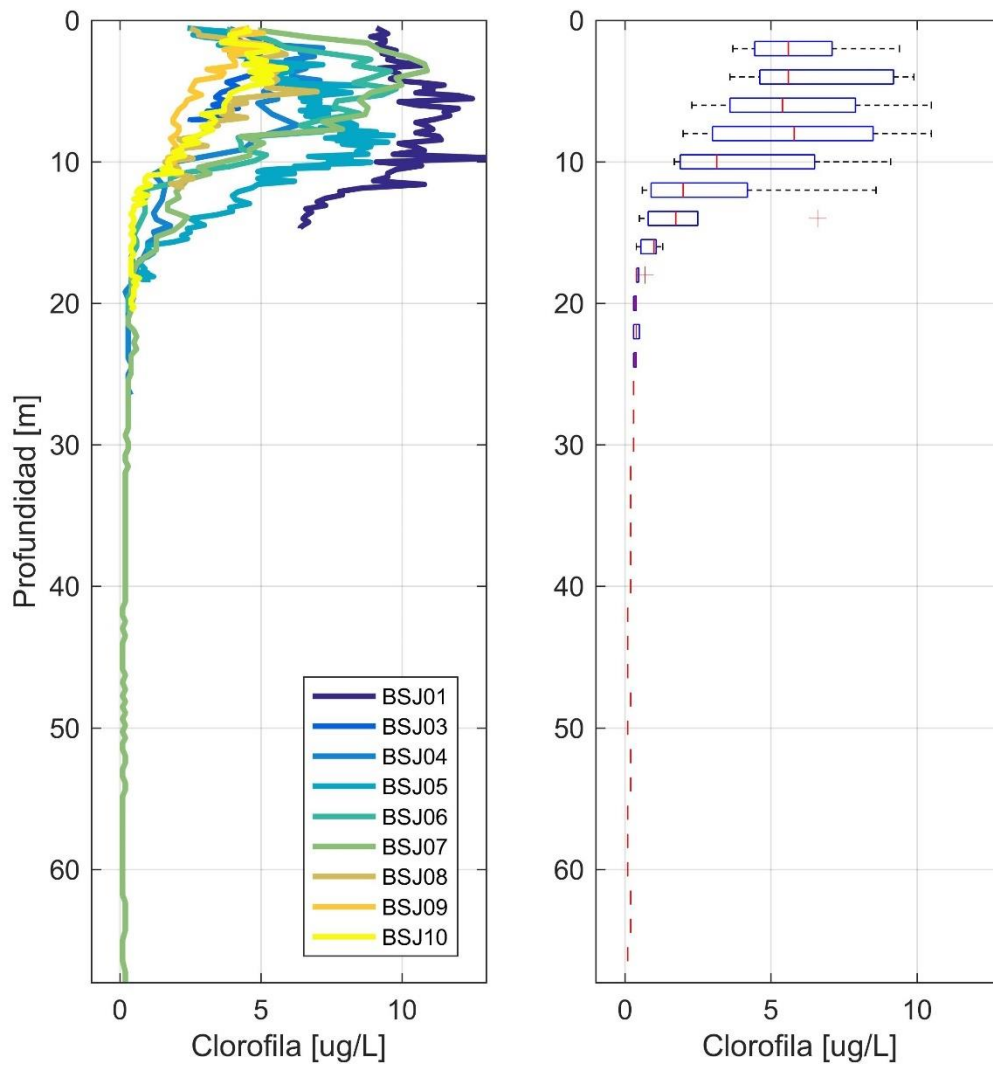


Figura 5.4-116: Perfiles de Clorofila en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Conductividad

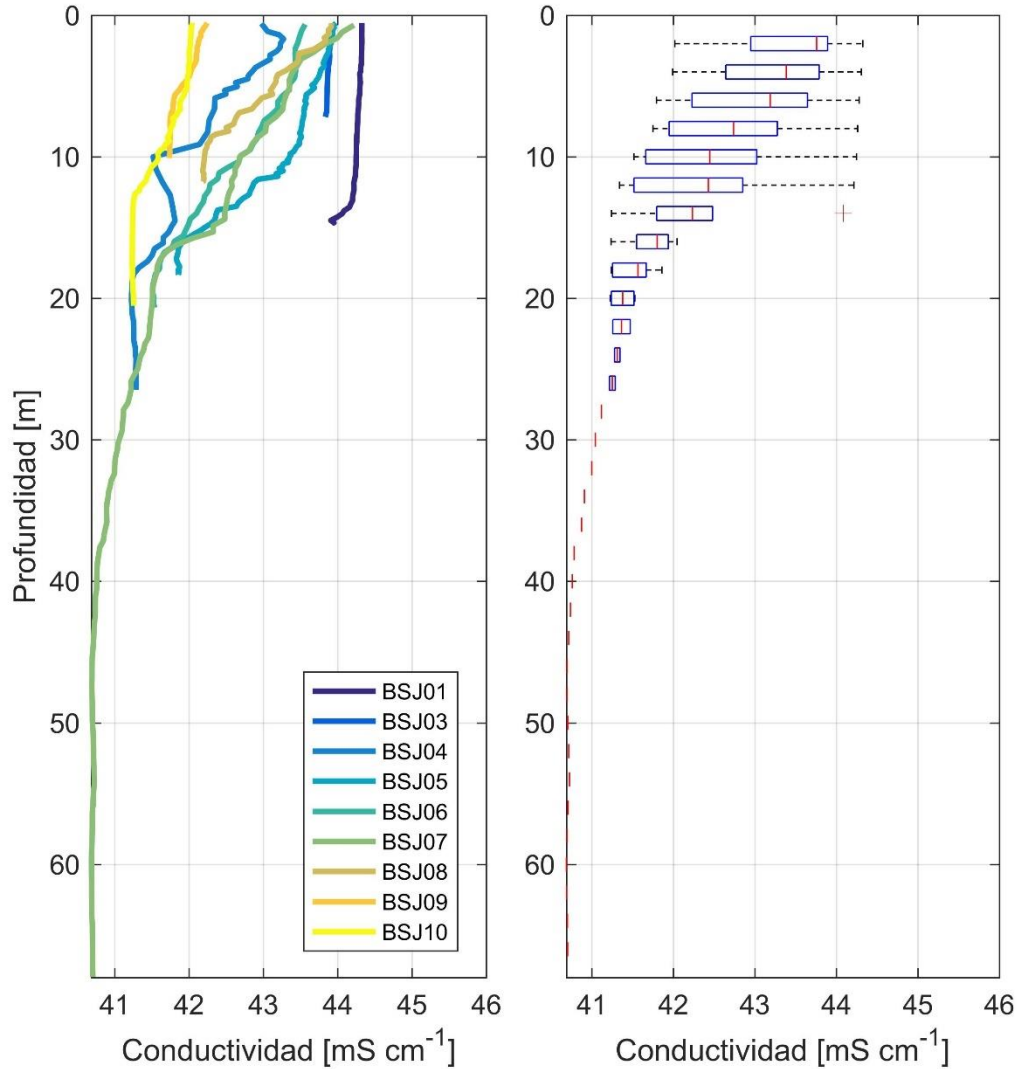


Figura 5.4-117: Perfiles de Conductividad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Densidad

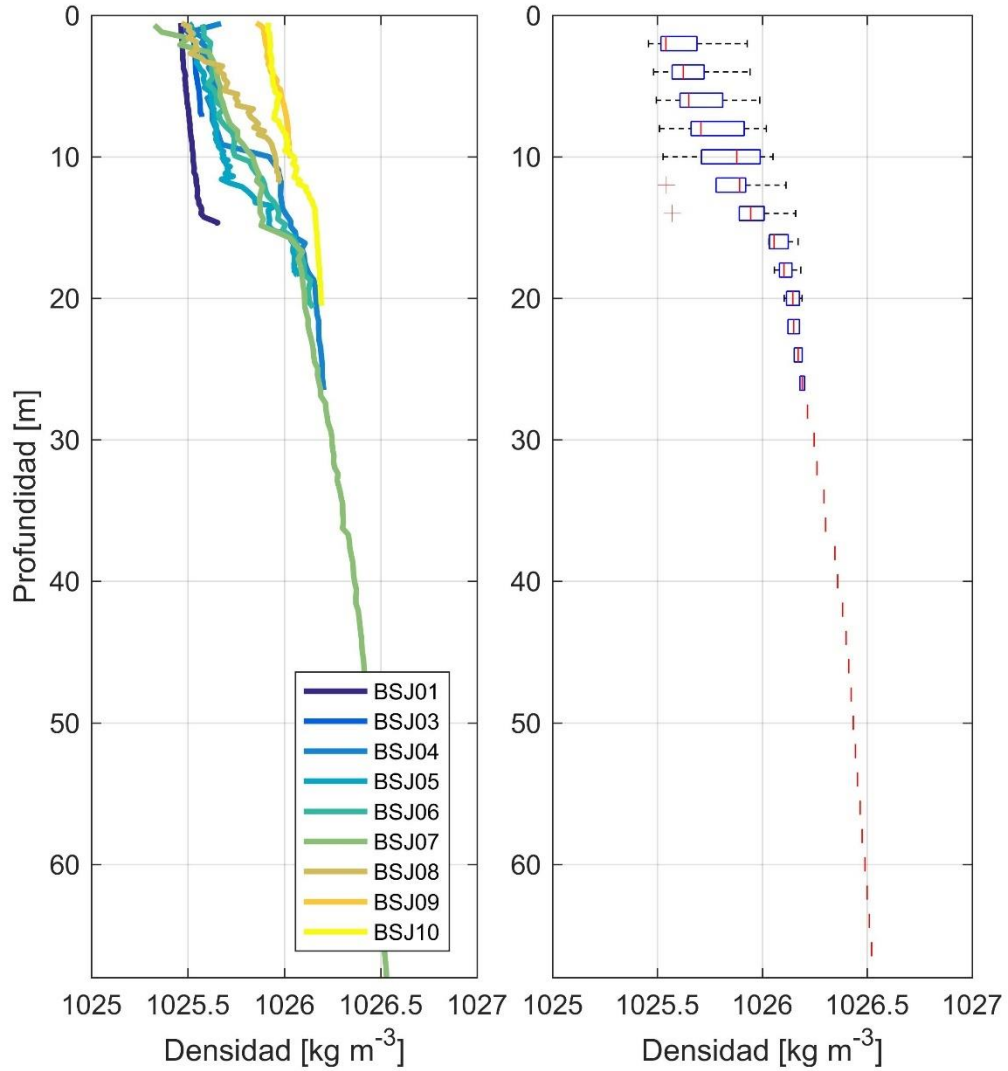


Figura 5.4-118 Perfiles de Densidad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Potencial Redox

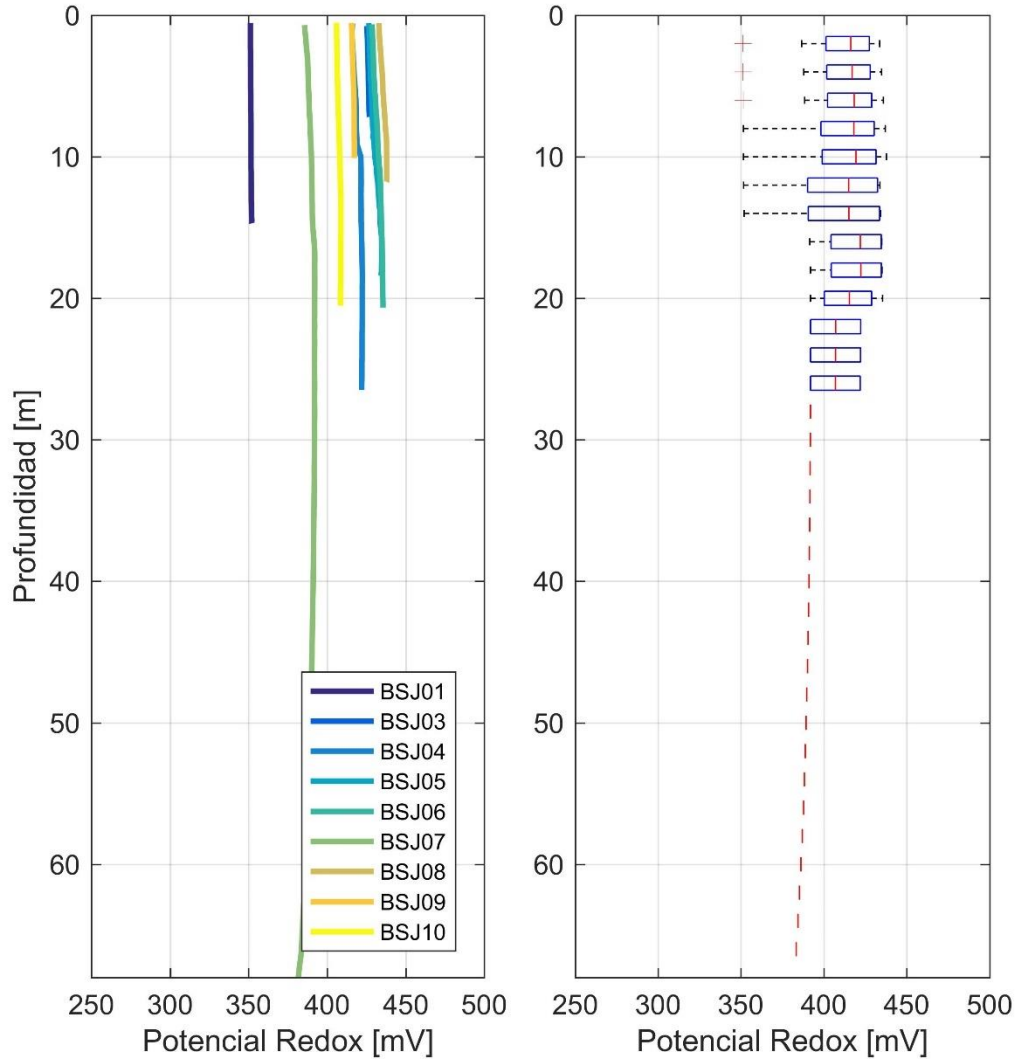


Figura 5.4-119: Perfiles de Potencial Redox en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Oxígeno Disuelto

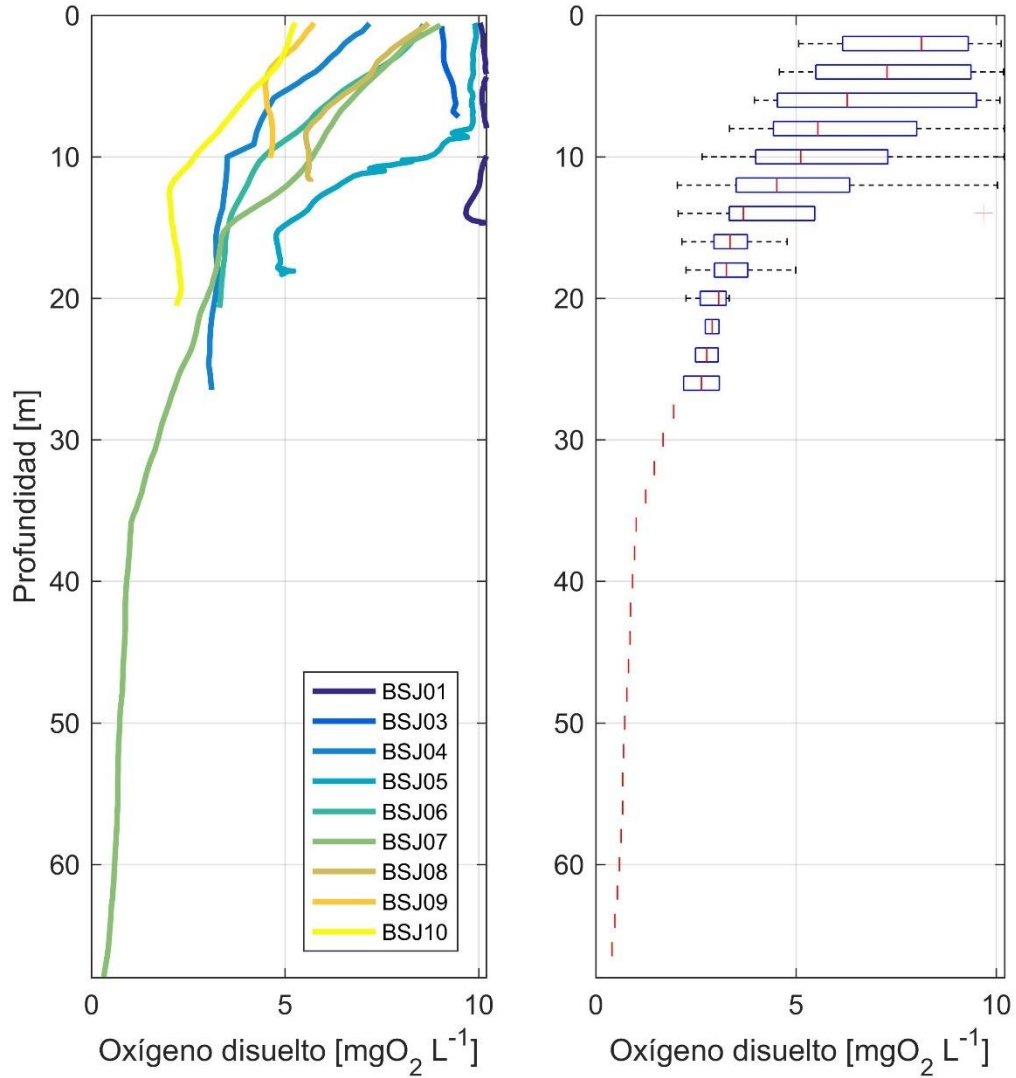


Figura 5.4-120: Perfiles de Oxígeno disuelto en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

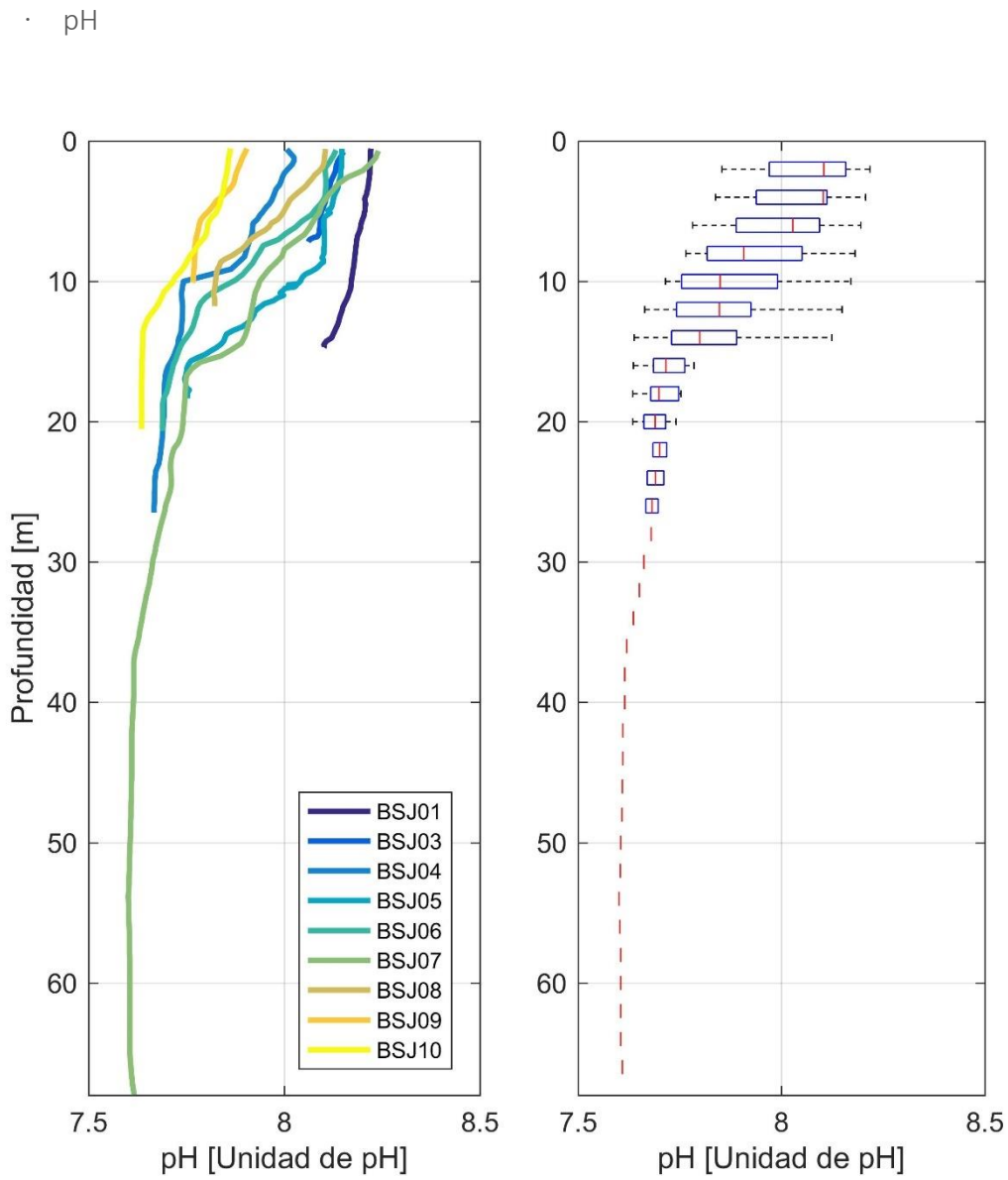


Figura 5.4-121: Perfiles de pH en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Salinidad

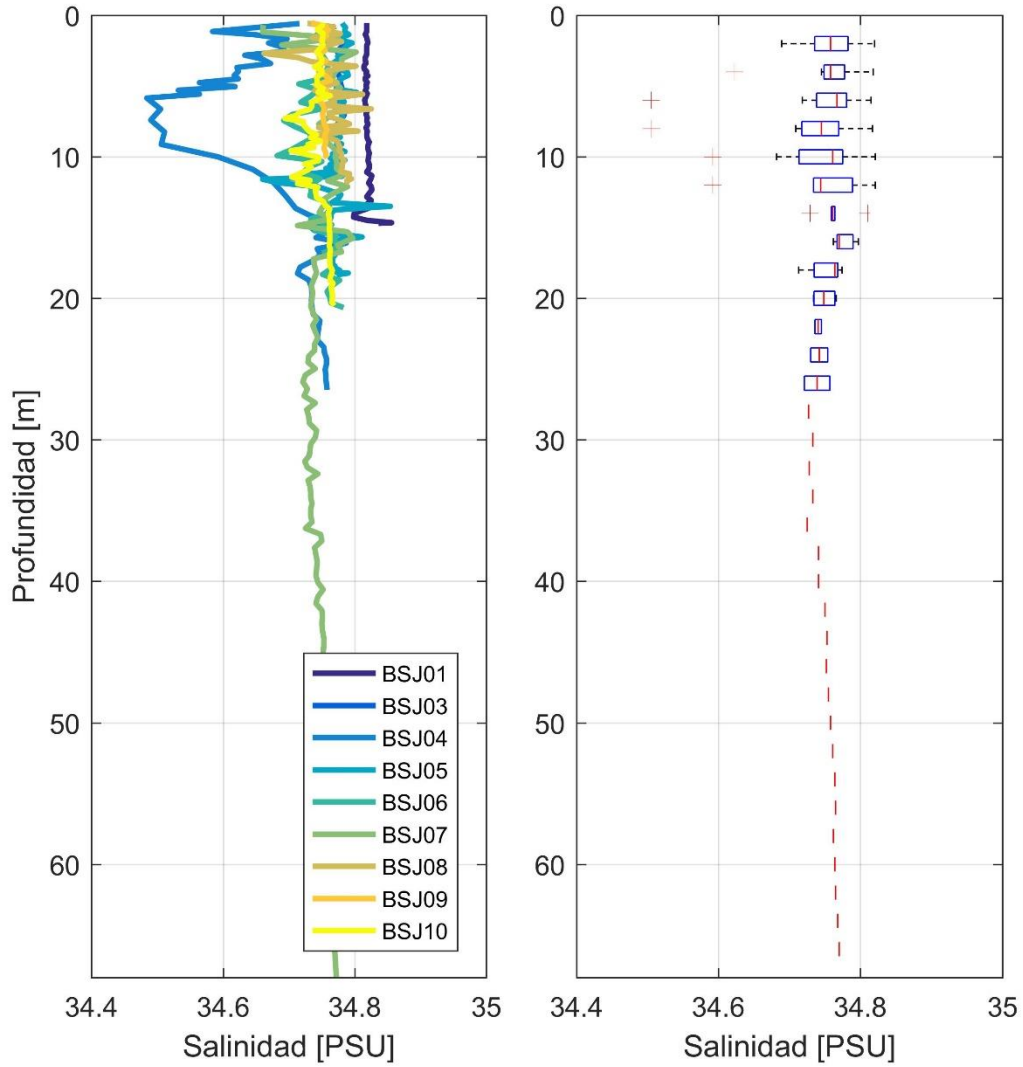


Figura 5.4-122: Perfiles de Salinidad en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Temperatura

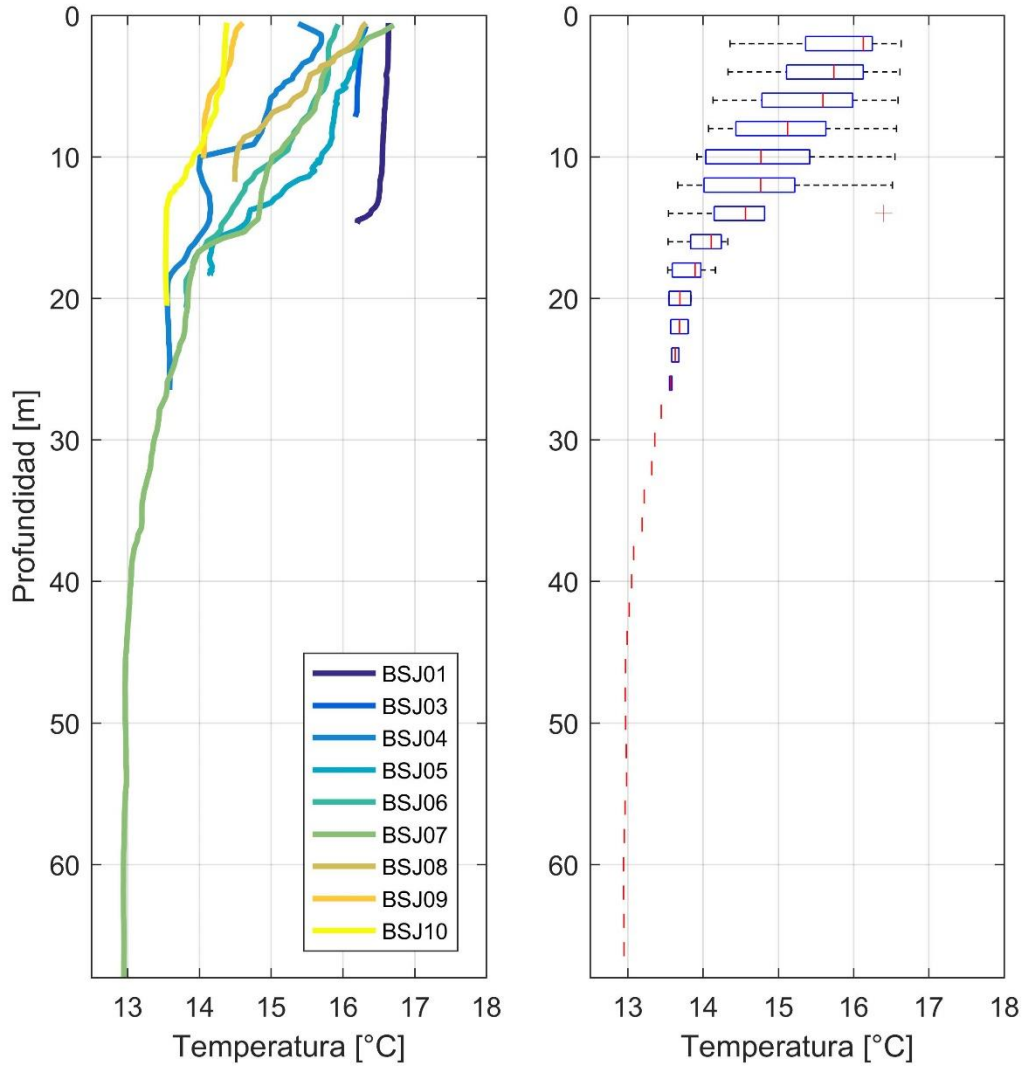


Figura 5.4-123: Perfiles de Temperatura en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

· Turbidez

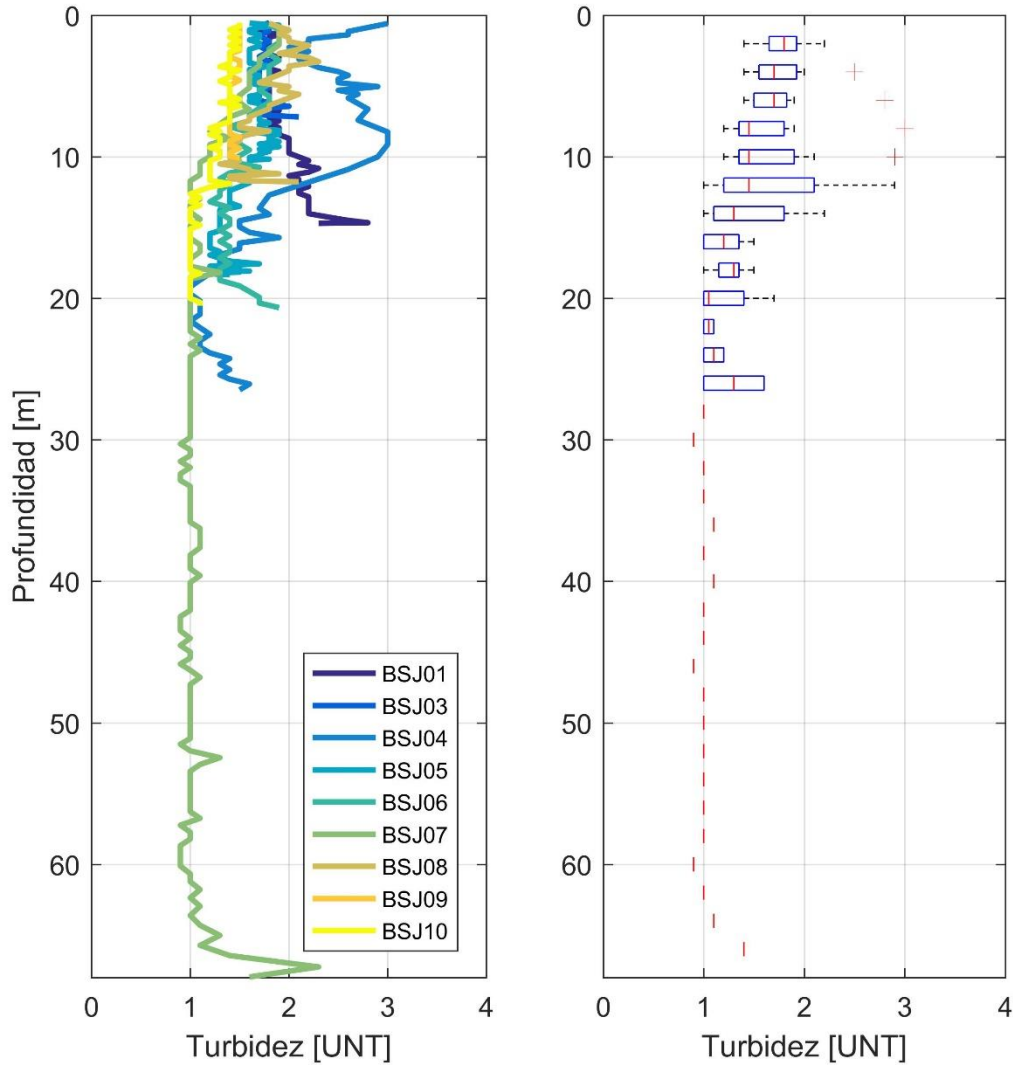


Figura 5.4-124: Perfiles de Turbidez en los distintos puntos de muestreo BSJ, obtenidos a partir del equipo CTD, verano 2019.

c) Resultados de muestras de la matriz biológica invierno 2019

· Fitoplancton

El análisis cualitativo indicó que la composición de fitoplancton durante invierno 2019 estuvo representada principalmente por el grupo de diatomeas con un total de 45 taxa, mientras que el grupo de dinoflagelados registró una presencia de 35 taxa y el grupo de los

silicoflagelados estuvo representado por 2 taxa. Al analizar la composición taxonómica, los resultados indicaron que los taxa fitoplanctónicos que presentaron los índices de abundancia relativa en categoría “Muy Abundante” alcanzaron 38 grupos taxonómicos, destacando los dinoflagelados *Protoperidinium conicum*, *Protoperidinium spp.* y *Tripod furca*, ambos con mayor abundancia en 9 puntos de muestreo (Tabla 5.4-40).

Tabla 5.4-40 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) para la comunidad de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

Taxa/Puntos de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
Diatomeas										
<i>Actinoptychus senarius</i>			R		A				A	A
<i>Asterionella sp.</i>					E	E				
<i>Asterionellopsis sp.</i>									E	
<i>Asteromphalus sp.</i>	A		E	A	A	R			M	A
<i>Bacteriastrium sp.</i>			R	R	R				E	R
<i>Chaetoceros compressus</i>										E
<i>Chaetoceros constrictus</i>										R
<i>Chaetoceros convolutus</i>									M	E
<i>Chaetoceros curvisetus</i>									E	
<i>Chaetoceros spp.</i>	A		R	E					M	M
<i>Chaetoceros teres</i>									A	A
<i>Cocconeis sp.</i>									R	
<i>Corethron sp.</i>	A		E	E	A			E	M	M
<i>Coscinodiscus perforatus</i>					E	E	E	E		
<i>Coscinodiscus spp.</i>	M		A	A	A	A	A	A	M	A
<i>Cymbella sp.</i>	R								R	
<i>Ditylum brightwellii</i>										E
<i>Ditylum sp.</i>					R					
<i>Entomoneis sp.</i>	M			R					M	M
<i>Eucampia sp.</i>	A								M	M
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	M		A	A	A	R	A	A	M	M
<i>Grammatophora marina</i>	E			E	E	E		E		
<i>Guinardia sp.</i>	A			R					M	M
<i>Leptocylindrus sp.</i>	A			A	E				M	M
<i>Licmophora sp.</i>				R					R	
<i>Lithodesmium sp.</i>	A		A	A	A	A	A	A	M	M
<i>Melosira sp.</i>									E	A
<i>Navicula sp.</i>									E	A
<i>Nitzschia longissima</i>	E								R	

Taxa/Puntos de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
<i>Nitzschia sp.</i>				E					M	A
<i>Odontella sp.</i>			A	E	E	R				
<i>Planktoniella sol</i>	A		A	A	A	A	A	A	M	M
<i>Pleurosigma sp.</i>	A		A	A	A	A	A	A	A	M
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>									M	M
<i>Pseudonitzschia seriata</i>									M	
<i>Pseudonitzschia spp.</i>									M	
<i>Rhabdonema sp</i>										R
<i>Rhizosolenia setigera</i>	E								M	M
<i>Rhizosolenia sp.</i>	A			A				R	M	A
<i>Skeletonema sp.</i>										R
<i>Stephanopyxis spp.</i>									M	M
<i>Surirella sella</i>	E							E		
<i>Thalassionema nitzschioides</i>									M	M
<i>Thalassionema sp.</i>	A		E	A	A	A	A	A		
<i>Thalassiosira sp.</i>	M		A	A	A	A	A	A	M	M
Dinoflagelados										
<i>Amphidinium sp.</i>			A							
<i>Dinophysis acuminata</i>	M		M	A	M	M	M	A	M	M
<i>Dinophysis acuta</i>									R	
<i>Dinophysis caudata</i>	M		M	A	A	E	A	E		M
<i>Dinophysis rotundata</i>									E	
<i>Diplopsalis sp.</i>	M		M	M	M	M	M	M	E	M
<i>Dissodinium sp.</i>			R	R				R		
<i>Gonyaulax sp.</i>	A				E	E	E		M	M
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	E								E	E
<i>Gymnodinium spp.</i>	M							R	M	M
<i>Gyrosigma sp.</i>					E	E				
<i>Heterocapsa sp.</i>									E	
<i>Heterocapsa triquetra</i>	R									
<i>Ornithocercus sp</i>					R	R			E	E
<i>Oxytoxum sp.</i>	E									
<i>Polikrikos sp.</i>	E									
<i>Prorocentrum micans</i>					R		R		M	E
<i>Prorocentrum sp.</i>										A
<i>Protoperidinium claudicans</i>									M	M
<i>Protoperidinium conicum</i>	M		M	M	M	M	M	M	M	M

Taxa/Puntos de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
<i>Protoperidinium depressum</i>					R	R				
<i>Protoperidinium oblongum</i>	M		E	E					E	M
<i>Protoperidinium pellucidum</i>									A	M
<i>Protoperidinium spp.</i>	M		M	M	M	M	M	M	M	M
<i>Protoperidinium steinii</i>	M		M	A	E	E	A	E	A	E
<i>Pyrophacus sp.</i>	E		A						E	E
<i>Tripos balechii</i>	M		M	A	A	M	M	M	M	M
<i>Tripos furca</i>	M		M	M	M	M	M	M	M	M
<i>Tripos fusus</i>	E									
<i>Tripos horridus</i>										R
<i>Tripos limulus</i>	E									
<i>Tripos lineatus</i>	M				M	M	M	M	M	M
<i>Tripos muelleri</i>									E	
<i>Tripos pentagonus</i>								R		R
<i>Tripos spp.</i>	E		A	E	E		E	R		R
Silicoflagelados										
<i>Dictyocha fibula</i>	M		M	E	A	A	E	A	M	A
<i>Dictyocha speculum</i>	E				E	R		R	E	A

En cuanto al análisis cuantitativo de fitoplancton se registró un total de 73 taxa, de los cuales 72 correspondieron al grupo de las diatomeas y solo 1 taxón a dinoflagelados. Los valores de riqueza a nivel espacial fueron más bien similares donde el mayor número de taxa se registró en el punto BSJ-09 con 39 taxa en el estrato fondo. En cambio, la abundancia registró valores más bien irregulares entre puntos de muestreo y estratos evaluados, donde el mayor valor se registró en el punto BSJ-07 en el estrato superficie con 594.260 cel/L (Figura 5.4-125).

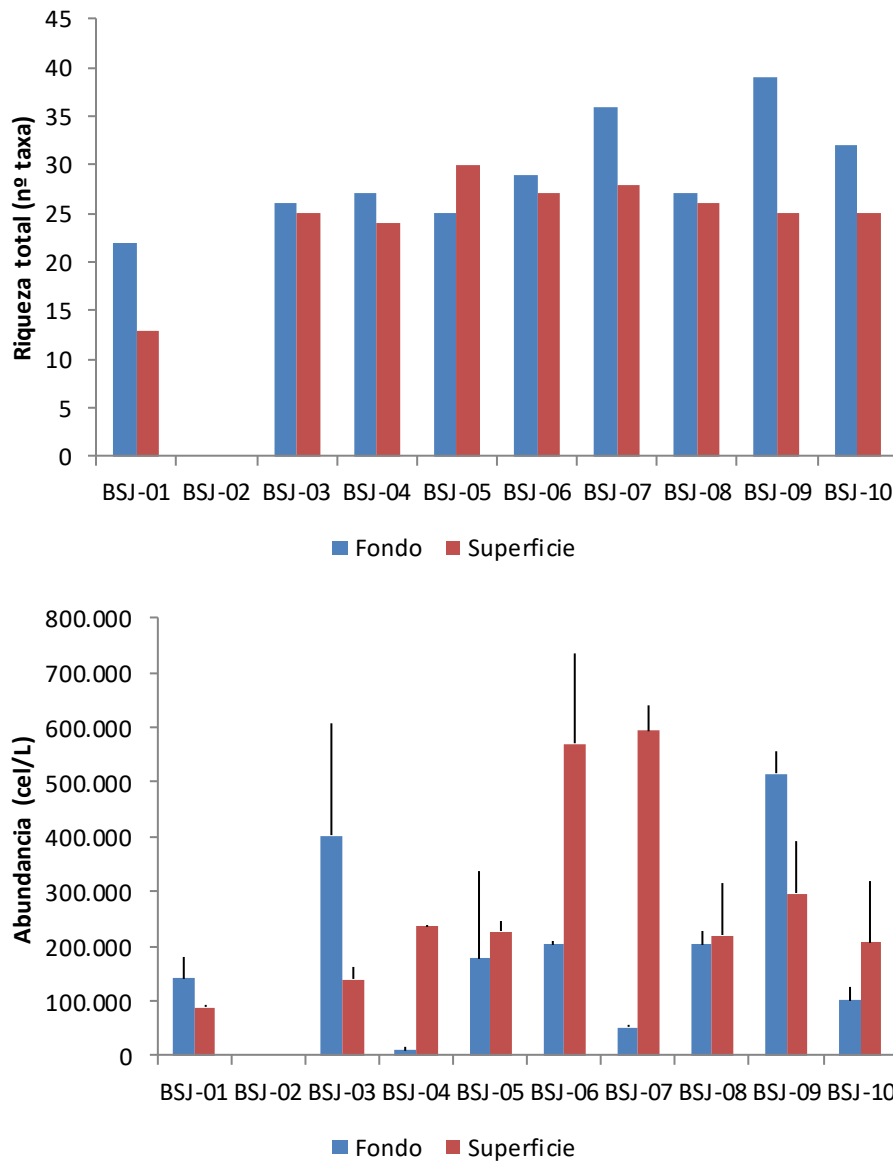


Figura 5.4-125 Riqueza tota y abundancia de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

La composición de fitoplancton estuvo representada mayoritariamente por especies pertenecientes al grupo de las diatomeas, con alta variabilidad de dominancias entre puntos de muestreo y estratos. La mayor frecuencia de ocurrencia la registró el género *Entomoneis* sp. en ambos estratos, seguido de *Leptocylindrus* sp. en el estrato superficie y *Guinardia* sp. en el estrato fondo (Figura 5.4-126).

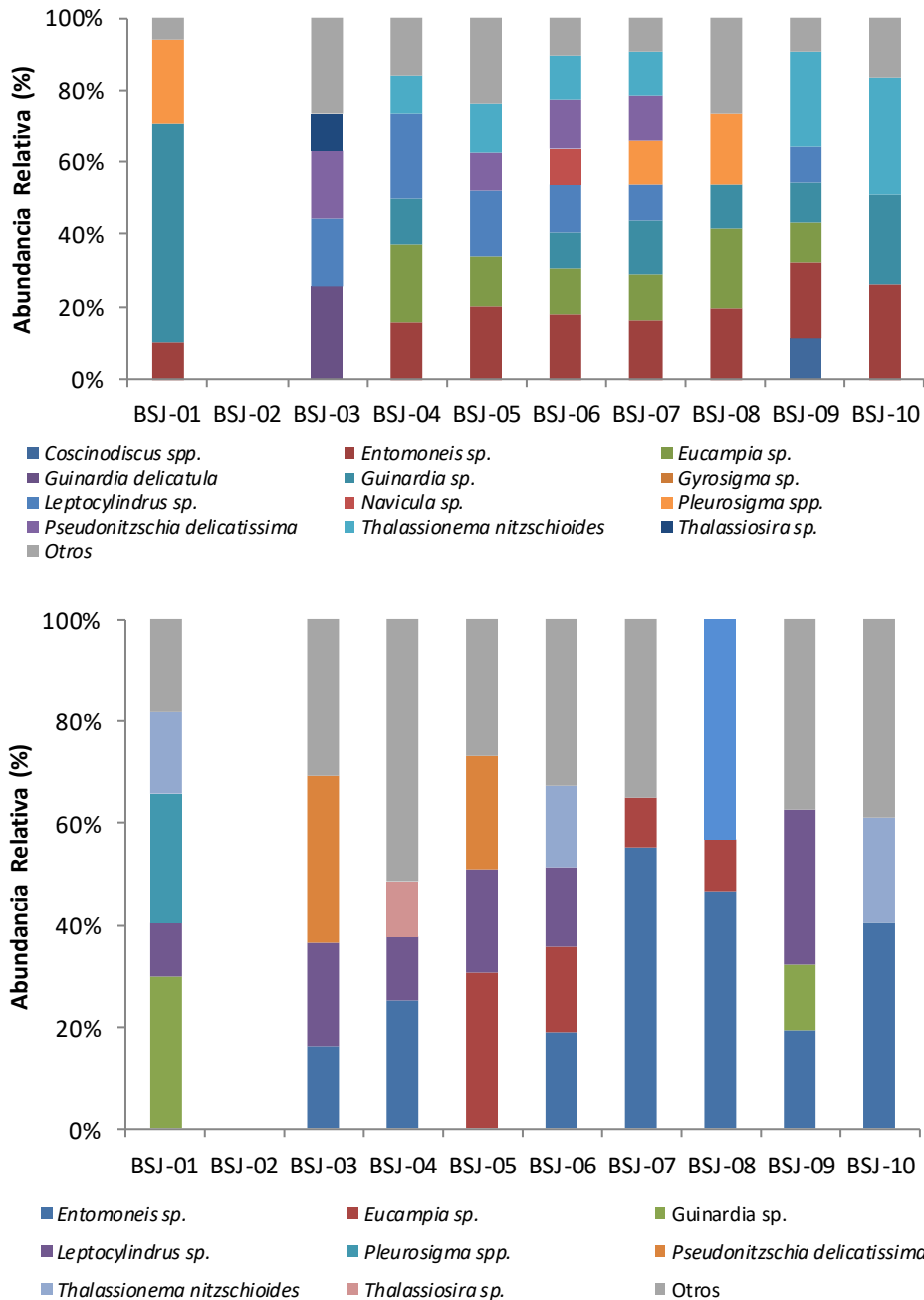


Figura 5.4-126 abundancia relativa (%) de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

La estructura de la comunidad de fitoplancton estuvo representada por una alta diversidad y con abundancias más bien equitativas entre los taxa registrados en el área de estudio sin registros de dominancias monoespecíficas. Los valores de diversidad oscilaron entre 2,6 a 4,0 bits, mientras que el índice de equidad osciló entre 0,8 y 0,9.

- Zooplancton

Para definir la estructura comunitaria del zooplancton se evaluaron de acuerdo a su permanencia en el plancton, clasificándose como Meroplancton (parte de ciclo de vida en el plancton) y Holoplancton (ciclo de vida permanente dentro de la columna de agua).

El Meroplancton registró 13 taxa compuesto principalmente por estados de Zoeas y Larvas. A nivel espacial, la riqueza total presentó un patrón heterogéneo en el sector de la bahía con mayor valor de riqueza en el punto BSJ-06 (Figura 5.4-127a). En cuanto a la abundancia promedio, los valores presentaron un patrón similar al parámetro anterior, con un máximo en el punto BSJ-04 con 2.551 ± 400 ind/m³ (Figura 5.4-127b).

Para determinar la dominancia de organismos de meroplancton en el área de estudio, se consideraron los taxa con abundancia relativa igual o superior a 10%, siendo el resto de los taxa agrupados en la categoría "Otros". Entre los grupos identificados en el área de estudio, las larvas de cirripedio, bivalvos y poliquetos presentaron dominancia, excepto en el punto BSJ-02 donde no se obtuvieron datos. (Figura 5.4-127c).

La estructura del meroplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo (Figura 5.4-129b). El índice de equidad mostró valores superiores a 0,78 en todos los puntos de muestreo evaluado. Lo anterior indicaría que el meroplancton presentó una alta diversidad de especies con baja dominancia monoespecífica de algún taxón.

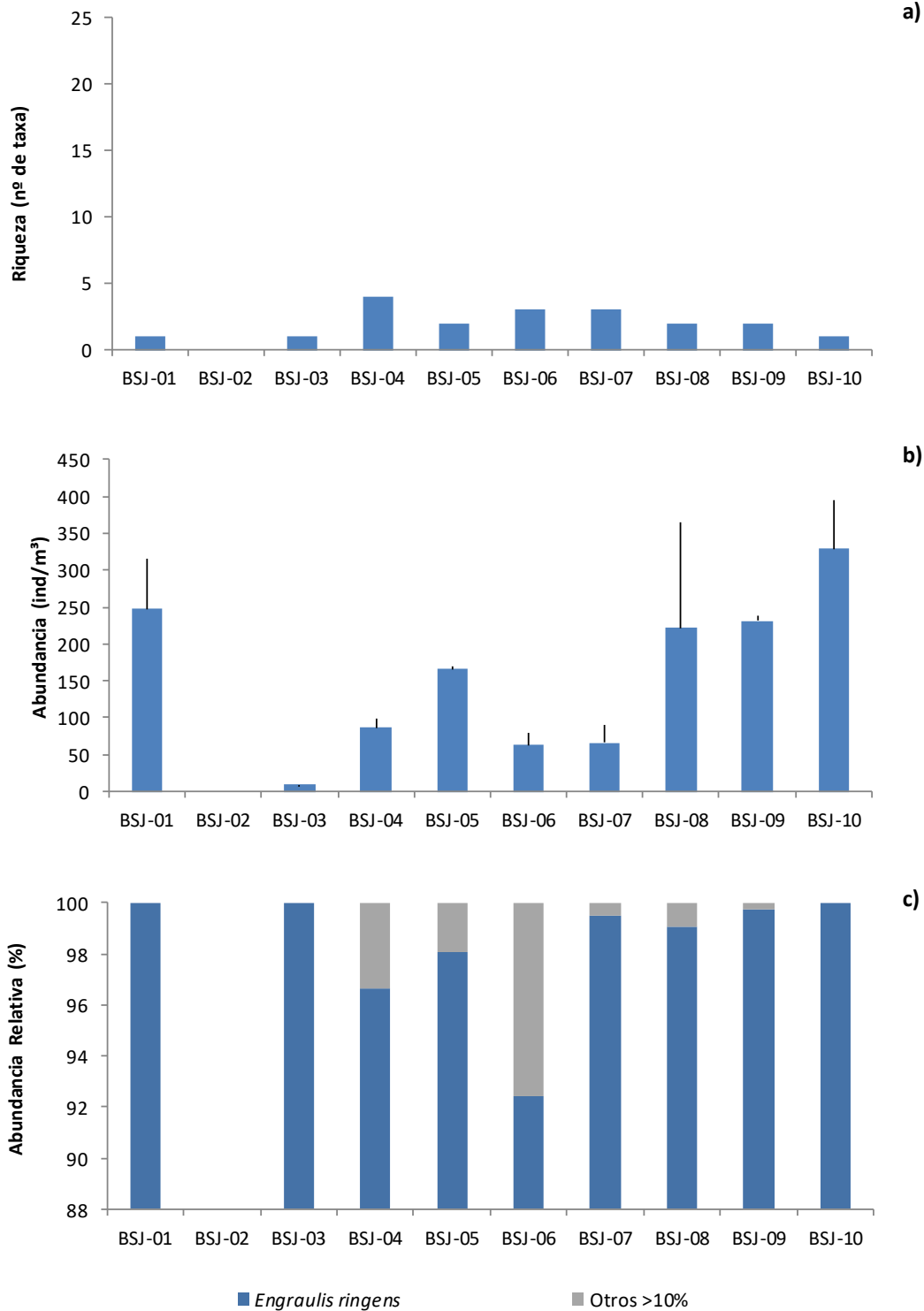


Figura 5.4-127 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio (n=2, ± E.E.) y c) Abundancia relativa (%) del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2019.

El Holoplancton registró 22 taxa compuesto principalmente por Copépodos. A nivel espacial la riqueza total presentó un patrón heterogéneo en todo el sector de la bahía (Figura 5.4-128a). En cuanto a la abundancia promedio, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos de muestreo, observándose mayores valores en el punto de muestreo BSJ-01(Figura 5.4-128b).

Para determinar la dominancia de organismos de zooplancton en el área de estudio, se consideraron los taxa con abundancia relativa igual o superior a 10%, siendo el resto de los taxa agrupados en la categoría "Otros". Durante la campaña de invierno 2019 en el área de estudio se registró mayor presencia de copépodos. En el sector norte (BSJ-01 y BSJ-03) mayor dominancia de Nauplio de copépodos, en cambio los otros puntos dominaron los copépodos *Acartia tonsa*, *Oithona sp.*, *Paracalanus Quasimodo* y *Oithona plumifera* (Figura 5.4-128c).

La estructura del Holoplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo (Figura 5.4-129Figura 5.4-49a). El índice de equidad mostró valores superiores a 0,78 en todos los puntos de muestreo evaluado. Lo anterior indicaría que el meroplancton presentó una alta diversidad de especies con baja dominancia monoespecífica de algún taxón.

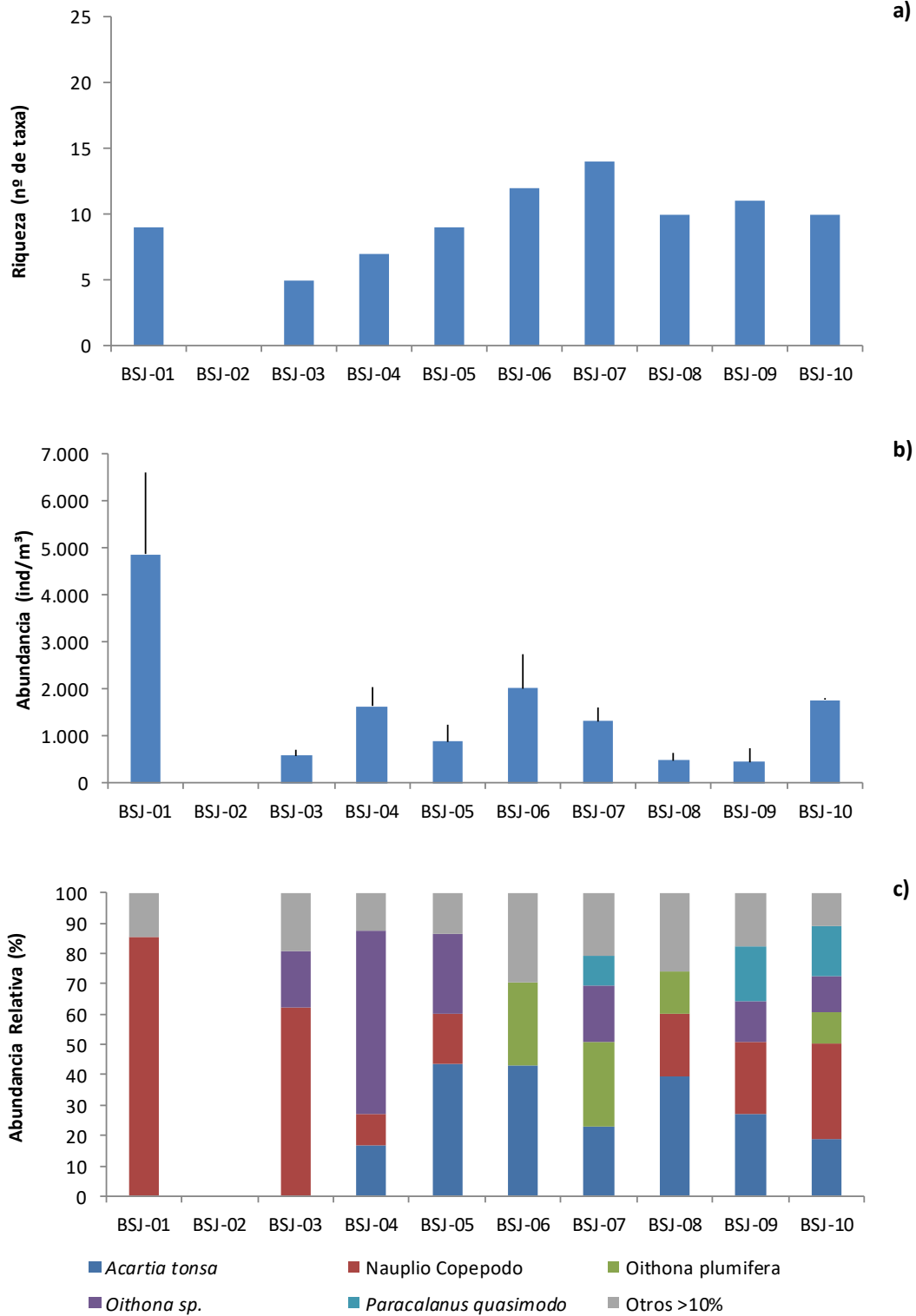


Figura 5.4-128 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio (n=2, ± E.E.) y c) Abundancia relativa (%) del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2019.

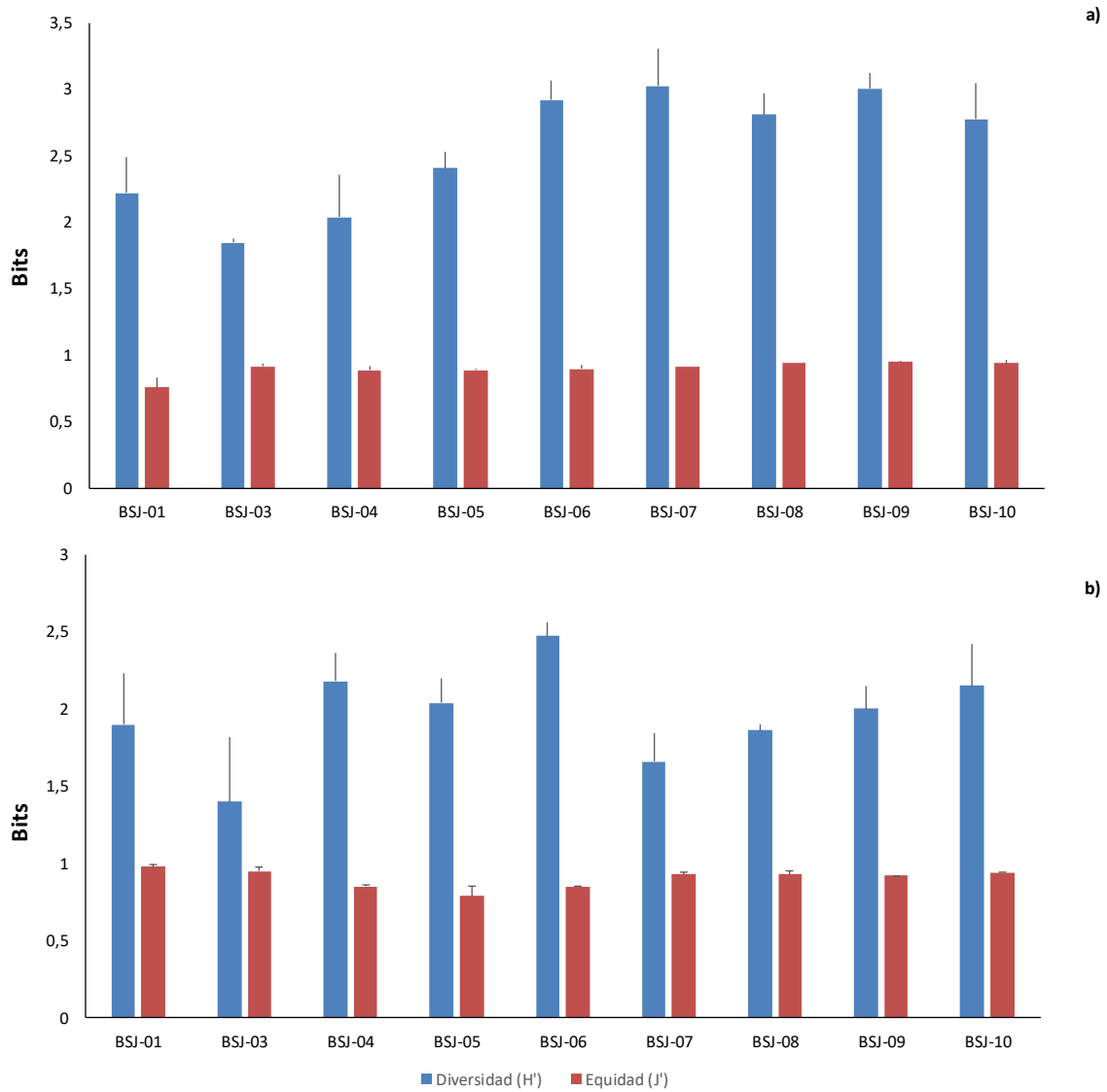


Figura 5.4-129 Índice de Shannon Wiener e Índice de Pielou, para las comunidades a) Holoplancónicas, b) Meroplancónicas. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

En cuanto a la biomasa de zooplancton, se puede observar un patrón irregular entre los puntos de muestreo, con mayores biomásas en el punto BSJ-04 (Figura 5.4-130). Los menores valores de biomásas se registraron en los puntos de muestreo BSJ-03 y BSJ-08.

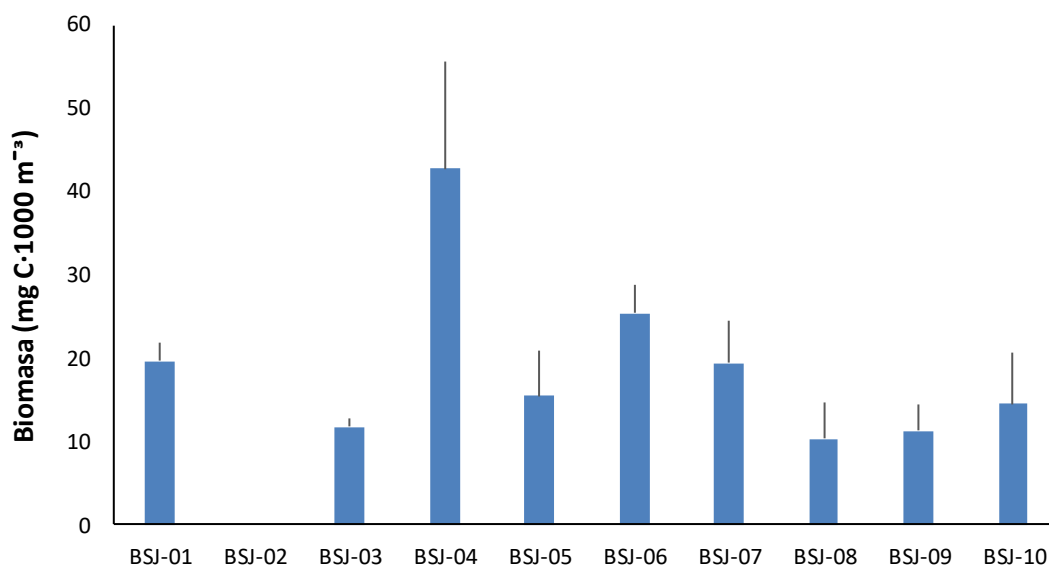


Figura 5.4-130 Biomasa (n=2; E.E.) en la comunidad zooplancton registrada en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2019.

· Ictioplancton

El ictioplancton registro una riqueza total de 5 taxa, de las cuales 4 correspondieron a la porción de huevos y 1 a la de larvas. La riqueza total en el área de estudio presentó valores irregulares entre los puntos de muestreo para las dos porciones, con mayor cantidad de huevos en el punto BSJ-04. La porción de larva presento un solo taxa en los puntos BJS-01, BSJ-03 y BSJ-10 (Figura 5.4-131a; Figura 5.4-132a).

La abundancia promedio en cambio, presentó mayor abundancia de huevos en el sector sur de la Bahía (BSJ-10), para la porción de larvas en el punto BSJ-03. Los menores valores de abundancia fueron en el sector norte BSJ-03 (huevos) y BSJ-01(larvas) (Figura 5.4-131b; Figura 5.4-132b). Para larvas los puntos BSJ-02, BSJ-04, BSJ-05, BSJ-06, BSJ-07, BSJ-08 y BSJ-09 no presentaron individuos.

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 presentaron dominancia de la Anchoqueta *Engraulis ringens* para la porción de huevos y larvas en todos los puntos de muestreo de la bahía, excepto en los puntos donde no se presentaron individuos (Figura 5.4-131c; Figura 5.4-132c).

La estructura del ictioplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo (Figura 5.4-133a-b) El índice de equidad mostró valores irregulares mayores a 0,3 0,4 en huevos. Lo anterior indicaría que el ictioplancton presentó una baja diversidad ($H' < 2$) de especies con baja dominancia monoespecífica de algún taxón. En la porción de larvas no se pudo realizar el análisis de comunidades por la baja cantidad de taxa.

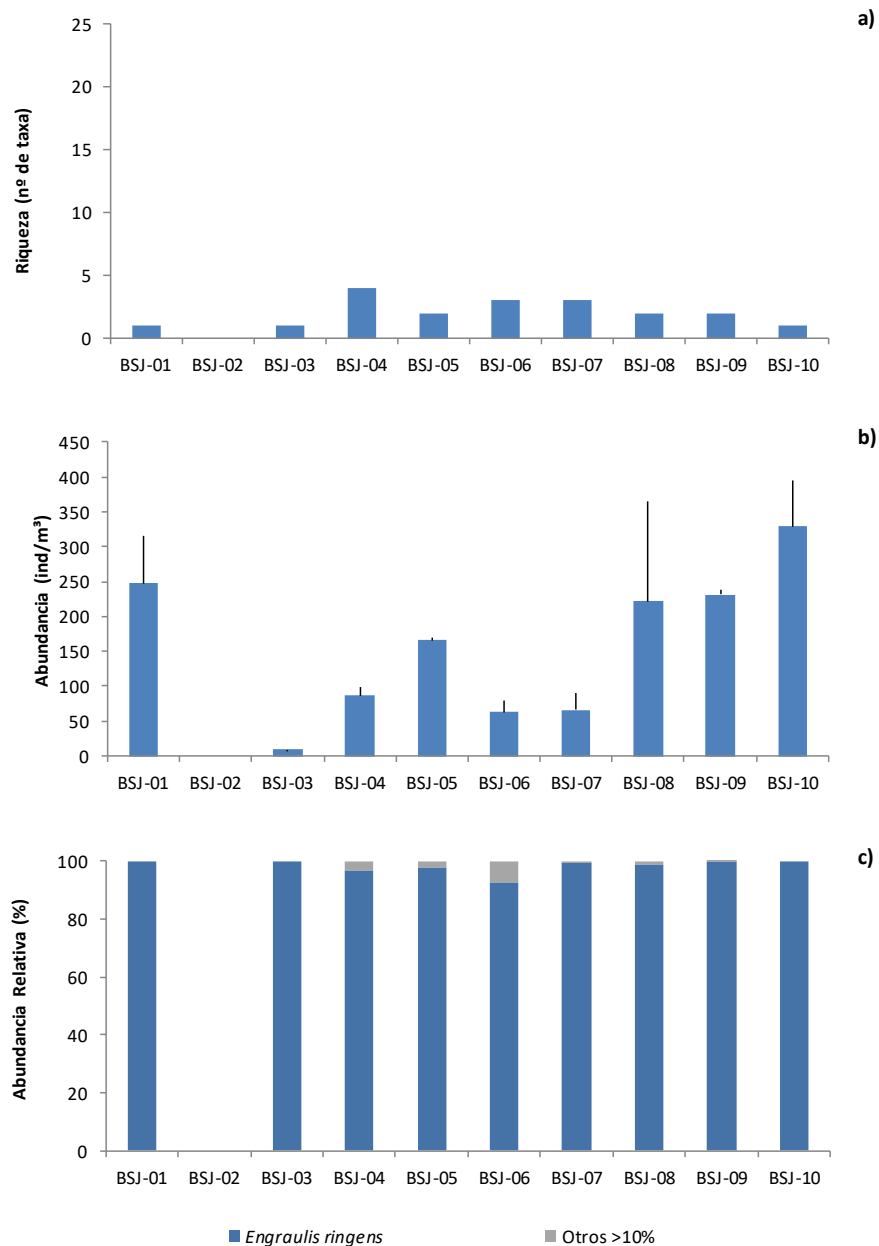


Figura 5.4-131 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio ($n=2$, \pm E.E.) y c) Abundancia relativa (%) de la fracción de huevos. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2019.

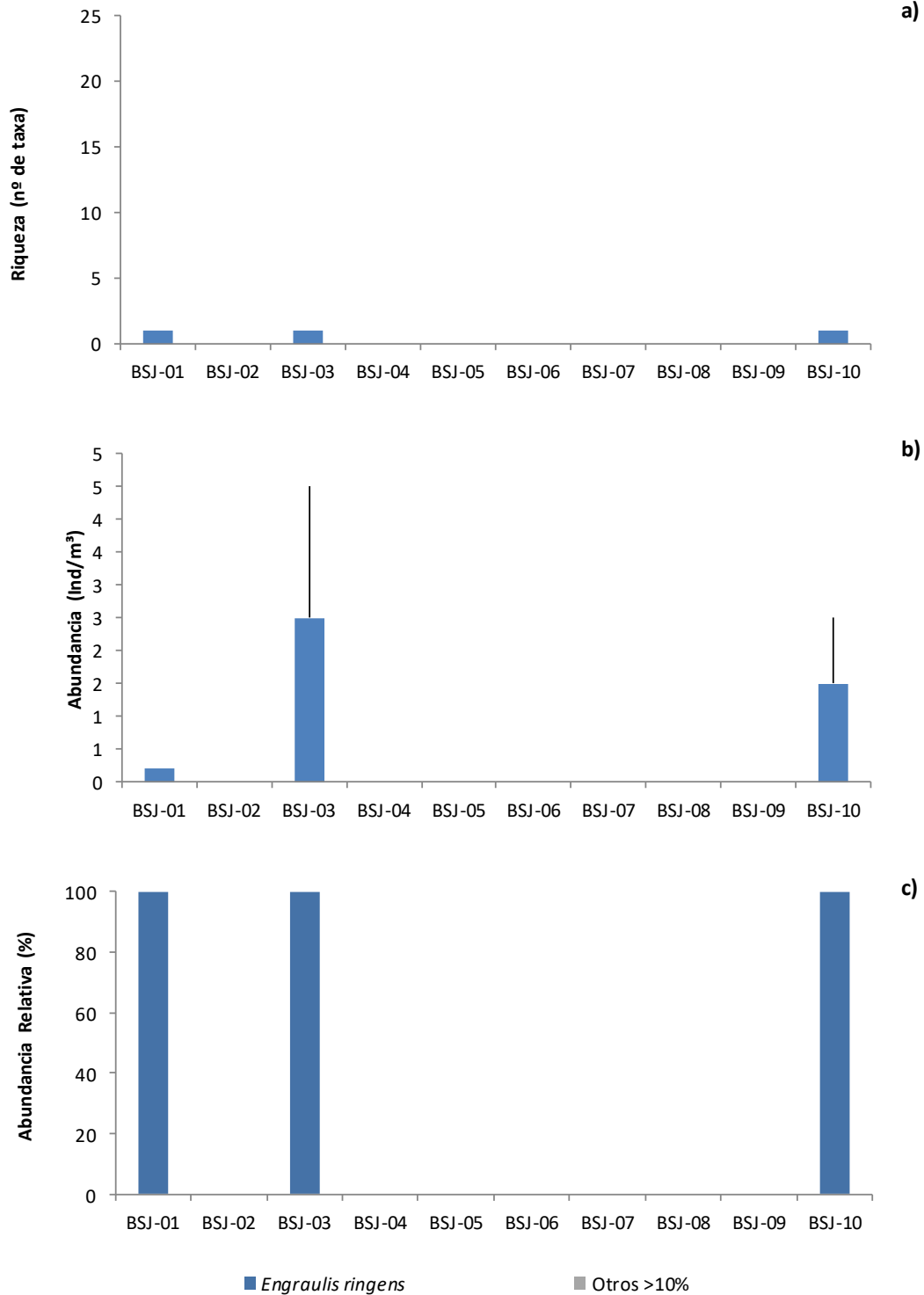


Figura 5.4-132 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio ($n=2$, \pm E.E.) y c) Abundancia relativa (%) de la fracción de larvas. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2019.

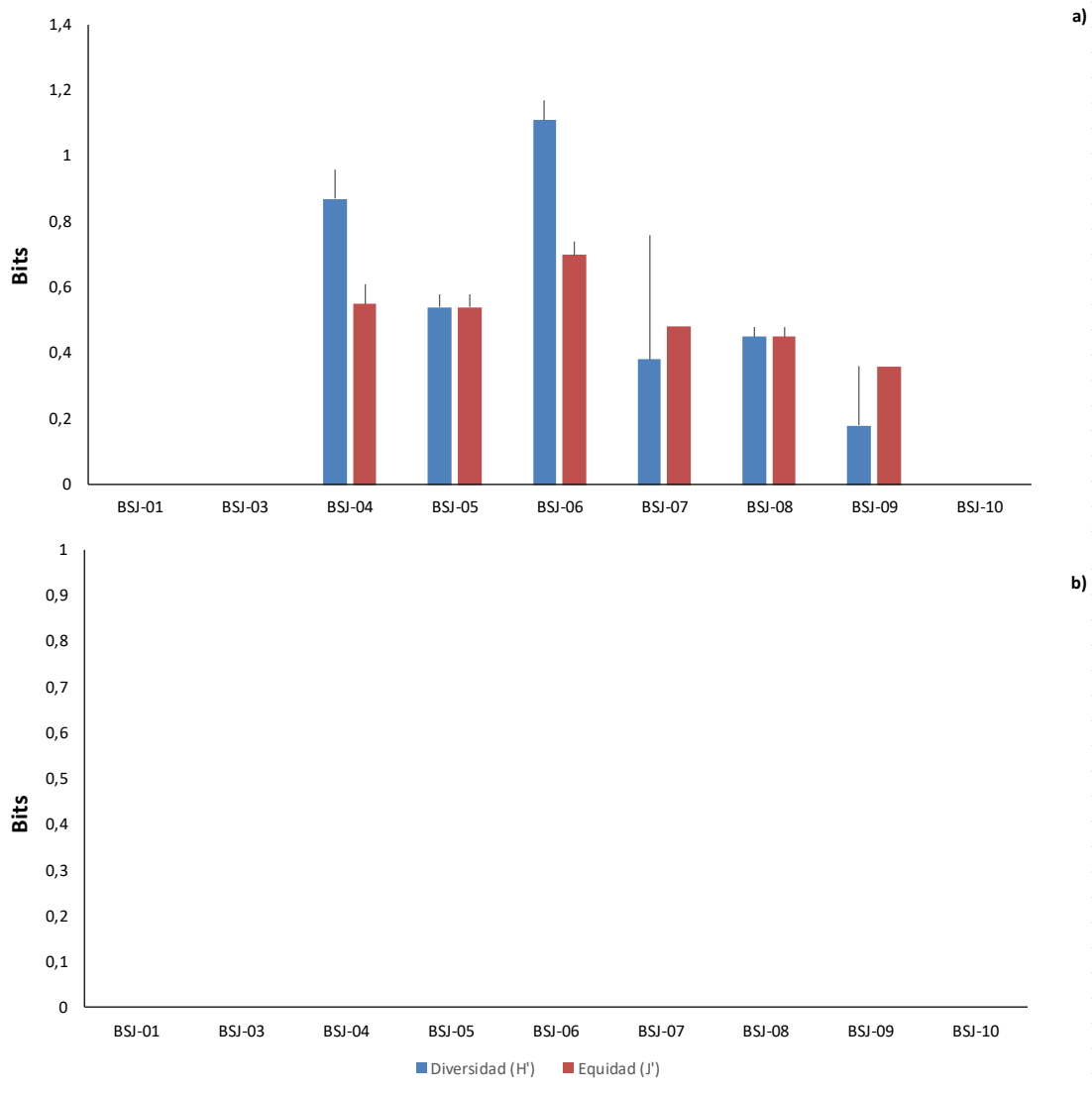


Figura 5.4-133 a) Porción de Huevos, b) Porción de Larvas, valores de Índice de Shannon Wiener (azul), e Índice de Pielou (rojo). Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

En cuanto a la biomasa de ictioplancton, se puede observar un patrón irregular entre los puntos de muestreo, con mayores biomazas en el punto de muestreo BSJ-10 y menores valores en el punto BSJ-07 (Figura 5.4-134).

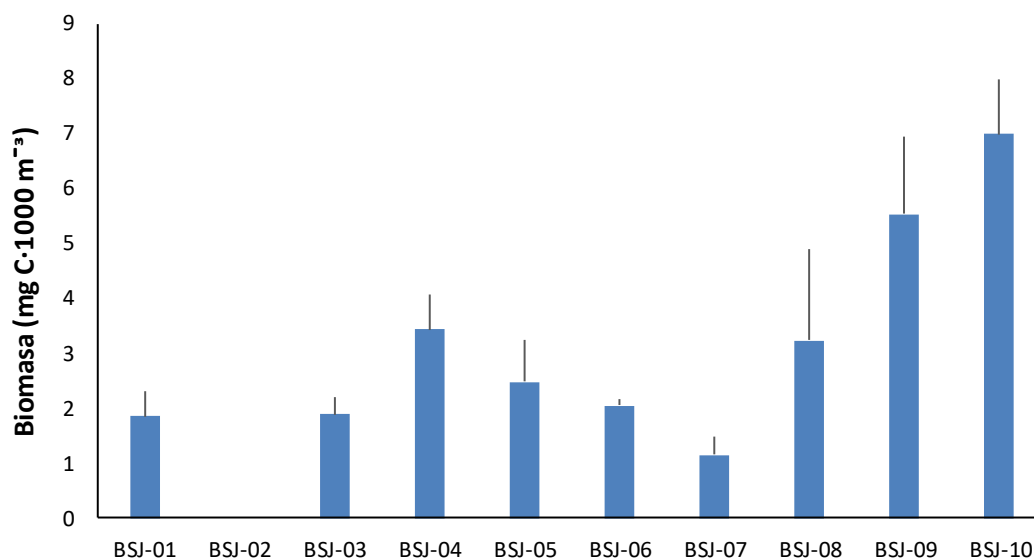


Figura 5.4-134 Biomasa de ictioplancton (equivalente de Carbono mg C·1000 m⁻³) registrada en Bahía San Jorge. Campaña de invierno 2019.

- Comunidades bentónicas
- Submareal blando

En el muestreo realizado en verano de 2019, se registró un total de 41 taxa en la comunidad de la infauna asociada al sistema submareal blando. Las mayores riquezas y abundancias fueron registradas en los puntos de muestreo ubicados al norte y al sur del área de estudio (BSI-01 y BSI-10, respectivamente) (Figura 5.4-108 a y b). En la mayoría de los puntos de muestreo dominó el grupo de los poliquetos, mayormente representados por organismos de las familias Spionidae y Syllidae (Figura 5.4-108c).

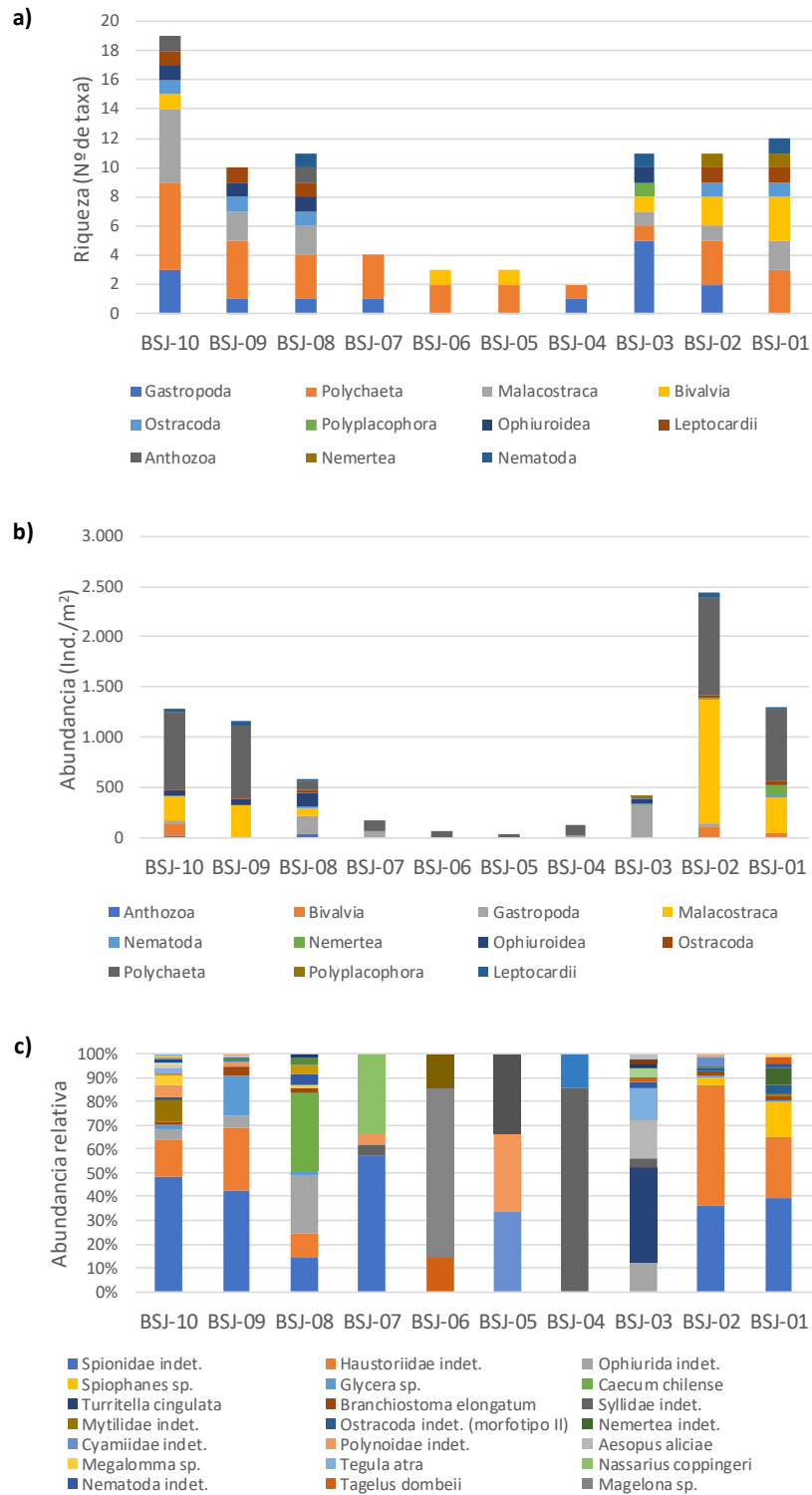


Figura 5.4-135 Riqueza, abundancia y composición de taxa de la infauna Submareal. Verano 2019, Bahía San Jorge, Antofagasta.

– Intermareal blando

En general, el estrato intermareal superior, presento la menor riqueza de taxa y la mayoría de ellas pertenecientes al grupo de los malacostracos e insectos (Figura 5.4-108). La mayor riqueza de taxa se registró en el nivel intermareal medio e inferior (Figura 5.4-109a y Figura 5.4-110a). Con respecto a la abundancia, los mayores registros estuvieron asociados al nivel intermareal medio e inferior, específicamente en el punto de muestreo TI-04 (Figura 5.4-109b y Figura 5.4-110b).

La composición de taxa indicó la dominancia absoluta el género *Exirolana braziliensis* y *Phalerisida maculata.*, en el intermareal superior del punto de muestreo TI-08 y TI-05, respectivamente (Figura 5.4-108). Por otra parte, se registró la dominancia absoluta de organismos poliquetos *Glycera* sp. en el nivel medio del punto de muestreo TI-08 (Figura 5.4-109b c). *Emerita analoga* dominó el nivel inferior de los puntos de muestreo TI-08, TI-07 y TI-05 (Figura 5.4-110).

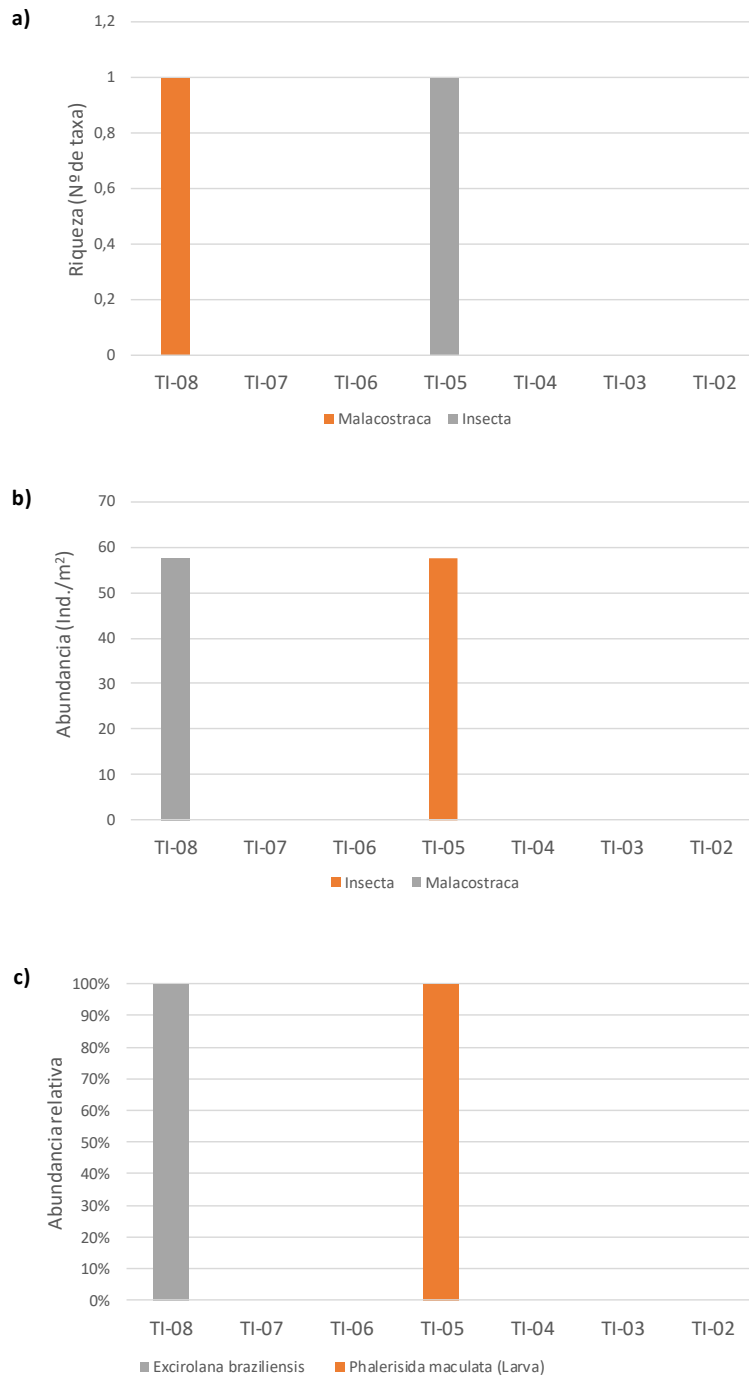


Figura 5.4-136 Riqueza, abundancia y composición de taxa de la infauna intermareal (Superior). Verano 2019, bahía San Jorge, Antofagasta.

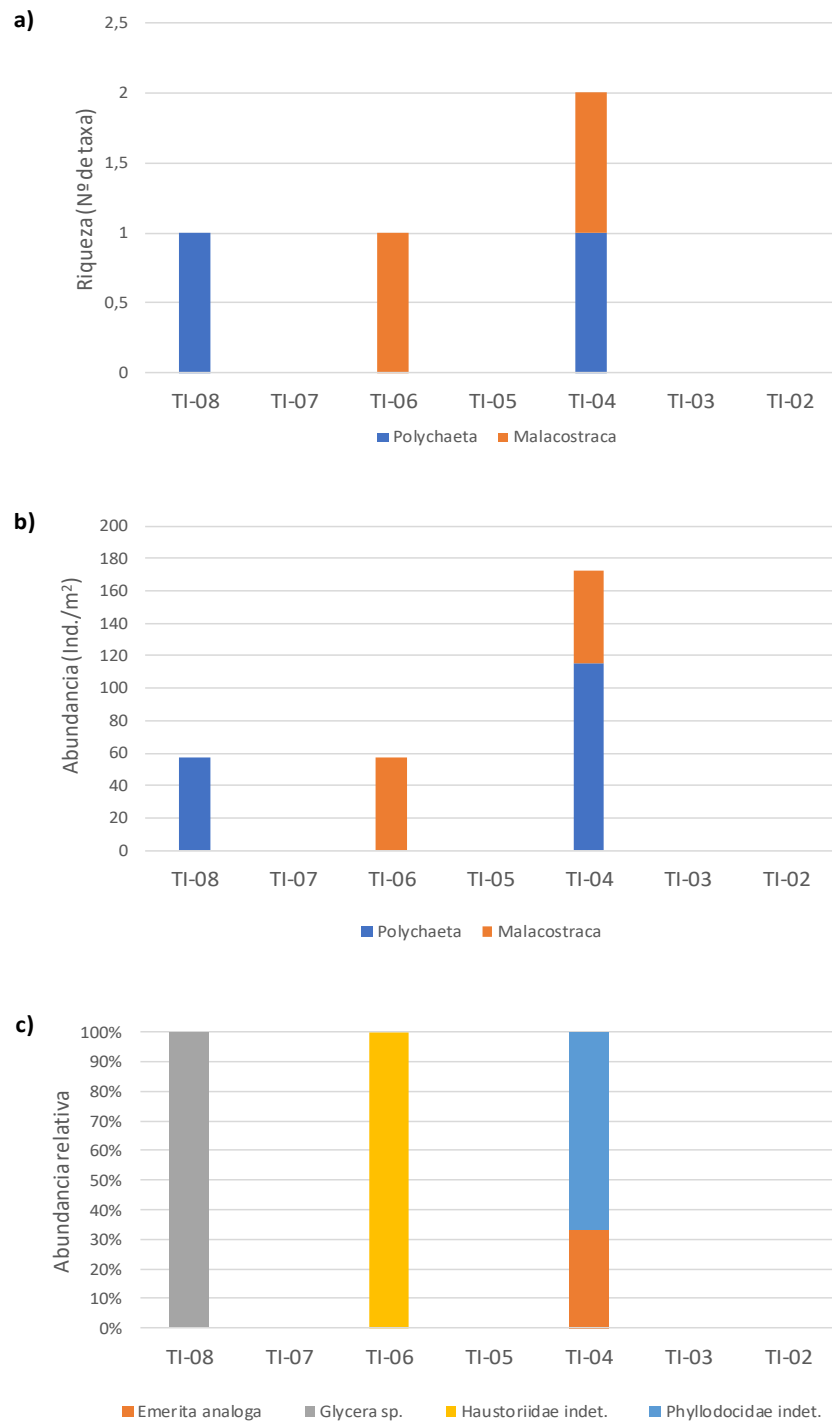


Figura 5.4-137 Riqueza, abundancia y composición de taxa de la infauna intermareal (Medio). Verano 2019, Bahía San Jorge, Antofagasta.

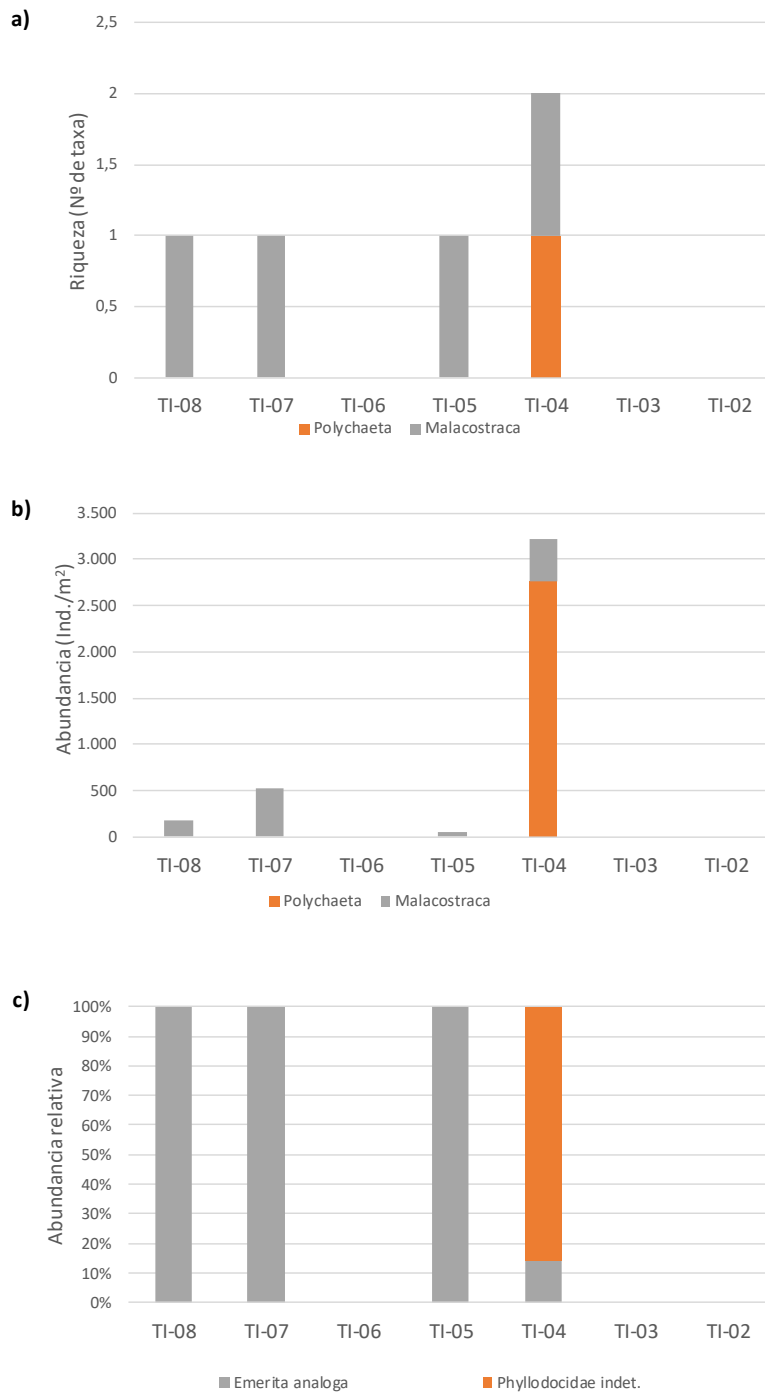


Figura 5.4-138 Riqueza, abundancia y composición de taxa de la infauna intermareal (Inferior). Verano 2019, Bahía San Jorge, Antofagasta.

– Intermareal duro

Respecto de los organismos sésiles observados en el transecto prospectado (TIR-1), se reconoció durante la campaña invernal un total de 15 grupos taxonómicos. De estos, 5 pertenecieron al grupo de macroalgas. Por su parte, el grupo de crustáceos alcanzó el segundo lugar con 4 grupos taxonómicos. En tercer término, se ubicó el grupo de los cnidarios con 3 representantes. Por su parte, se reconoció la presencia de 3 taxa pertenecientes cada uno al grupo moluscos, briozoos y tunicados. Con relación a la riqueza puntual de organismos sésiles observada en la zona intermareal prospectada, se observó que los mayores valores de riqueza se registraron en general, en la zona inferior de la franja intermareal, decreciendo progresivamente hacia los estratos superiores del transecto intermareal. Así, los valores promedio estimados en las zonas inferior variaron entre 8,3 a 2,3 taxa, respectivamente. Todas las especies reconocidas presentaron una amplia distribución geográfica, la que para la mayoría de ellas (excepto el tunicado *Pyura praeputialis*) excede la escala local y regional de su rango de distribución (Figura 5.4-139a).

Con relación a los valores de cobertura de los organismos sésiles, se observó que los mayores registros se levantaron en el estrato intermedio de la franja intermareal prospectada, producto de la importante presencia del tunicado invasor *P. praeputialis* (51,7% de cobertura), mientras que el registro más bajo se detectó en la zona superior. Así, los valores de cobertura promedio en el transecto prospectado variaron entre 133,3% de cobertura en la zona intermedia de la franja intermareal, decayendo a 67% de cobertura en la zona superior (Figura 5.4-139b).

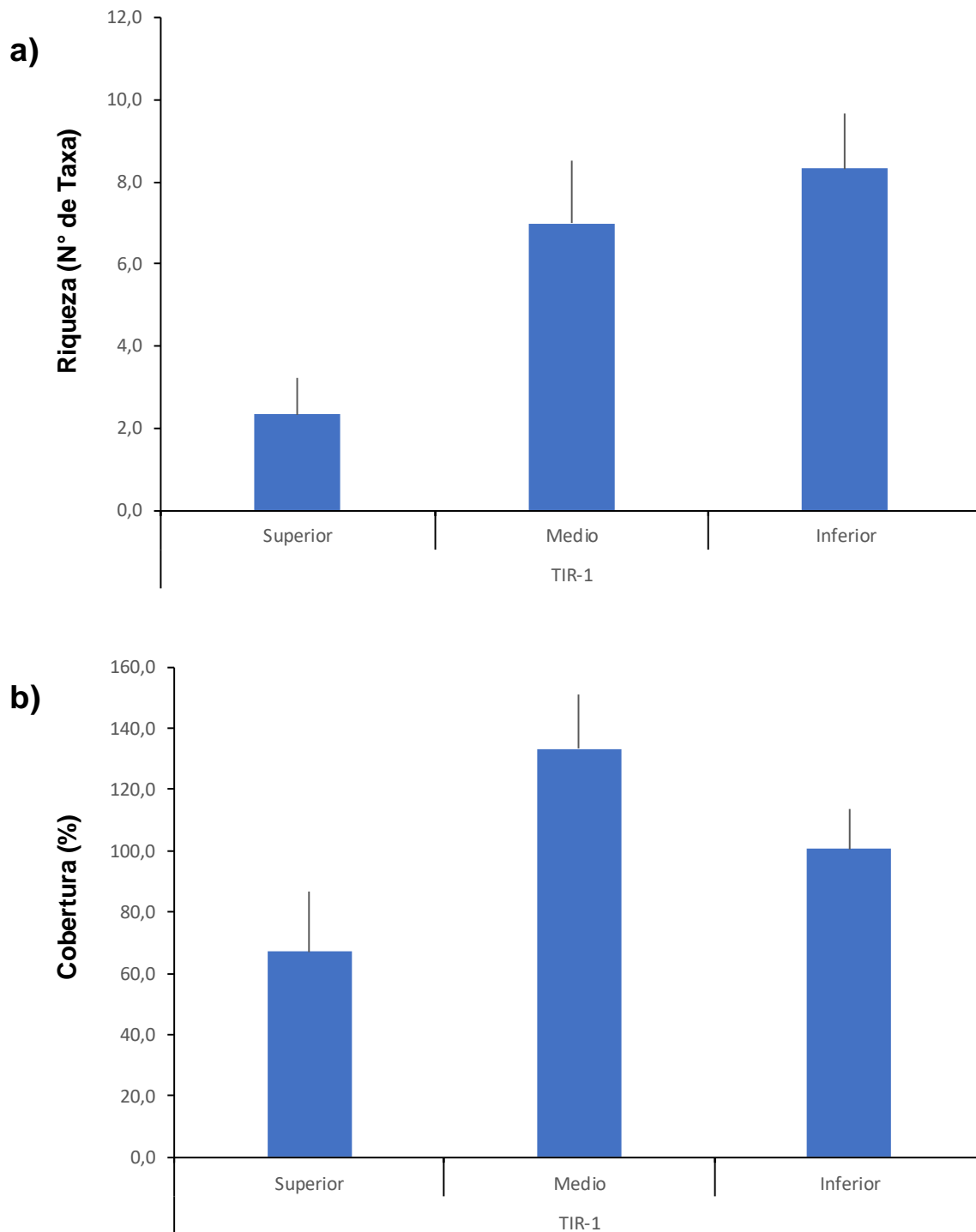


Figura 5.4-139 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos sésiles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

Con relación a las coberturas relativas, destacó la dominancia en el estrato superior de los crustáceos cirripedios *Jehlius cirratus*, mientras que en las zonas intermedia e inferior dominaron los tunicados y macroalgas, donde los primeros sirven de sustrato secundario para el asentamiento y desarrollo de algas verdes (*Ulva* sp.) y pardas (*Colpomenia* sp.). Al igual que lo comentado respecto de los hallazgos levantados durante la campaña estival, la gran mayoría las especies reconocidas en la franja intermareal de sustrato duro prospectada poseen una amplia distribución geográfica, que excede con creces la escala local y regional (a excepción del ya comentado tunicado invasor *P. praeputialis*) (Figura 5.4-140)

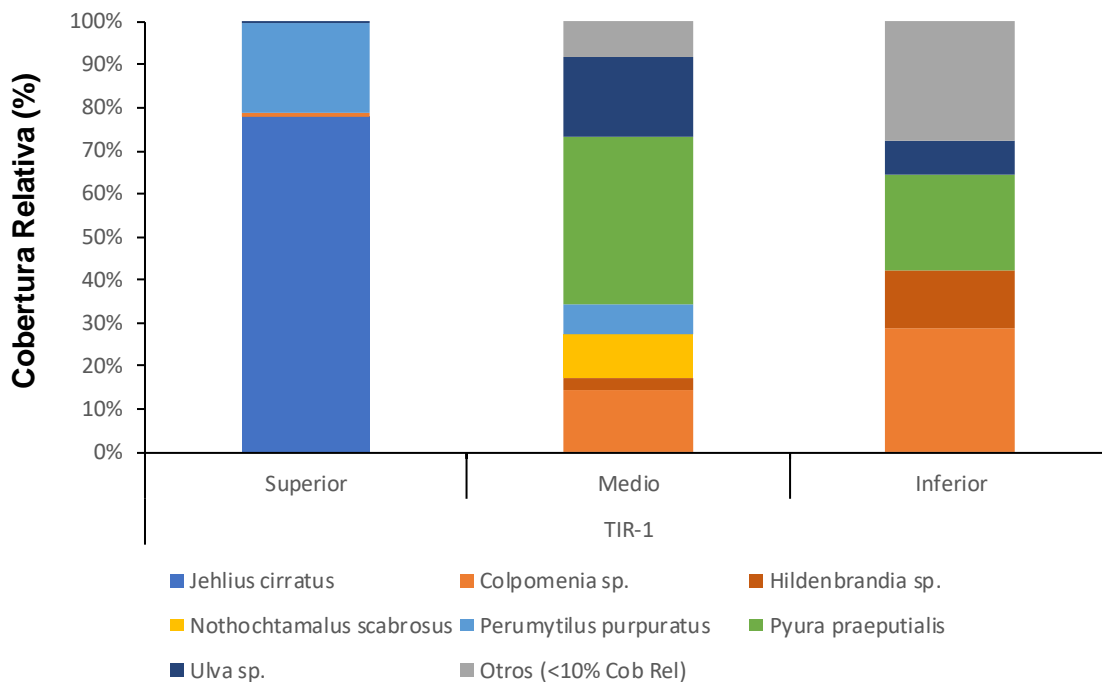


Figura 5.4-140 Cobertura relativa de ensambles de organismos sésiles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

La Figura 5.4-141 presenta los valores de riqueza y abundancia correspondientes a los organismos móviles detectados durante la campaña de invierno 2019. Al respecto, se discriminó un total de 8 grupos taxonómicos, dominados por el grupo de los moluscos (6 especies), seguidos por el grupo de los equinodermos (2 especies). Con relación a los valores de riqueza, hay que reiterar la discreta composición de los ensamblajes de organismos móviles reconocidos en el transecto prospectado. En general, se estimaron promedios discretos en los distintos estratos de la franja intermareal, cuyo registro promedio más alto se estimó en la zona intermedia (2,3 taxa), mientras que el más bajo se observó en la zona superior de la franja intermareal (1 taxón) (Figura 5.4-141a).

Con relación a los registros de densidad estimados, se observó que el registro promedio más alto de abundancia se estimó en la zona superior del transecto TIR-1 (458,7 ind·m⁻²), como consecuencia de la importante presencia de los caracoles pulmonados *Echinolittorina peruviana*, los que son especies características de este tipo de ambientes (Figura 5.4-141b).

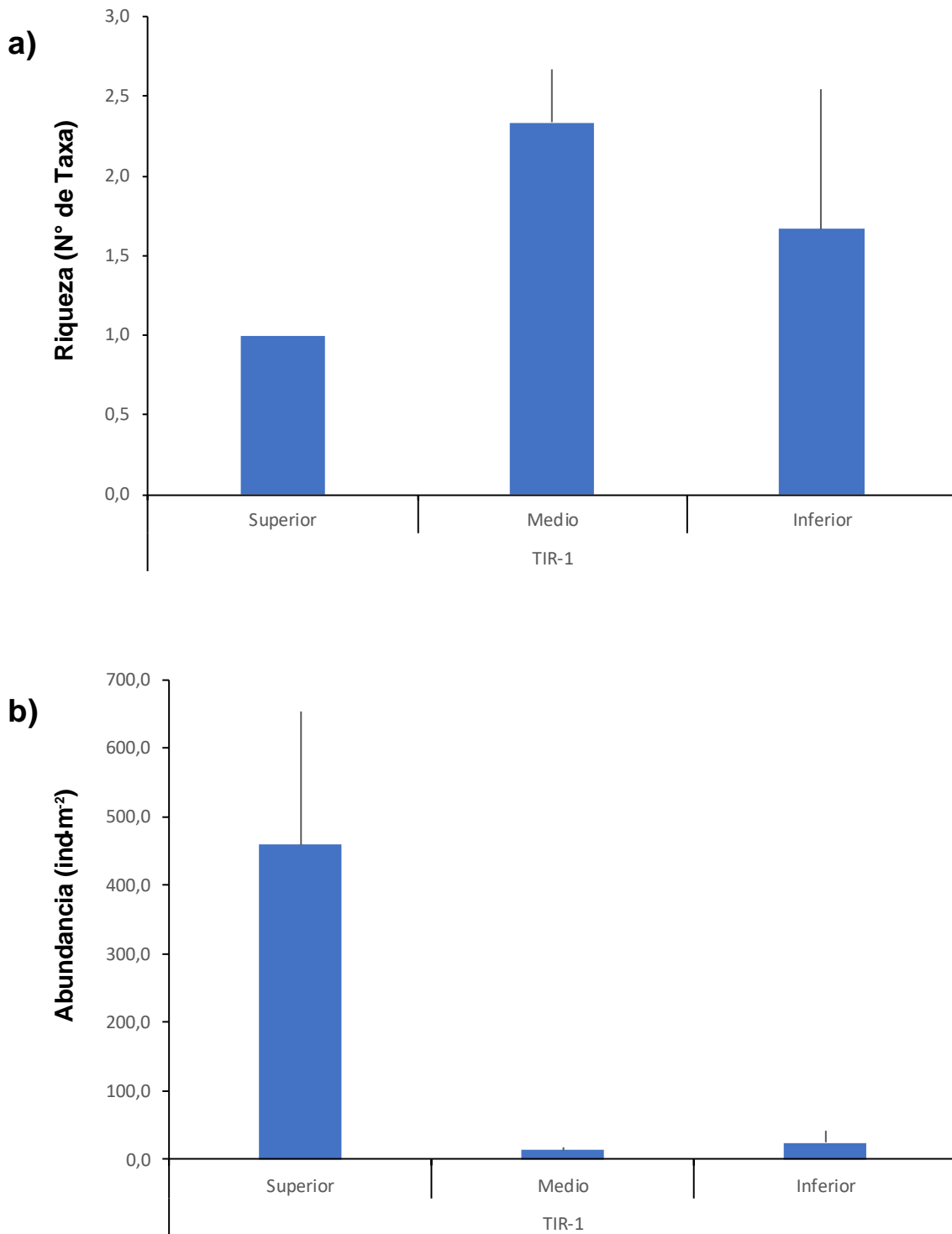


Figura 5.4-141 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos móviles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

Con relación a las abundancias relativas, destacó la dominancia en términos generales del grupo de los moluscos, donde aquellos de hábitos herbívoros alcanzaron una presencia destacada. Así, las mayores dominancias se reconocieron en la zona superior del transecto prospectados como consecuencia de una importante presencia de los caracoles *Echinolittorina peruviana*. De la misma manera, se observaron dominancias destacadas en en el estrato intermedio de los moluscos poliplacóforos *Chiton granosus* y los soles de mar *Heliaster helianthus*. En la zona inferior, en cambio dominaron especies de presencia discreta en el sector (inferior a 10% de abundancia relativa). Al igual que lo comentado para los organismos sésiles, todas las especies de organismos móviles identificadas durante la campaña invernal poseen un amplio rango de distribución geográfica que excede ampliamente la escala local y regional (Figura 5.4-142).

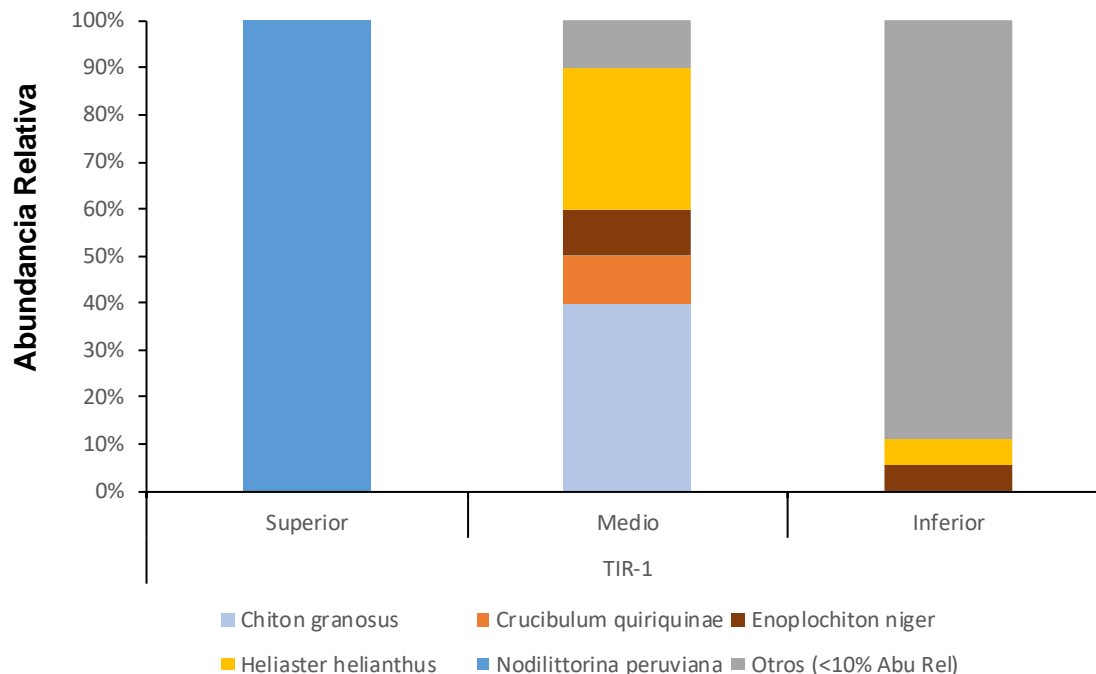


Figura 5.4-142 Abundancia relativa de ensambles de organismos móviles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía San Jorge. Campaña invierno 2019.

Los ensambles de macroinfauna intermareal de sustrato duro estuvieron conformados por especies de características para el tipo de ambiente prospectado y para la latitud donde está localizado el transecto de interés. En general, los ensambles de organismos sésiles estuvieron mejor representados que los ensambles de fauna móvil. Especial mención se debe hacer con la presencia de extensos parches del tunicado invasor *Pyura praeputialis* presentes en el área de interés donde se localizó el transecto TIR-1. Al igual que otras especies con atributos de ingenieros ecosistémicos (macrolagas, bancos de mitílidos, crustáceos cirripedios, entre otros - Prado & Castilla 2006, Thiel et al 2007, Villegas et al. 2008), la presencia de *P. praeputialis* promueve dentro de la estructura comunitaria de los

ensambles de organismos intermareales, la colonización y posterior desarrollo de una variedad de especies que copan el sustrato secundario y la oferta de una mayor heterogeneidad de hábitats, derivada de la presencia de parches de esta especie en el área de interés.

- v. Actualización de la información de calidad de agua, sedimentos y biota de la bahía de San Jorge – Campaña verano 2020

La campaña se ejecutó en dos jornadas. La primera entre el 09 y 16 de enero de 2020, y la segunda entre el 08 al 15 de febrero de 2020. A la fecha del terreno no se pudo tener el permiso con la anticipación necesarios para entrar a la zona protegida la Rinconada, por lo que la medición del punto BSJ-02 no se pudo llevar a cabo.

Las actividades realizadas fueron:

De la configuración de muestreo establecida en el Plan de Trabajo, se listan a continuación la totalidad de las actividades realizadas.

- **Calidad fisicoquímica agua y sedimento submareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en bahía San Jorge en estaciones BSJ-1@10, excepto en la estación BSJ-02.
- **Calidad fisicoquímica sedimento intermareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en bahía San Jorge en estaciones TI-02, TI-05, TI-06 y TI-08, muestras ubicadas en playas recreacionales, en acuerdo con la contraparte técnica.
- **Parámetros fisicoquímicos en la vertical:** Lance de sonda CTD en estaciones BSJ-1@10, a excepción del punto BSJ-02 por los motivos mencionados anteriormente, para el muestreo de la columna vertical de agua de parámetros físicos: clorofila, conductividad, densidad, potencial RedOx, oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura y turbidez. Se incorporan datos de disco Secchi durante el lance de la sonda para análisis de visibilidad de fondo.
- **Comunidades planctónicas:** Muestreo de comunidades planctónicas en superficie y profundidad, en estaciones BSJ-1@10, excepto en la estación BSJ-02.
- **Comunidades bentónicas:** Muestreo de la infauna para la caracterización de comunidades bentónicas, en estaciones BSJ-1@10, excepto en la estación BSJ-02.

La ubicación de los puntos de muestreo correspondió a los mismos de la campaña anterior (Figura 5.4-17 y Figura 5.4-18).

a) Resultados de muestras de calidad química de agua y sedimento, verano 2020

- Calidad de agua

En la columna de agua de bahía San Jorge, se registraron parámetros in-situ (pH, y conductividad). Además, se analizaron parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales

y turbidez); nutrientes (amonio y fósforo total); parámetros biológicos (coliformes totales, fecales y DBO5); metales disueltos (aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc); y otros parámetros de importancia ambiental (aceites y grasas, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos totales). A continuación, se describen en mayor detalle los parámetros in-situ y los seis metales identificados como agentes potencialmente contaminantes en el Objetivo específico 2. El resto de los resultados se presentan en: Anexos_digitales\04_OE3\2_Base_datos_Agua_Sedimentos.

Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc disueltos, en todos los puntos de muestreo y en los estratos superficial y de fondo, se encontraron bajo los límites de detección. En relación a las normativas de calidad del agua, las concentraciones cumplieron con los criterios de la EPA (2009), CCME (2007) y Australia y Nueva Zelanda (2000) (Tabla 5.4-41).

Tabla 5.4-41: Metales disueltos medidos en la campaña de verano de 2020. Bahía San Jorge.

Punto de muestreo	Arsénico disuelto (mg/l)	Cadmio disuelto (mg/l)	Cobre disuelto (mg/l)	Mercurio disuelto (mg/l)	Plomo disuelto (mg/l)	Zinc disuelto (mg/l)
BSJ-01-F	<0,005	<0,001	0,078	<0,001	<0,008	0,014
BSJ-01-S	<0,005	<0,001	0,046	<0,001	<0,008	0,011
BSJ-03-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-03-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-04-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-04-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-05-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-05-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-06-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-06-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-07-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-07-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-08-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-08-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-09-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-09-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-10-F	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
BSJ-10-S	<0,005	<0,001	<0,003	<0,001	<0,008	<0,002
Decreto N°144, 2009	-	-	-	-	-	-
EPA, 2009 (US), CMC	0,069	0,04	0,0048	0,0018	0,21	0,09
EPA, 2009 (US), CCC	0,036	0,0088	0,0031	0,00094	0,0081	0,081
CCME, 2007 (Canadá)	12,5	0,0125	0,00012	-	-	-
Australia y Nueva Zelanda (2000)	-	-	0,0007	0,0003	0,0001	0,0022

Respecto a otros parámetros de calidad química de agua medidos en bahía San Jorge, se adjuntan en la Tabla 5.4-42 los valores de concentración de los parámetros de Aceites y grasas, Coliformes Fecales, DBO5 e Hidrocarburos volátiles. Se destaca los bajos valores de

concentración en todas las componentes, donde en general se obtuvieron registros bajo el límite de detección. Para el caso de Coliformes Fecales, los valores detectados estuvieron bajo el límite de la N.Ch.1333/78 (1000 NMP/100ml), no registrando un riesgo para la población.

Tabla 5.4-42: Valores de concentración de Aceites y grasas, Coliformes Fecales, DBO5 e Hidrocarburos Volátiles en puntos de medición de bahía San Jorge, Antofagasta, campaña verano 2020.

Punto de medición	Aceites y grasas (mg/l)	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	DBO5 (mg/l)	Hidrocarburos volátiles (mg/l)
BSJ-01-F	<1	<1,8	<2	<0,1
BSJ-01-S	<1	<1,8	2,00	<0,1
BSJ-02-F	-	-	-	-
BSJ-02-S	-	-	-	-
BSJ-03-F	<1	<1,8	3,00	<0,1
BSJ-03-S	<1	<1,8	4,00	<0,1
BSJ-04-F	<1	23,00	2,00	<0,1
BSJ-04-S	<1	<1,8	4,00	<0,1
BSJ-05-F	<1	<1,8	5,00	<0,1
BSJ-05-S	<1	<1,8	4,00	<0,1
BSJ-06-F	<1	<1,8	5,00	<0,1
BSJ-06-S	<1	<1,8	7,00	<0,1
BSJ-07-F	<1	<1,8	6,00	<0,1
BSJ-07-S	<1	<1,8	<2	<0,1
BSJ-08-F	<1	<1,8	6,00	<0,1
BSJ-08-S	<1	<1,8	9,00	<0,1
BSJ-09-F	<1	2,00	<2	<0,1
BSJ-09-S	<1	2,00	2,00	<0,1
BSJ-10-F	<1	<1,8	<2	<0,1
BSJ-10-S	<1	<1,8	2,00	<0,1

· Calidad del sedimento submareal e intermareal

En los sedimentos submareales de bahía San Jorge, se determinó la granulometría; se analizaron los hidrocarburos (hidrocarburos totales, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos aromáticos totales); y metales (aluminio, arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel y plomo). A continuación, se describen en mayor detalle aquellos parámetros seleccionados como agentes contaminantes en el Objetivo específico 2. El resto de los resultados se presentan en: Anexos_digitales\04_OE3\2_Base_datos_Agua_Sedimentos.

Los sedimentos submareales registraron concentraciones de arsénico entre 0.82 mg/kg en el punto BSJ-01 y 86.6 mg/kg en BSJ-06, mientras que los sedimentos intermareales variaron entre 2.56 mg/kg y 3.04 mg/kg en TI-06 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los

intermareales y en relación a los criterios de calidad de aguas, desde el punto BSJ-03 al BSJ-10 las concentraciones superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50% y adicionalmente en los puntos BSJ-06 y BSJ-08 el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentes sobre la biota con una probabilidad superior al 50% (CCME, 2002) (Tabla 5.4-43).

La concentración de cadmio en los sedimentos submareales varió de <0.1 mg/kg a 10 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-06, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales registraron concentraciones bajo el límite de detección (<0.1 mg/kg) en todos los puntos de muestreo. Especialmente, los sedimentos submareales presentaron concentraciones mayores a los sedimentos intermareales y respecto a los criterios de calidad, sólo el punto de muestreo BSJ-10 superó el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50% y el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentes sobre la biota con una probabilidad superior al 50% (CCME, 2002) (Tabla 5.4-43).

La concentración de cobre en los sedimentos submareales varió de 14.2 mg/kg a 4024 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-06, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 13.3 mg/kg a 29.7 mg/kg en TI-06 y TI-08, respectivamente. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales y en relación a los criterios de calidad, desde los puntos BSJ-03 al BSJ-10, incluyendo a los puntos TI-05 y TI-08, las concentraciones superaron el criterio ISQG. Y de estos, los puntos BSJ-04 y BSJ-06 superaron el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentes sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-43).

La concentración de mercurio en los sedimentos submareales varió entre <0.01 mg/kg en los puntos BSJ-01 y BSJ-03 a 1.26 mg/kg en BSJ-04. Mientras que la concentración de los sedimentos intermareales fue de <0,01 mg/kg en TI-02 y TI-08 a 0,01 mg/kg en TI-05 y TI-06. Especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los intermareales. Sólo los puntos BSJ-04, BSJ- 6 y BSJ-07 superaron el criterio ISQG, que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50% y de estos, en los puntos BSJ-04 y BSJ- 6 adicionalmente se superó el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentes sobre la biota con una probabilidad superior al 50% (CCME, 2002) (Tabla 5.4-43).

La concentración de plomo en los sedimentos submareales varió de <0.5 mg/kg a 381 mg/kg en BSJ-01 y BSJ-06, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales registraron concentraciones bajo el límite de detección en todos los puntos, así especialmente las concentraciones fueron mayores en los sedimentos submareales respecto a los sedimentos intermareales. En relación a los criterios de calidad, los puntos BSJ-04 y BSJ-06 superaron el criterio ISQG, mientras que el criterio PEL fue superado sólo

en el punto BSJ-06 que indica efectos adversos frecuentes sobre la biota con una probabilidad superior al 50% (CCME, 2002) (Tabla 5.4-43).

La concentración de vanadio en los sedimentos submareales varió de <2,5 mg/kg a 30 mg/kg en BSJ-05 y BSJ-01, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 25 mg/kg a 31 mg/kg en TI-08 y TI-02, respectivamente. Especialmente no hay diferencias entre las concentraciones de los sedimentos submareales e intermareales y en relación a los criterios de calidad, la CCME 2002 no establece valor referencial para este parámetro (Tabla 5.4-43).

La concentración de zinc en los sedimentos submareales varió de 14 mg/kg a 5211 mg/kg en BSJ-05 y BSJ-06, respectivamente. Mientras que los sedimentos intermareales se encontraron entre 22.2 mg/kg a 48.9 mg/kg en TI-08 y TI-05, respectivamente. Especialmente las concentraciones en los sedimentos submareales e intermareales fueron más semejantes. En relación a los criterios de calidad, solo el punto BSJ-06 superó el criterio ISQG que provocarían efectos adversos ocasionalmente con una probabilidad entre el 15% y 50% y el criterio PEL que indica efectos adversos frecuentemente sobre la biota con una probabilidad superior al 50%; (CCME, 2002) (Tabla 5.4-43).

Tabla 5.4-43: Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña verano de 2020. Bahía San Jorge, con fondo gris valores que superan criterio ISQG, en cursiva valores que superan el criterio PEL

	Punto de muestreo	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Vanadio (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Submareal	BSJ-01	0,82	<0,1	14,2	<0,01	<0,5	30	14,2
	BSJ-03	38,3	<2,5	21,8	<0,01	<2	14	30
	BSJ-04	36,1	<2,5	242,5	1,26	37	15,2	96
	BSJ-05	20,5	<2,5	19,6	0,02	13	<2,5	14
	BSJ-06	86,6	10	4024	0,91	381	17,4	5211
	BSJ-07	37,7	<2,5	28,8	0,13	7	11,7	25
	BSJ-08	63,8	<2,5	37,8	0,02	5	17,2	34
	BSJ-09	16,3	<2,5	27,7	0,03	2	11,1	16
	BSJ-10	36,5	<2,5	44,1	0,04	4	12,8	15
	Intermareal	TI-02	2,94	<0,1	18	<0,01	<0,5	31	34,3
TI-05		3,04	<0,1	19,4	0,01	<0,5	29	48,9
TI-06		2,56	<0,1	13,3	0,01	<0,5	29	25,8
TI-08		2,82	<0,1	29,7	<0,01	<0,5	25	22,2
CCME, 2002 (Canadá), ISQG		7.24	0.7	18.7	0.13	30.2	124	-
CCME, 2002 (Canadá), PEL		41.6	4.2	108	0.70	112	271	-

*en plomo sobre concentración ISQG, en negrita sobre concentración PEL.

Tabla 5.4-44: Concentración de Carbono Orgánico Total e Hidrocarburos totales registrados en los distintos puntos de medición de bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña verano 2020.

Estrato	Punto de medición	Carbono Orgánico Total (%)	Hidrocarburos Totales (mg/kg)
Submareal	BSJ-01	4	<9,2
	BSJ-02	-	-
	BSJ-03	5	<9,5
	BSJ-04	1,5	66
	BSJ-05	2,3	<9,7
	BSJ-06	1,6	34
	BSJ-07	<1	<9,5
	BSJ-08	<1	<9,5
	BSJ-09	<1	47
	BSJ-10	<1	<9,6

(-) valor no registrado.

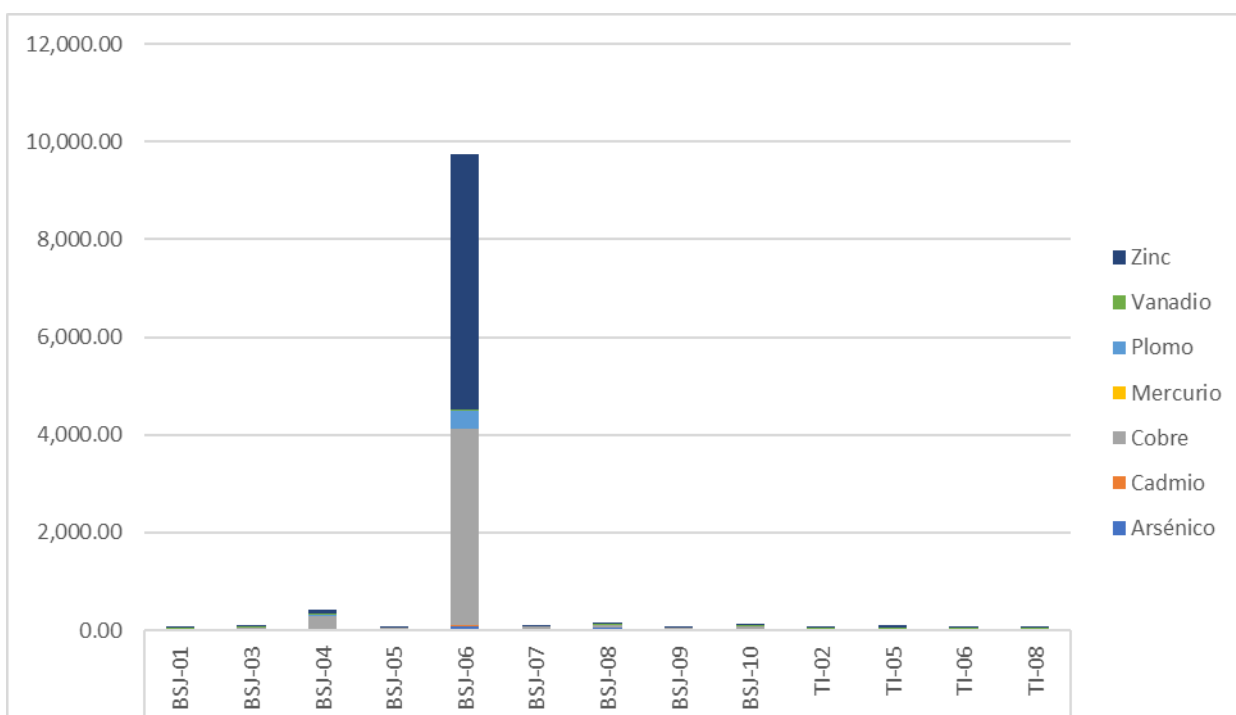


Figura 5.4-143 Metales medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña verano de 2020. Bahía San Jorge.

A continuación, en la Tabla 5.4-45, se presentan los valores de hidrocarburos y materia orgánica total en sedimentos, correspondientes a la campaña de monitoreo de verano de 2020.

Tabla 5.4-45 Hidrocarburos y materia orgánica medidos en sedimentos submareales e intermareales. Campaña verano de 2020. Bahía San Jorge.

Estrato	Punto de monitoreo	Hidrocarburos totales (mg/kg)	Materia Orgánica Total (%)
Submareal	BSJ-01	9.20	0.77
	BSJ-02	9.50	-
	BSJ-03	66.00	0.85
	BSJ-04	9.70	5.83
	BSJ-05	34.00	1.9
	BSJ-06	9.50	5.42
	BSJ-07	9.50	0.92
	BSJ-08	47.00	0.73
	BSJ-09	9.60	0.79
	BSJ-10	9.20	1.39
Intermareal	TI-02	9.80	1.09
	TI-05	9.40	1.15
	TI-06	9.30	1.05
	TI-08	9.30	0.02

(-) valor no registrado.

b) Resultados de muestras de la matriz biológica, verano 2020

· Fitoplancton

El análisis cualitativo indicó que la composición de fitoplancton durante el estío 2020 estuvo representada principalmente por el grupo de diatomeas con un total de 44 taxa, mientras que el grupo de dinoflagelados registró una presencia de 35 taxa y el grupo de los silicoflagelados estuvo representado por 2 taxa. Al analizar la composición taxonómica, los resultados indicaron que los taxa fitoplanctónicos que presentaron los índices de abundancia relativa en categoría “Muy Abundante” alcanzaron 21 grupos taxonómicos, destacando los dinoflagelados *Protoperidinium* spp., alcanzando altas densidades en 8 puntos de muestreo (Tabla 5.4-46).

Tabla 5.4-46: Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) para la comunidad de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020

Taxa/Punto de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
DIATOMEAS										
<i>Actinoptychus senarius</i>	R	-	-	-	R	-	-	-	-	-
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asteromphalus heptactis</i>	-	-	-	-	R	-	E	-	-	-
<i>Asteromphalus</i> sp.	A	-	R	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aulacoseira granulata</i>	-	-	E	A	R	-	-	-	-	-
<i>Bacteriastrium furcatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R
<i>Chaetoceros</i> sp.	M	-	E	-	E	R	E	E	-	E
<i>Chaetoceros teres</i>	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-
<i>Cocconeis</i> sp.	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corethron criophilum</i>	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus</i> sp.	M	-	E	E	E	E	E	E	A	A
<i>Cylindrotheca</i> sp.	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella</i> sp.	R	-	-	-	R	-	-	-	R	-
<i>Entomoneis</i> sp.	-	-	-	R	-	-	-	-	R	E
<i>Eucampia zodiacus</i>	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria crotonensis</i>	-	-	M	M	M	-	-	-	-	E
<i>Fragilaria</i> sp.	R	-	R	-	-	E	R	-	-	-
<i>Gomphonema</i> sp.	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grammatophora marina</i>	A	-	-	E	-	-	-	-	-	M
<i>Guinardia</i> sp.	E	-	E	E	E	A	A	E	E	R
<i>Leptocylindrus danicus</i>	E	-	E	A	M	E	-	M	E	E
<i>Licmophora abbreviata</i>	E	-	-	R	E	-	-	-	-	-
<i>Lithodesmium undulatum</i>	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Melosira</i> sp.	-	-	-	-	-	-	E	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.	E	-	-	-	E	-	R	-	-	-
<i>Nitzschia longissima</i>	M	-	-	-	-	-	-	E	E	-
<i>Nitzschia</i> sp.	-	-	A	E	-	M	M	A	-	E
<i>Odontella aurita</i>	A	-	E	-	-	-	-	-	-	-
<i>Odontella</i> sp.	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taxa/Punto de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
<i>Planktoniella sol</i>	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pleurosigma directum</i>	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-
<i>Pleurosigma sp.</i>	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-
<i>Pseudonitzschia sp.</i>	M	-	E	E	A	A	E	A	R	R
<i>Rhabdonema sp.</i>	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia alata</i>	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	E	-	-	-	E	-	E	-	-	-
<i>Rhizosolenia setigera</i>	M	-	E	-	A	E	E	R	-	R
<i>Rhizosolenia sp.</i>	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanopyxis sp.</i>	-	-	-	-	E	-	-	-	-	-
<i>Surirella sp.</i>	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tabellaria fenestrata</i>	-	-	M	E	-	-	-	-	-	-
<i>Tabellaria sp.</i>	-	-	-	-	A	-	E	-	-	M
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	M	-	-	-	-	M	M	M	E	R
<i>Thalassiosira sp.</i>	M	-	-	E	-	-	-	R	R	-
DINOFLAGELADOS										
<i>Chatonella sp.</i>	-	-	-	-	E	-	-	E	E	-
<i>Dinophysis acuminata</i>	-	-	-	-	-	R	-	R	E	E
<i>Dinophysis caudata</i>	R	-	E	-	E	E	E	R	E	E
<i>Dinophysis hastata</i>	R	-	-	-	-	-	R	-	R	-
<i>Dinophysis sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	E	-	-
<i>Diplopsalis sp.</i>	R	-	E	E	A	A	A	-	E	E
<i>Gonyaulax spirifera</i>	-	-	-	-	-	-	-	E	-	-
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	R	-	E	-	R	-	-	M	M	M
<i>Gymnodinium sp</i>	M	-	E	E	A	E	E	M	A	A
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	E	-	-	R	R	-	-	E	R	-
<i>Podolampas palmipes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-
<i>Polykrikos sp</i>	R	-	-	-	-	-	-	E	-	-
<i>Prorocentrum acuta</i>	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum gracile</i>	-	-	M	M	M	M	M	A	-	-
<i>Prorocentrum micans</i>	-	-	-	-	-	-	-	E	-	-
<i>Prorocentrum sp.</i>	-	-	-	R	-	-	R	-	-	R
<i>Protoperidinium claudicans</i>	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Protoperidinium conicum</i>	-	-	-	-	-	-	-	E	R	-
<i>Protoperidinium depressum</i>	-	-	-	R	R	R	E	-	R	R
<i>Protoperidinium oblongum</i>	-	-	-	E	-	-	R	-	-	R
<i>Protoperidinium oceanicum</i>	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-
<i>Protoperidinium ovatum</i>	-	-	E	-	E	E	E	E	E	-
<i>Protoperidinium pallidum</i>	-	-	-	-	-	E	-	-	R	-
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	-	-	-	-	E	-	E	-	E	R
<i>Protoperidinium sp.</i>	M	-	A	M	M	M	M	M	M	M
<i>Protoperidinium steinii</i>	M	-	-	-	-	-	-	-	R	-
<i>Pyrophacus sp.</i>	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	R	-	R	E	E	E	R	A	R	E
<i>Tripos azoricum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-

Taxa/Punto de muestreo	BSJ-01	BSJ-02	BSJ-03	BSJ-04	BSJ-05	BSJ-06	BSJ-07	BSJ-08	BSJ-09	BSJ-10
<i>Tripos balechii</i>	-	-	-	E	E	E	E	M	M	A
<i>Tripos furca</i>	E	-	-	R	-	-	-	-	M	E
<i>Tripos fusus</i>	-	-	-	-	E	A	E	E	E	E
<i>Tripos lineatus</i>	E	-	-	-	-	-	-	-	E	R
<i>Tripos muelleri</i>	-	-	-	-	E	E	E	R	E	E
<i>Tripos sp.</i>	-	-	-	-	-	-	R	R	E	-
SILICOFLAGELADOS										
<i>Dictyocha fibula</i>	-	-	-	R	-	-	R	-	R	-
<i>Octatis octonaria</i>	E	-	-	-	-	-	R	R	E	-

En cuanto al análisis cuantitativo de fitoplancton se registró un total de 105 taxa, de los cuales 52 correspondieron al grupo de los dinoflagelados, 50 pertenecieron al grupo de las diatomeas, 2 al grupo de los silicoflagelados y 1 taxón perteneciente al grupo de las algas doradas (Chrysophyta). Los valores de riqueza a nivel espacial fueron más bien similares donde el mayor número de taxa se registró en el estrato superficial del punto BSJ-10 y en el estrato de fondo del punto BSJ-05 con 46 taxa en cada estrato. En cambio, la abundancia registró valores más bien irregulares entre puntos de muestreo y estratos evaluados, donde el mayor valor se registró en el punto BSJ-01 en el estrato de superficie con 53.624 cel/L (Figura 5.4-144 ay Figura 5.4-145 a). Durante la campaña estival los ensamblajes prospectados estuvieron dominados numérica y taxonómicamente por el grupo de los dinoflagelados en gran parte de los puntos de muestreo visitados (Figura 5.4-144 b y c; Figura 5.4-145 b y c).

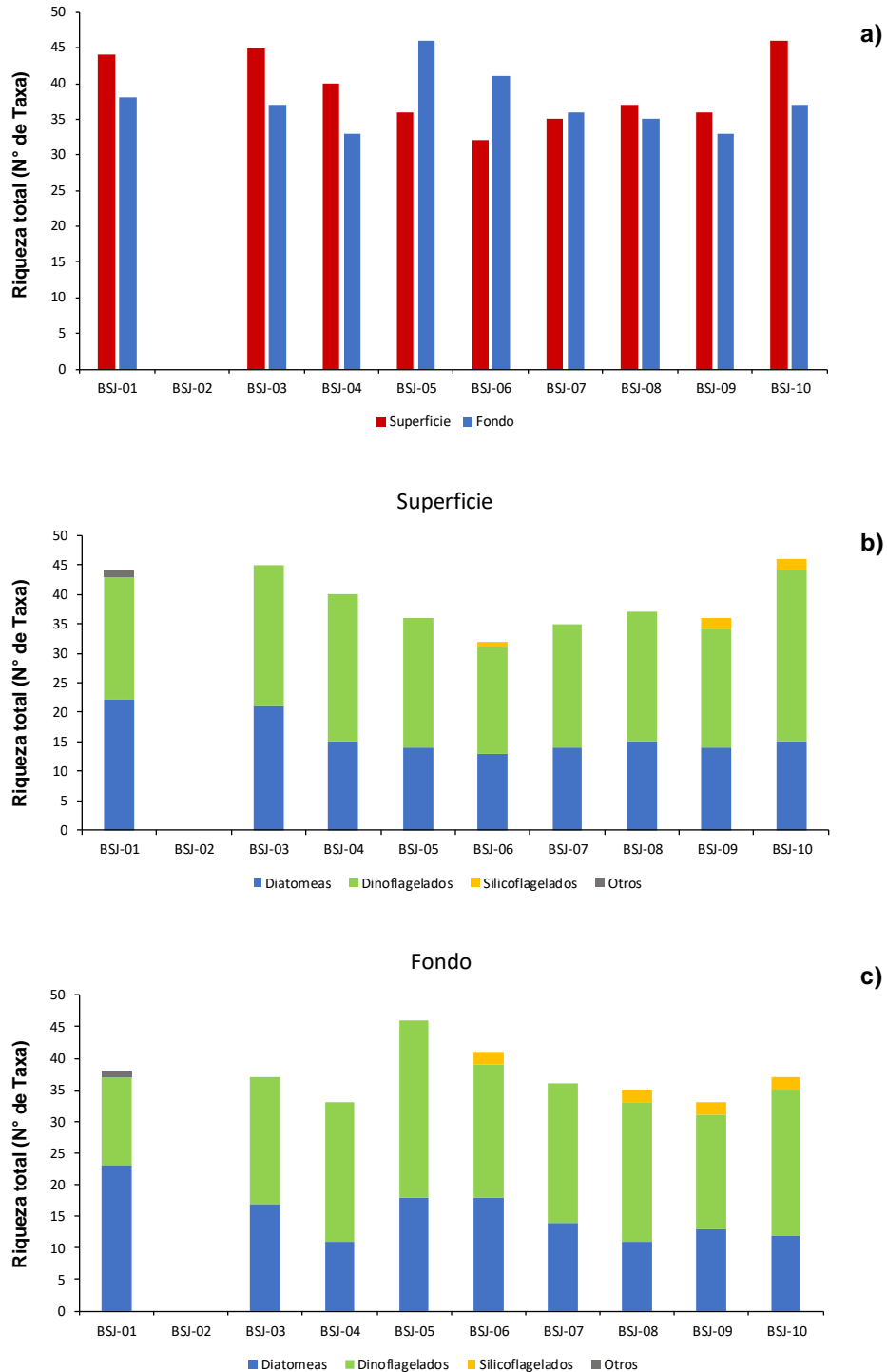


Figura 5.4-144 Riqueza total (a) y riqueza según estrato de profundidad (b y c) de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

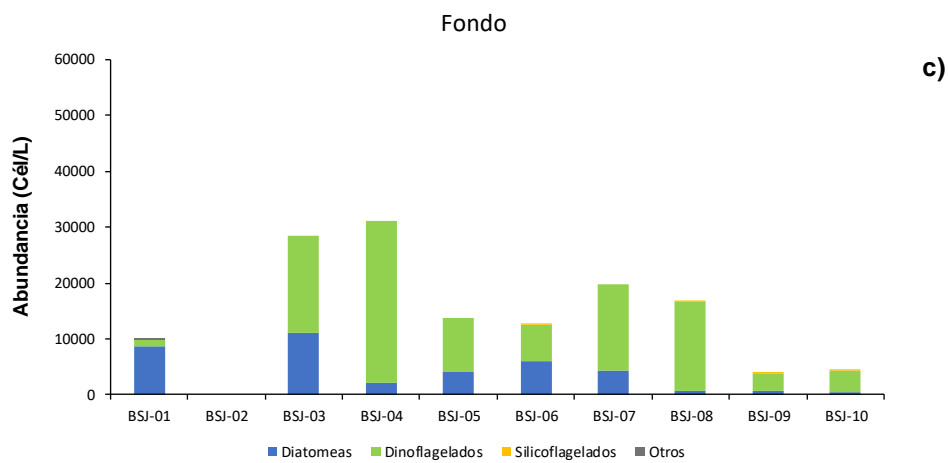
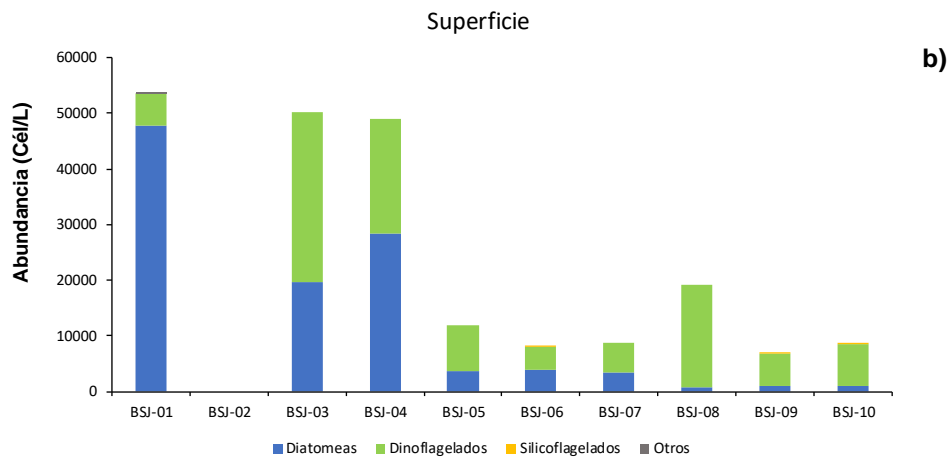
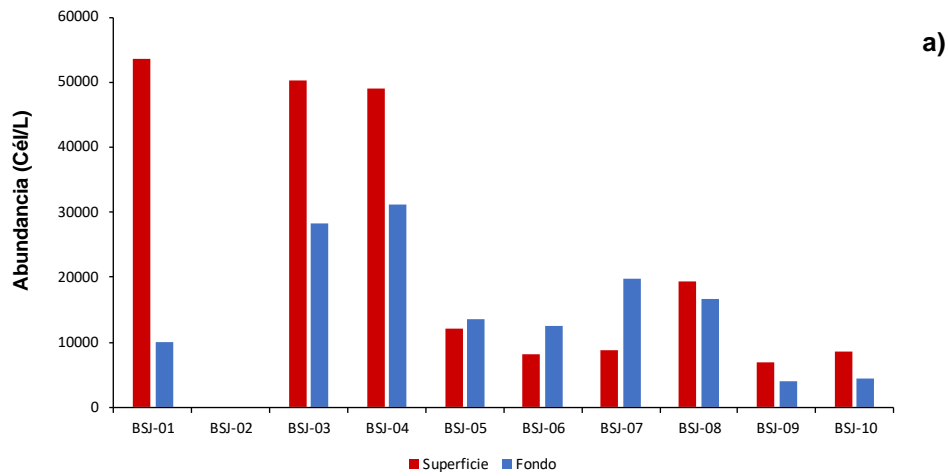


Figura 5.4-145 Abundancia (a) y abundancia según estrato de profundidad (b y c) de fitoplancton en el sector de bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020

La composición de fitoplancton estuvo representada mayoritariamente por especies pertenecientes al grupo de los dinoflagelados y diatomeas, con alta variabilidad de dominancias entre puntos de muestreo y estratos. Los puntos de muestreo localizados hacia el extremo norte (BSJ-01) o sector sur del área de muestreo (BSJ-08, BSJ-09 y BSJ-10) presentan, por lo general, ensambles con una composición distinta a los sectores localizados en la zona central del área de interés, a la cuadra de la ciudad de Antofagasta, en ambos estratos de profundidad (Figura 5.4-146).

La estructura de la comunidad de fitoplancton estuvo representada por una alta diversidad y con abundancias más bien equitativas entre los taxa registrados en el área de estudio sin registros de dominancias monoespecíficas. Los valores del índice de diversidad H' estimados en los distintos puntos de muestreo y considerando los dos estratos de profundidad prospectados mostraron valores relativamente equivalentes entre ambos estratos. Las mayores diferencias se observaron en el punto BSJ-08, donde el menor valor de H' en el estrato de fondo fue producto, en gran parte, a la dominancia del dinoflagelado *Gymnodinium* spp. Espacialmente, el registro más alto de H' en el área de estudio se estimó en el estrato superficial del punto BSJ-10, alcanzando 3,13 bits, producto del alto número de taxa y a la ausencia de grupos taxonómicos claramente dominantes (Figura 5.4-147 a). Respecto de los valores del índice de equidad J' , se observó un patrón similar al descrito para el índice de diversidad. Esto es, todos los puntos de muestreo, independientemente de su estrato de profundidad, presentaron valores aproximadamente equivalentes y cercanas a 0,5 Bits, lo que sugiere ensambles heterogéneos con dominancias discretas de pocos grupos taxonómicos. El punto BSJ-08 presentó igualmente las mayores diferencias de los valores de J' entre ambos estratos, como consecuencia de la ya mencionada dominancia en el estrato de fondo de los dinoflagelados *Gymnodinium* spp. Espacialmente, el registro más alto de J' se estimó en el estrato superficial del punto BSJ-06 y en el estrato de fondo del punto BSJ-09, como consecuencia de la ausencia de uno o muy pocos grupos taxonómicos claramente dominantes (Figura 5.4-147 b).

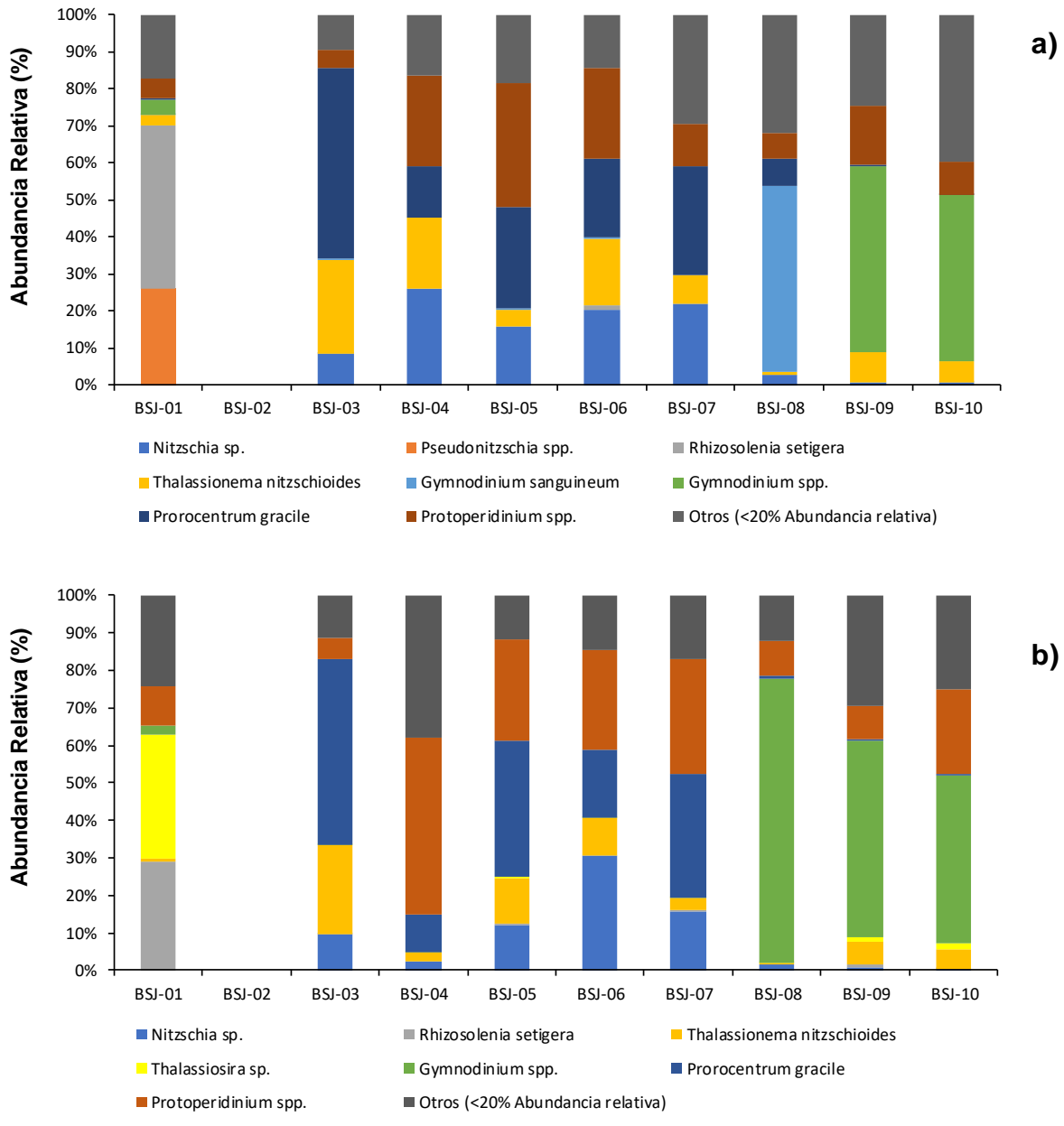


Figura 5.4-146 Abundancia relativa de fitoplancton en estrato superficial (a) y estrato de fondo (b) en área de estudio. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

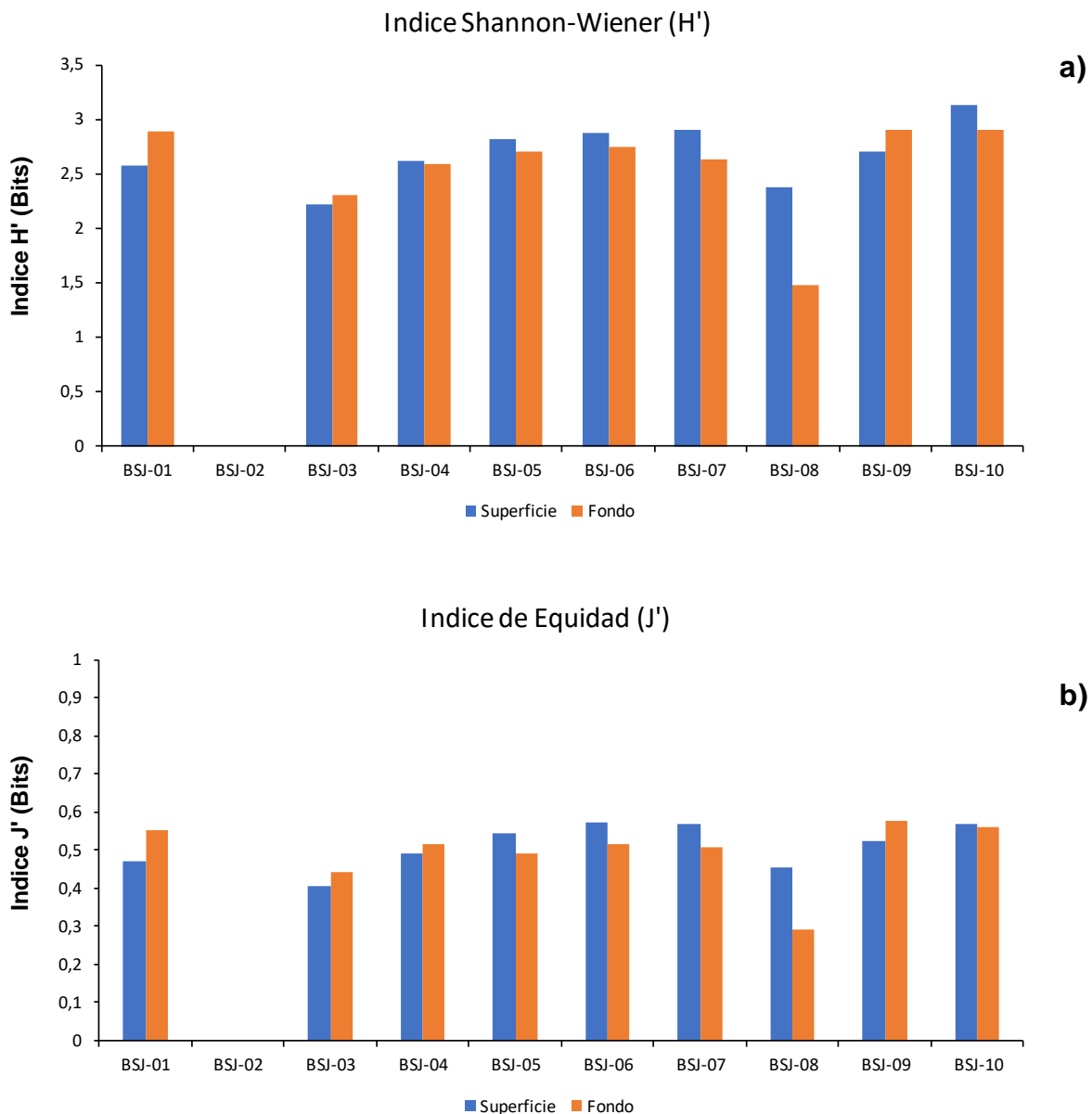


Figura 5.4-147 Índices de Diversidad H' (a) y Equidad J' (b) estimados para los puntos de muestreo en los estratos superficial y fondo. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

· Zooplancton

Para definir la estructura comunitaria del zooplancton se evaluaron de acuerdo con su permanencia en el plancton, clasificándose como Meroplancton (parte de ciclo de vida en el plancton) y Holoplancton (ciclo de vida permanente dentro de la columna de agua).

El Meroplancton registró 11 taxa compuesto principalmente por estados de Zoeas y Larvas. A nivel espacial, la riqueza total presentó un patrón heterogéneo en el sector de la bahía con mayor valor de riqueza en el punto BSJ-02 (Figura 5.4-148a). En cuanto a la abundancia promedio, los registros de la campaña estival mostraron una notable diferencia entre las mayores densidades reconocidas en el sector norte del área de interés respecto de las otras zonas prospectadas. Así, el registro máximo se levantó en el punto BSJ-01 con 821 ind/m^3 (Figura 5.4-148b).

Para determinar la dominancia de organismos de meroplancton en el área de estudio, se consideraron los taxa con abundancia relativa igual o superior a 10%, siendo el resto de los taxa agrupados en la categoría “Otros”. Entre los grupos identificados en el área de estudio, las larvas de cirripedio, bivalvos y poliquetos presentaron una dominancia relativa en el área de estudio (excepto en el punto BSJ-02 donde no se obtuvieron datos), siendo las larvas de bivalvos el grupo dominante en los ensambles de meroplancton considerados en el área de estudio, mientras que las larvas de gusanos poliquetos se restringieron en su dominancia relativa al sector norte del área de interés (sector Juan López). (Figura 5.4-148c).

La estructura del meroplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo, presentando los registros más altos de diversidad de Shannon-Wiener en la zona sur (sector Puerto Coloso) y zona norte (Sector Juan López) del área de estudio con 1,821 bits y 1,817 bits, respectivamente. Como consecuencia de un discreto número de taxa que configuraron cada ensamble prospectado y a la ausencia de un taxón claramente dominante al interior de dichos ensambles. En contraste, el registro más bajo se estimó en el punto BSJ-08, donde debido al escaso número de taxa, el valor de H' fue equivalente a 0 (sin considerar la ausencia de datos registrada en el punto BSJ-02) (Figura 5.4-149). El índice de equidad J' presentó el registro más alto en la zona de Puerto Coloso (BSJ-09) con 0,910 bits producto de la ausencia de taxa dominantes. En tanto, el registro más bajo de este parámetro comunitario, sin considerar los puntos BSJ-02 y SBJ-08, se estimó en el punto BSJ-06 (Puerto de Antofagasta) alcanzando 0,337 bits, producto de la dominancia relativa de un grupo taxonómico (larvas de bivalvos) (Figura 5.4-149).

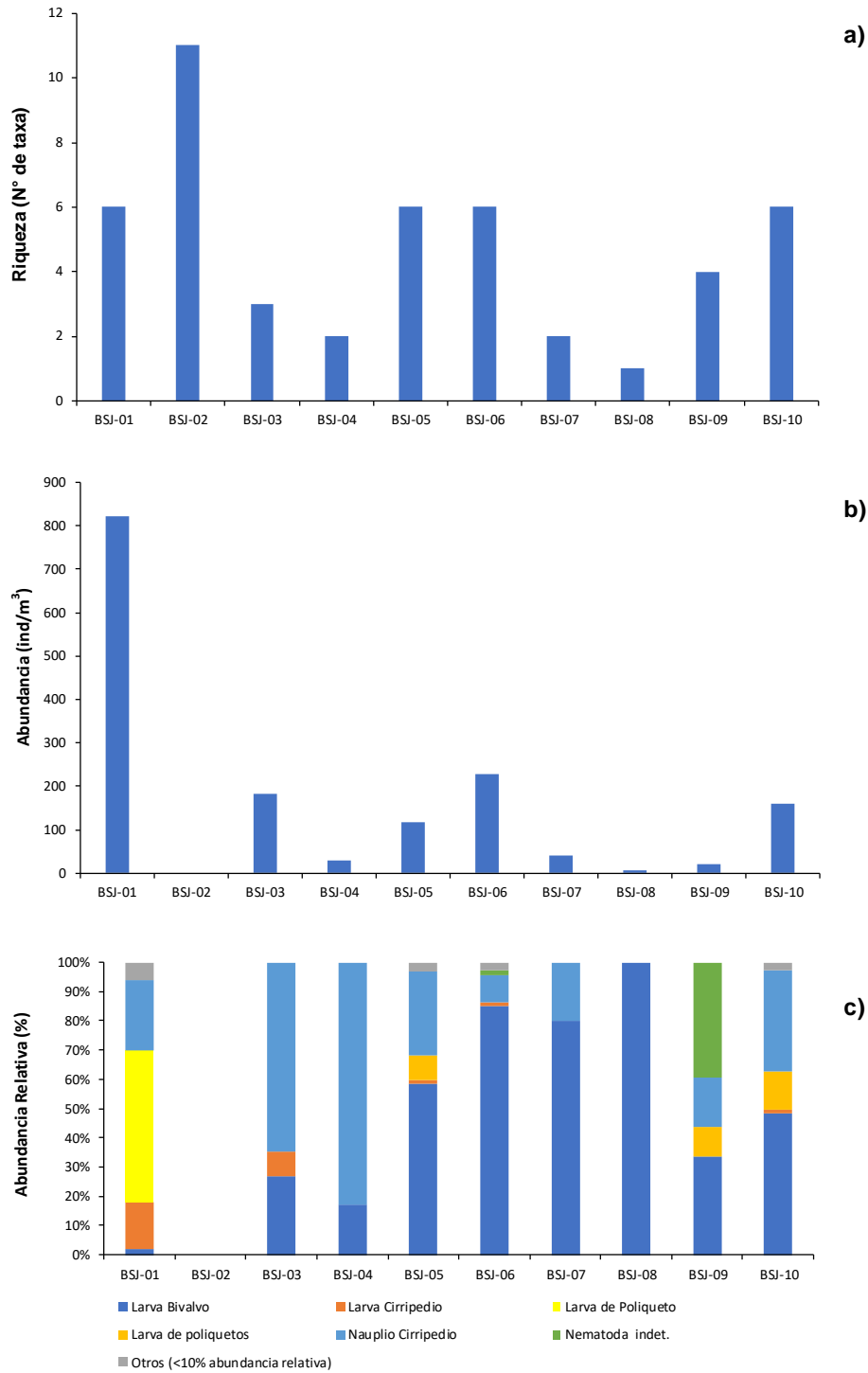


Figura 5.4-148 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio y c) Abundancia relativa (%) del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

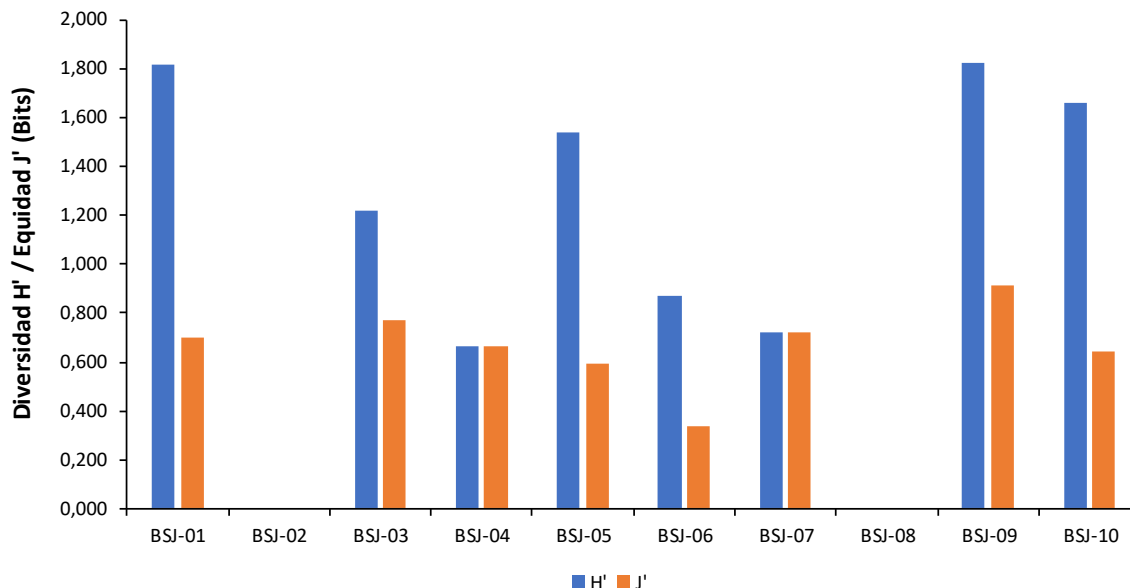


Figura 5.4-149 Índice de Shannon Wiener (H') e Índice de Equidad de Pielou (J'), para las comunidades Meroplanctónicas presentes en el área de estudio. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

El Holoplancton registró 19 taxa compuesto principalmente por Copépodos. A nivel espacial la riqueza total presentó un patrón heterogéneo en todo el sector de la bahía, alcanzando el registro más alto hacia el norte del área de estudio (punto BSJ-02) (Figura 5.4-150a). Asimismo, los valores de abundancia promedio presentaron un patrón heterogéneo entre puntos de muestreo, observándose mayores valores en el punto de muestreo BSJ-04, localizado en la parte norte de la ciudad de Antofagasta (Figura 5.4-150b).

Para determinar la dominancia de organismos de zooplancton en el área de estudio, se consideraron los taxa con abundancia relativa igual o superior a 10%, siendo el resto de los taxa agrupados en la categoría "Otros". Durante la campaña estival 2020 en el área de estudio se registró mayor presencia de copépodos. En el sector norte y a la cuadra de la ciudad de Antofagasta (BSJ-01 a BSJ-07) mayor dominancia de Nauplio de copépodos. En tanto, en el sector de Puerto Coloso (BSJ-09 y BSJ-10) dominaron los tintínidos y rotíferos (Figura 5.4-150c).

La estructura del Holoplancton, en cuanto a diversidad y equidad de agrupaciones taxonómicas, presentó un patrón irregular entre los puntos de muestreo, alcanzando el registro más alto del parámetro de diversidad H' en el sector norte del área de estudio (BSJ-01) alcanzando 2,762 bits, producto del alto número de taxa y a la ausencia de un grupo taxonómico claramente dominante (Figura 5.4-151). El índice de equidad mostró los valores más altos en hacia la zona sur del área de estudio (sector sur de ciudad de Antofagasta y Puerto Coloso), así como hacia el extremo norte del área de estudio (sector Juan López), alcanzando el registro más alto en el punto BSJ-08 con 0,869 bits producto de la ausencia de taxa claramente dominantes. En contraste, el registro más bajo de ambos parámetros

comunitarios (sin considerar la ausencia de datos en el punto BSI-02) se estimó a la cuadra del puerto de Antofagasta, punto BSI-07, producto del bajo número de taxa y a la dominancia numérica del grupo de nauplios de copépodos al interior de dicho ensamble.

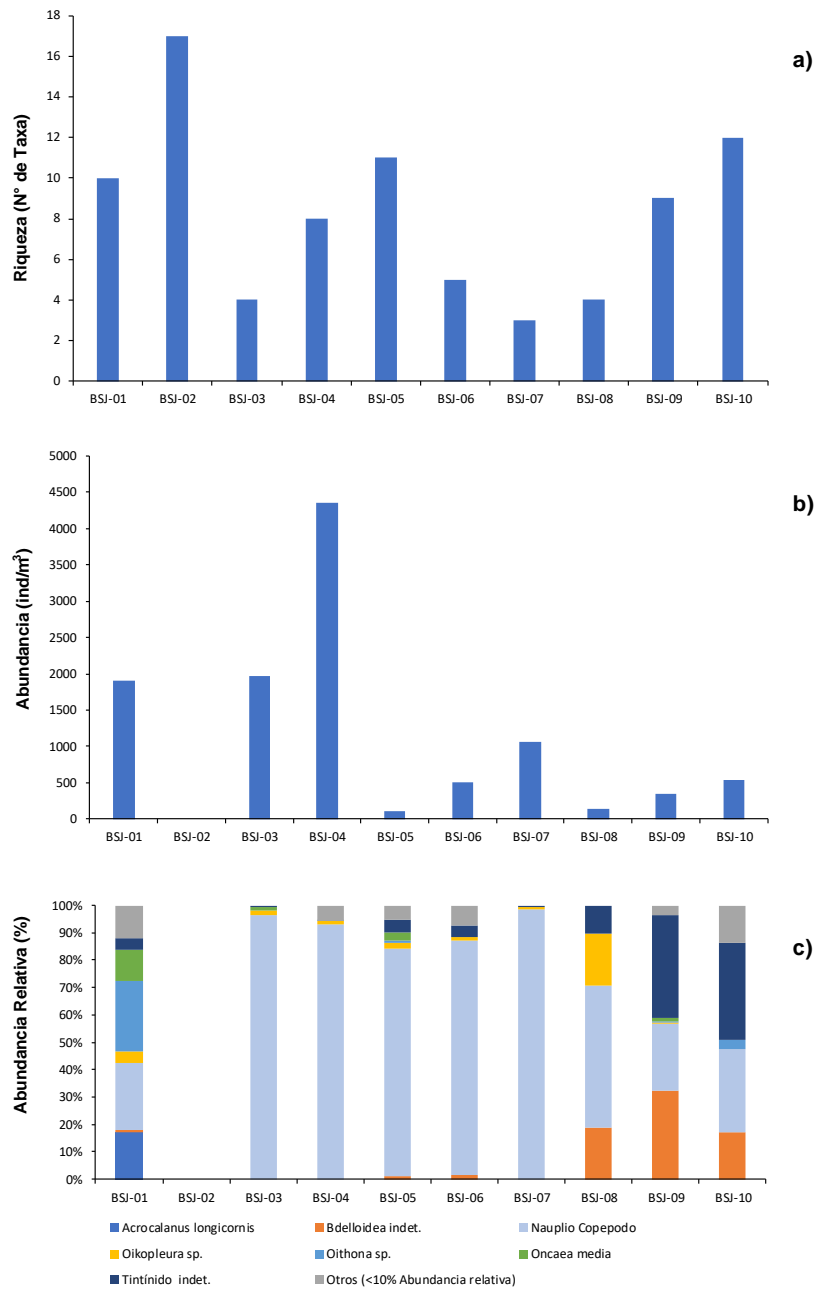


Figura 5.4-150 a) Riqueza total, b) Abundancia promedio y c) Abundancia relativa (%) del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

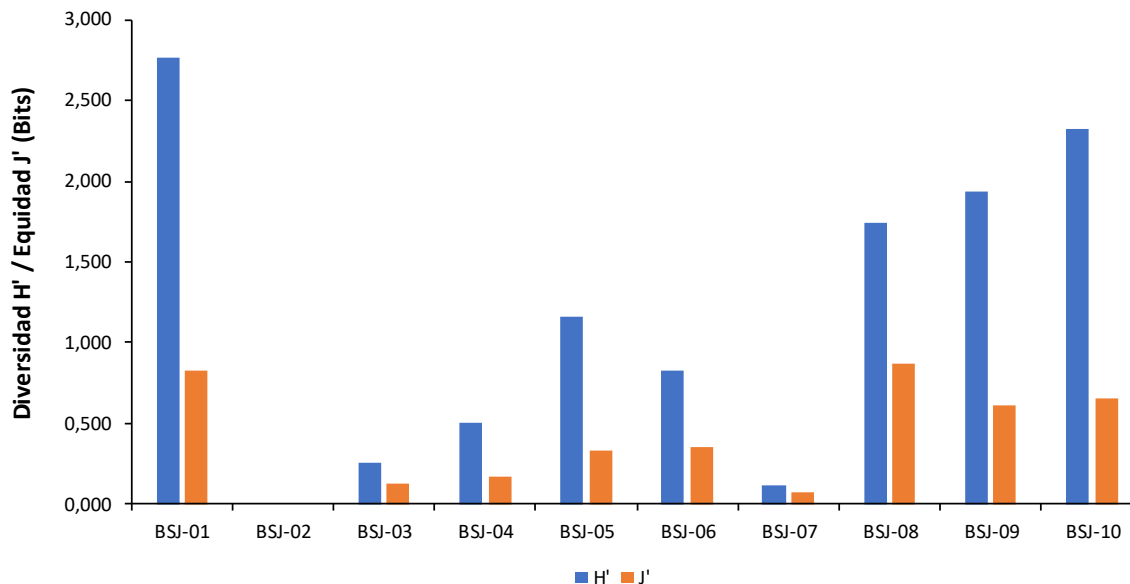


Figura 5.4-151 Índice de Shannon Wiener (H') e Índice de Equidad de Pielou (J'), para las comunidades Holoplanctónicas presentes en el área de estudio. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

· Ictioplancton

El ictioplancton registro una riqueza total de 3 taxa. La especie pelágica *Engraulis ringens* (Anchoveta), para la cual se detectaron solo huevos, la especie demersal cabrilla respecto de la cual se detectaron sólo larvas y una larva de ictiofauna no identificada. La riqueza total en el área de estudio presentó valores irregulares entre los puntos de muestreo para los dos estadios de desarrollo, con igual presencia de huevos en los puntos BSJ-04, BSJ-05 y BSJ-06. La porción de larva presentó dos taxa, donde sólo uno de ellos se detectó en los puntos BSJ-08 (taxón no identificado), en tanto que en el punto BSJ-10 se detectó la presencia de larvas de *Sebastes oculatus* (Cabrilla) (Figura 5.4-152a; Figura 5.4-153a).

La abundancia promedio en cambio, presentó mayor abundancia de huevos frente a la zona norte de la ciudad de Antofagasta (BSJ-04), mientras que para la porción de larvas las mayores densidades se estimaron hacia el sur de la ciudad de Antofagasta (BSJ-08). Los menores valores de abundancia de huevos se detectaron en el sector del puerto de Antofagasta (BSJ-06) y en el sector de Puerto Coloso para el caso de larvas (BSJ-10) (Figura 5.4-152b; Figura 5.4-152b). Para huevos y larvas los puntos BSJ-01, BSJ-02, BSJ-03, BSJ-07 y BSJ-09 no presentaron individuos.

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 presentaron dominancia de la Anchoveta *Engraulis ringens* para la porción de huevos en tres de los puntos de muestreo de la bahía. En tanto, para la porción de larvas la dominancia

de cabrillas (*S. oculatus*) y especies no identificadas se concentró en la zona sur del área de muestreo (Figura 5.4-152c; Figura 5.4-153c).

La discreta estructura del ictioplancton observada durante la presente campaña estival no permitió estimar valores para los parámetros comunitarios de diversidad H' y de equidad J' .

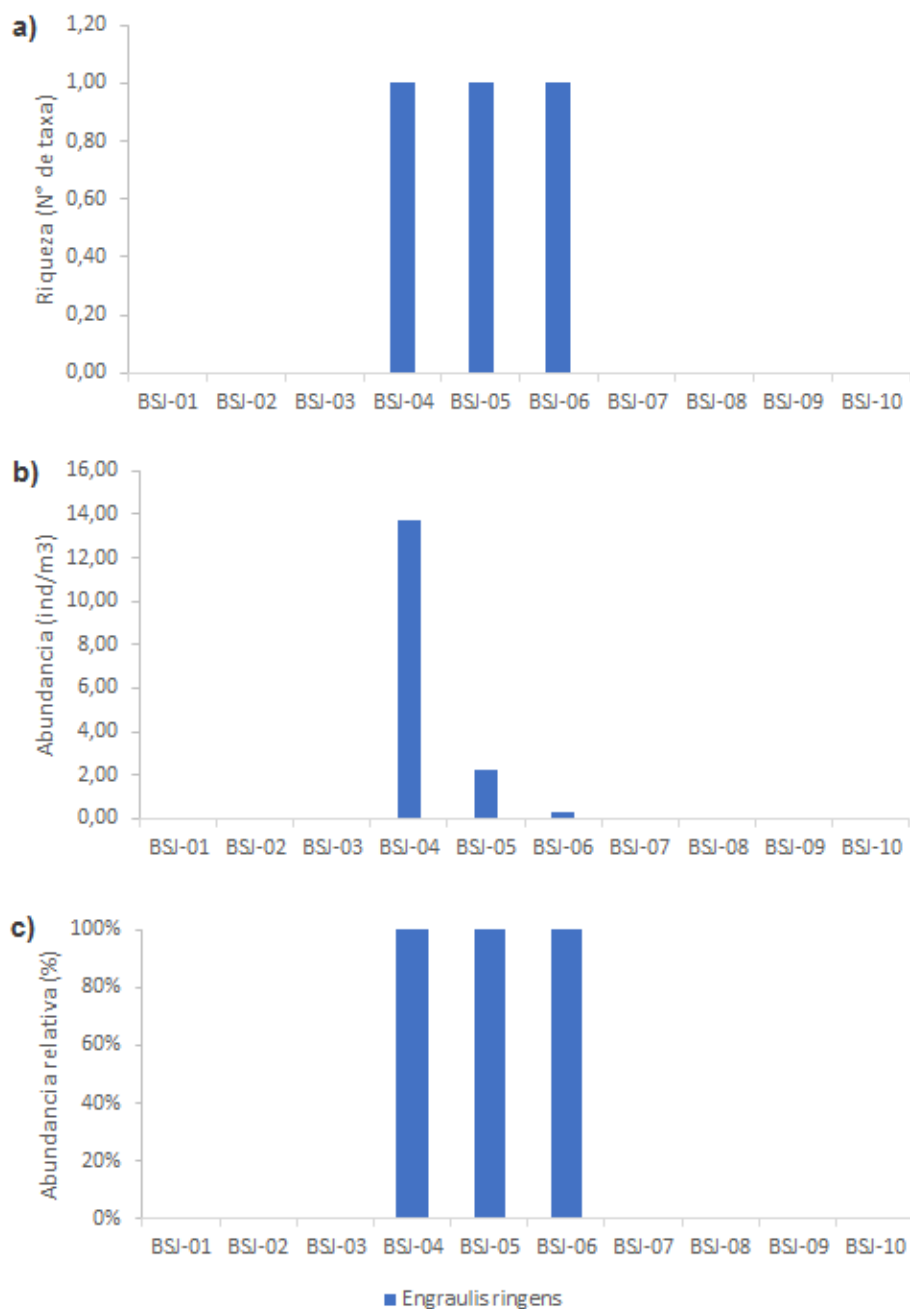


Figura 5.4-152: a) Riqueza total, b) Abundancia promedio y c) Abundancia relativa (%) de la fracción de huevos. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de verano 2020.

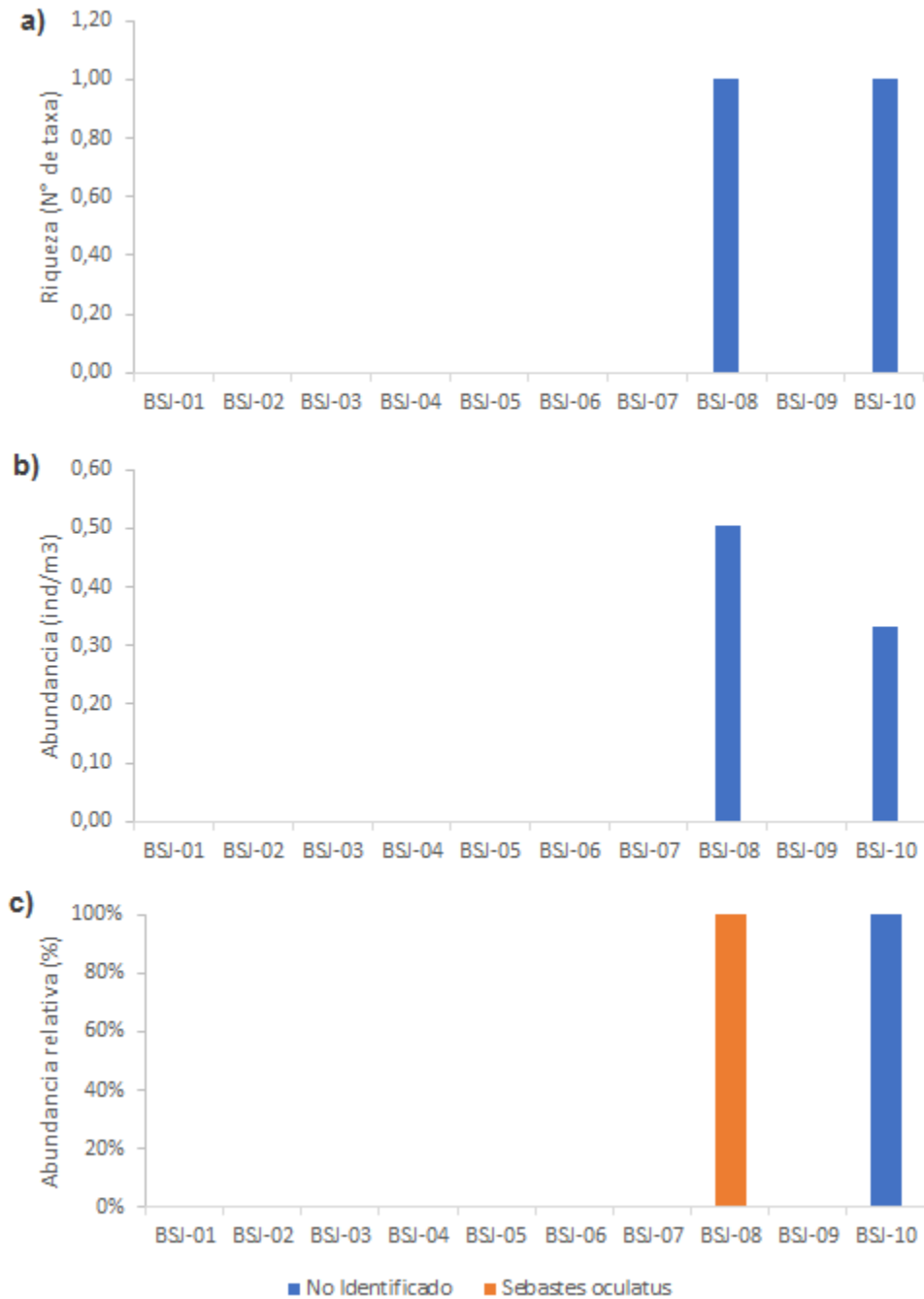


Figura 5.4-153: a) Riqueza total, b) Abundancia promedio y c) Abundancia relativa (%) de la fracción de larvas. Valores obtenidos en Bahía San Jorge. Campaña de verano 2020.

- Comunidades bentónicas
- Submareal blando

En el muestreo realizado en verano de 2020, se registró un total de 69 taxa en la comunidad de la infauna asociada al sistema submareal blando. Las mayores riquezas y abundancias fueron registradas en los puntos de muestreo ubicados al norte y al sur del área de estudio (BSJ-01 y BSJ-10, respectivamente) para ambos parámetros monitoreados (Figura 5.4-154a y b). Los grupos taxonómicos dominantes en el punto de muestreo con las mayores densidades y número de taxa registradas (BSJ-01) correspondió al grupo de los crustáceos malacostracos, representados básicamente por anfípodos fosoriales. Asimismo, en la mayoría de los puntos de muestreo dominó el grupo de los gusanos poliquetos, mayormente representados por organismos suspensívoros de las familias Spionidae, Cirratulidae y Magelonidae, así como gusanos carnívoros de la familia Nephtyidae (Figura 5.4-155).

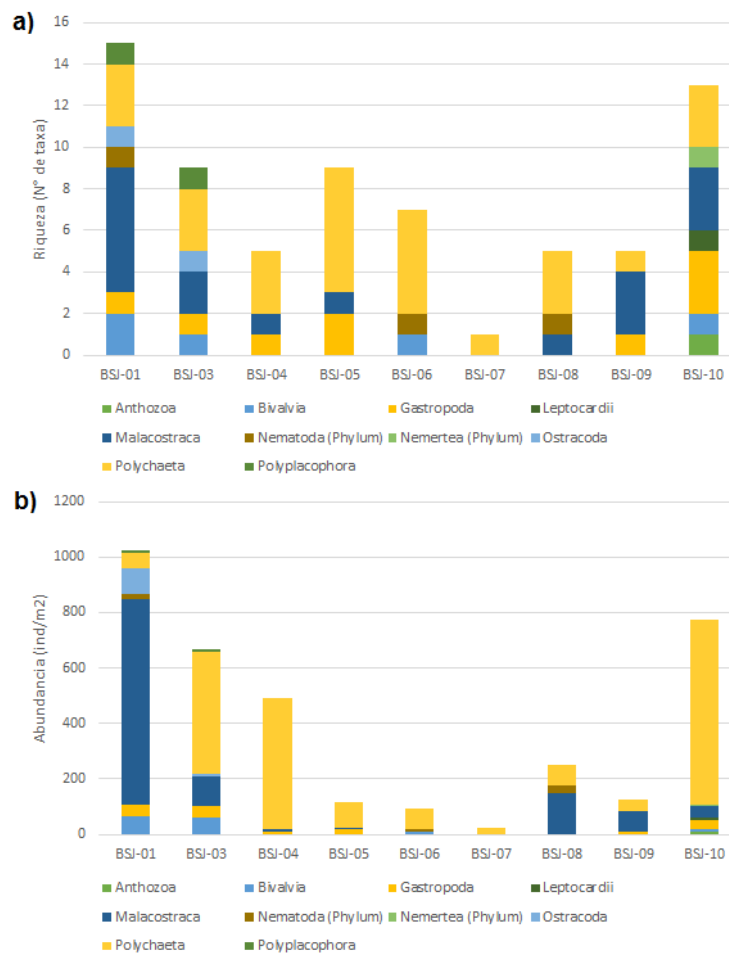


Figura 5.4-154 Riqueza (a) y abundancia (b) promedio estimadas para ensambles de zoobentos submareal de sustrato blando. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

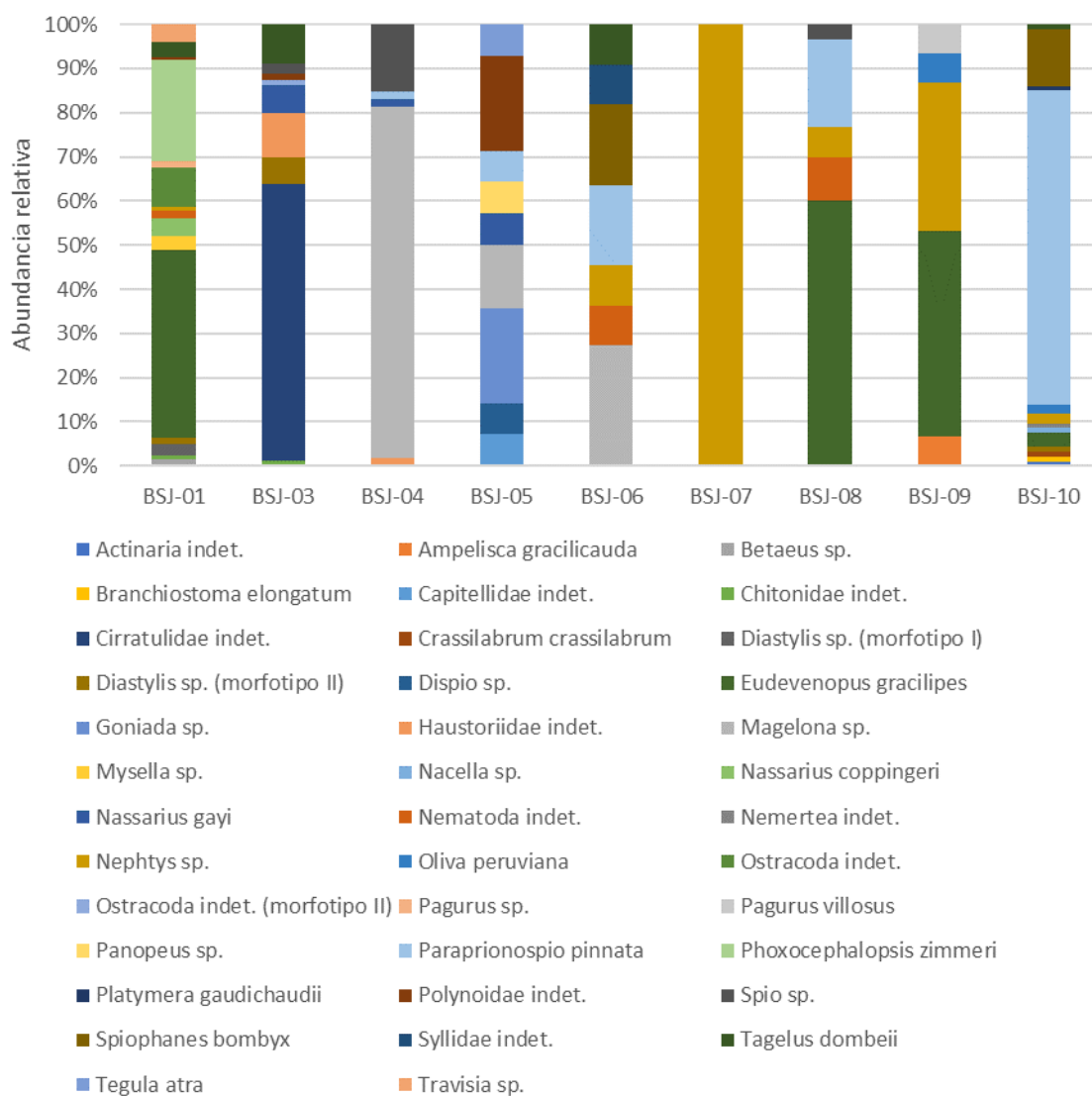


Figura 5.4-155 Abundancia relativa de ensamblajes de zoobentos submareal en área de estudio. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña verano de 2020.

– Intermareal blando

Durante la campaña estival se constató una escasa presencia de invertebrados bentónicos en el ambiente intermareal de sustrato blando del área de estudio, reconociéndose las mayores densidades y un leve aumento en el número de especies en el transecto TI-08, respecto del resto de los transectos de sustrato blando prospectados (Figura 5.4-156 a y b). Mientras en el estrato inferior dominaron exclusivamente el grupo de los crustáceos decápodos *Emerita* análoga, en el estrato superior, se reconoció la presencia de crustáceos

isópodos (*Excirolana braziliensis*) e insectos coleópteros (*Phalerisida maculata*) (Figura 5.4-156 c).

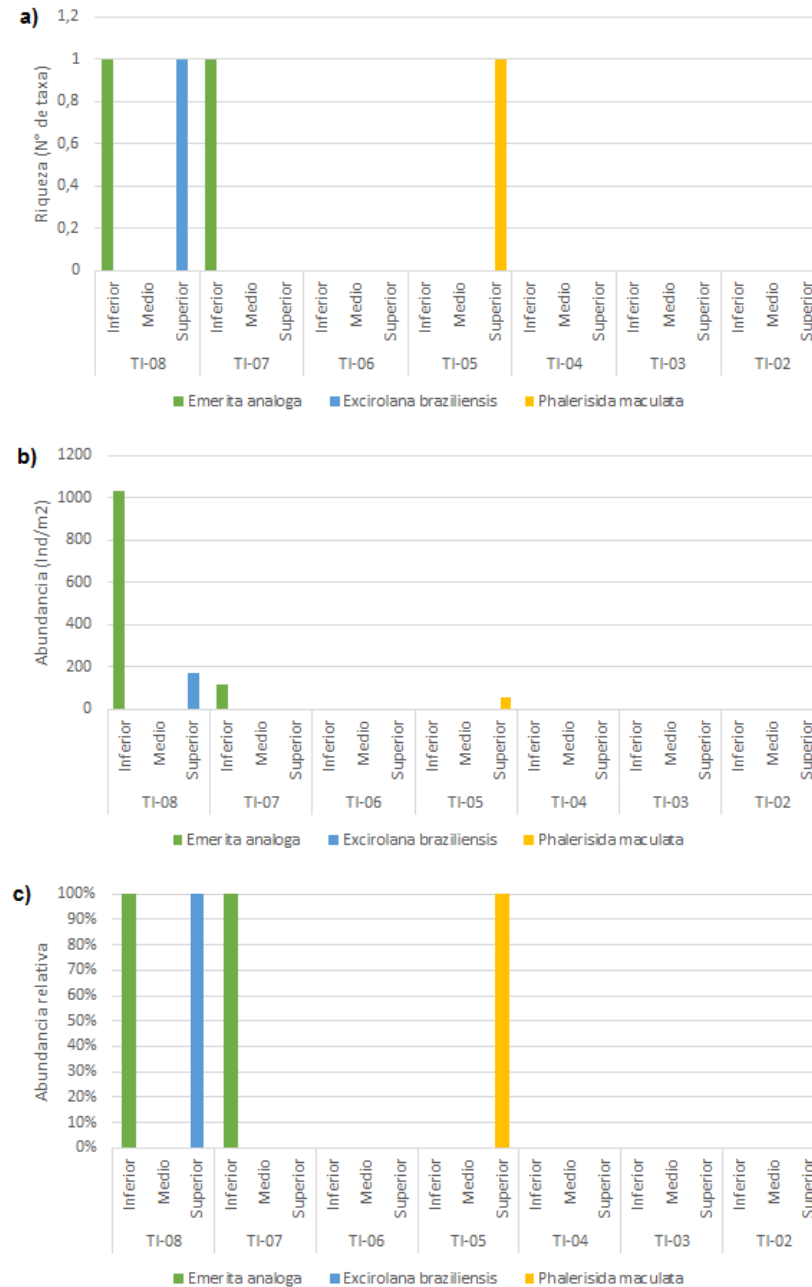


Figura 5.4-156 Riqueza (a), abundancia (b) y abundancia relativa (c) de ensambles de zoobentos intermareal de área de estudio. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

– Intermareal duro

Respecto de los organismos sésiles observados en el transecto prospectado (TIR-1), se reconoció durante la campaña estival un total de 10 grupos taxonómicos. De estos, 4 pertenecieron al grupo de los cnidarios. Por su parte, el grupo de macroalgas y moluscos alcanzaron el segundo lugar con 2 grupos taxonómicos cada uno. En tercer término, se ubicaron los grupos de crustáceos y tunicados, los que estuvieron representados cada uno por un taxón. Con relación a la riqueza puntual de organismos sésiles observada en la zona intermareal prospectada, se observó que los mayores valores de riqueza se registraron en la zona inferior e intermedia de la franja intermareal, decreciendo hacia el estrato superior del transecto intermareal prospectado. Así, los valores promedio estimados en las zonas inferior e intermedia alcanzaron 7 taxa, respectivamente. Todas las especies reconocidas presentaron una amplia distribución geográfica, la que para la mayoría de ellas excede la escala local y regional de su rango de distribución (Figura 5.4-157a).

Con relación a los valores de cobertura de los organismos sésiles, se observó que los mayores registros se levantaron en el estrato intermedio de la franja intermareal prospectada, producto de la importante presencia de bivalvos filtradores y de crustáceos cirripedios (55% de cobertura considerando ambas especies), mientras que el registro más bajo se detectó en la zona superior. Así, los valores de cobertura promedio en el transecto prospectado variaron entre 62,5% de cobertura en la zona intermedia de la franja intermareal, decayendo a 49,5% de cobertura en la zona superior (Figura 5.4-157b).

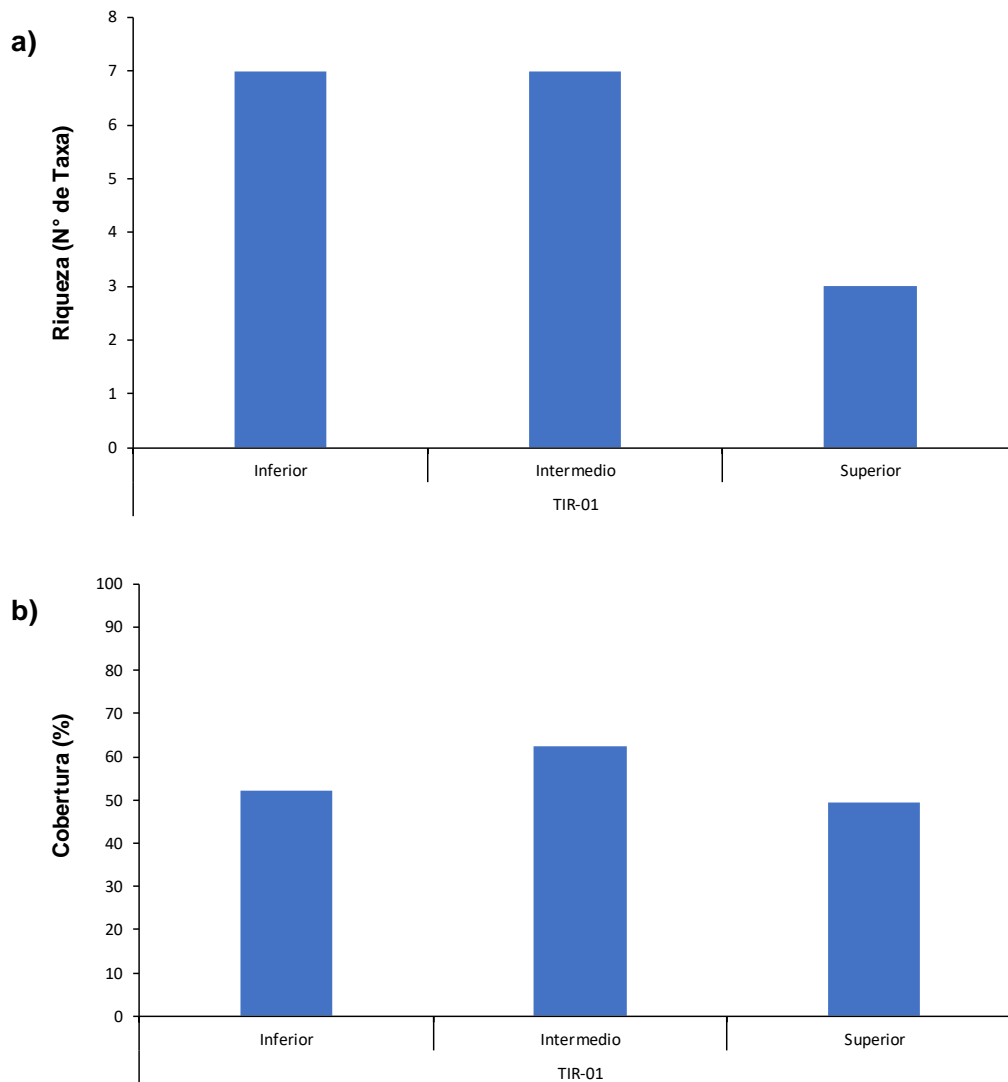


Figura 5.4-157 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos sésiles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

Con relación a las coberturas relativas, destacó la dominancia en el estrato superior e intermedio de los bivalvos mitílidos *Perumytilus purpuratus*, mientras que en la zona inferior dominaron los tunicados *Pyura chilensis*, los que sirven de sustrato secundario para el asentamiento y desarrollo de algas verdes (*Ulva* sp.) y pardas (*Colpomenia* sp.). Al igual que lo comentado respecto de los hallazgos levantados durante la campaña invernal, la gran mayoría las especies reconocidas en la franja intermareal de sustrato duro prospectada poseen una amplia distribución geográfica, que excede con creces la escala local y regional (Figura 5.4-158).

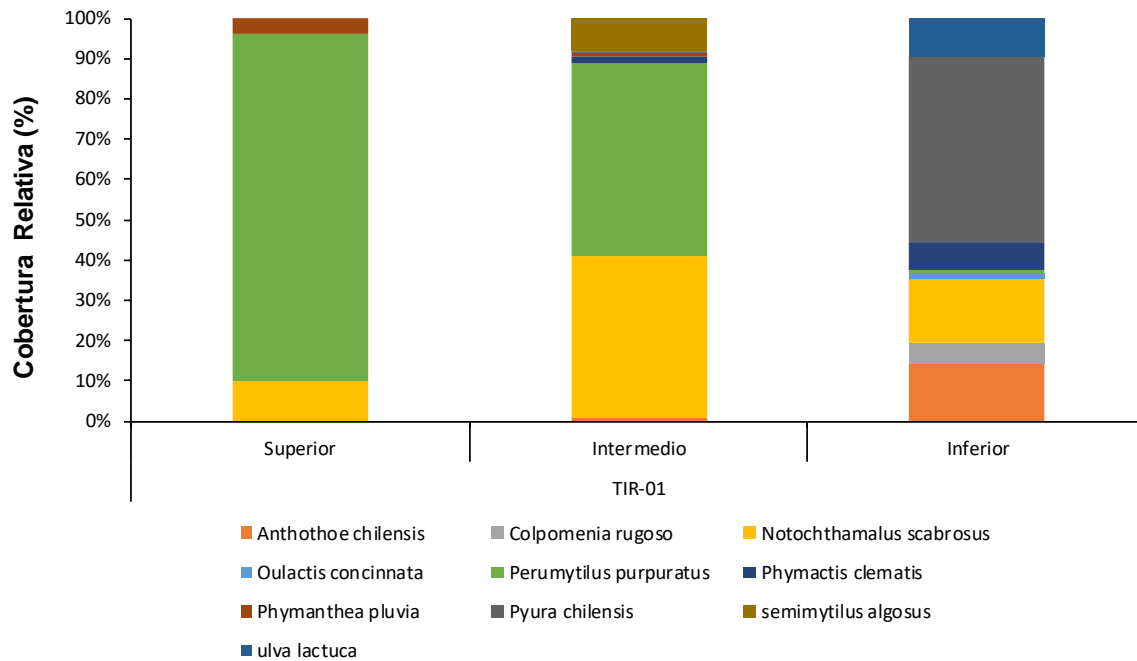


Figura 5.4-158 Cobertura relativa de ensambles de organismos sésiles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

La Figura 5.4-159 presenta los valores de riqueza y abundancia correspondientes a los organismos móviles detectados durante la campaña de verano 2020. Al respecto, se discriminó un total de 9 grupos taxonómicos, dominados por el grupo de los moluscos (8 especies), seguidos por el grupo de los equinodermos (1 especie). Con relación a los valores de riqueza, hay que reiterar la discreta composición de los ensamblajes de organismos móviles reconocidos en el transecto prospectado. En general, se estimaron promedios discretos en los distintos estratos de la franja intermareal, cuyo registro promedio más alto se estimó en la zona baja e intermedia (4 taxa), mientras que el más bajo se observó en la zona superior de la franja intermareal (1 taxón) (Figura 5.4-159a).

Con relación a los registros de densidad estimados, se observó que el registro promedio más alto de abundancia se estimó en la zona superior del transecto TIR-1 (400 ind·m⁻²), como consecuencia de la importante presencia de los caracoles pulmonados *Echinolittorina peruviana*, los que son especies características de este tipo de ambientes (Figura 5.4-159b).

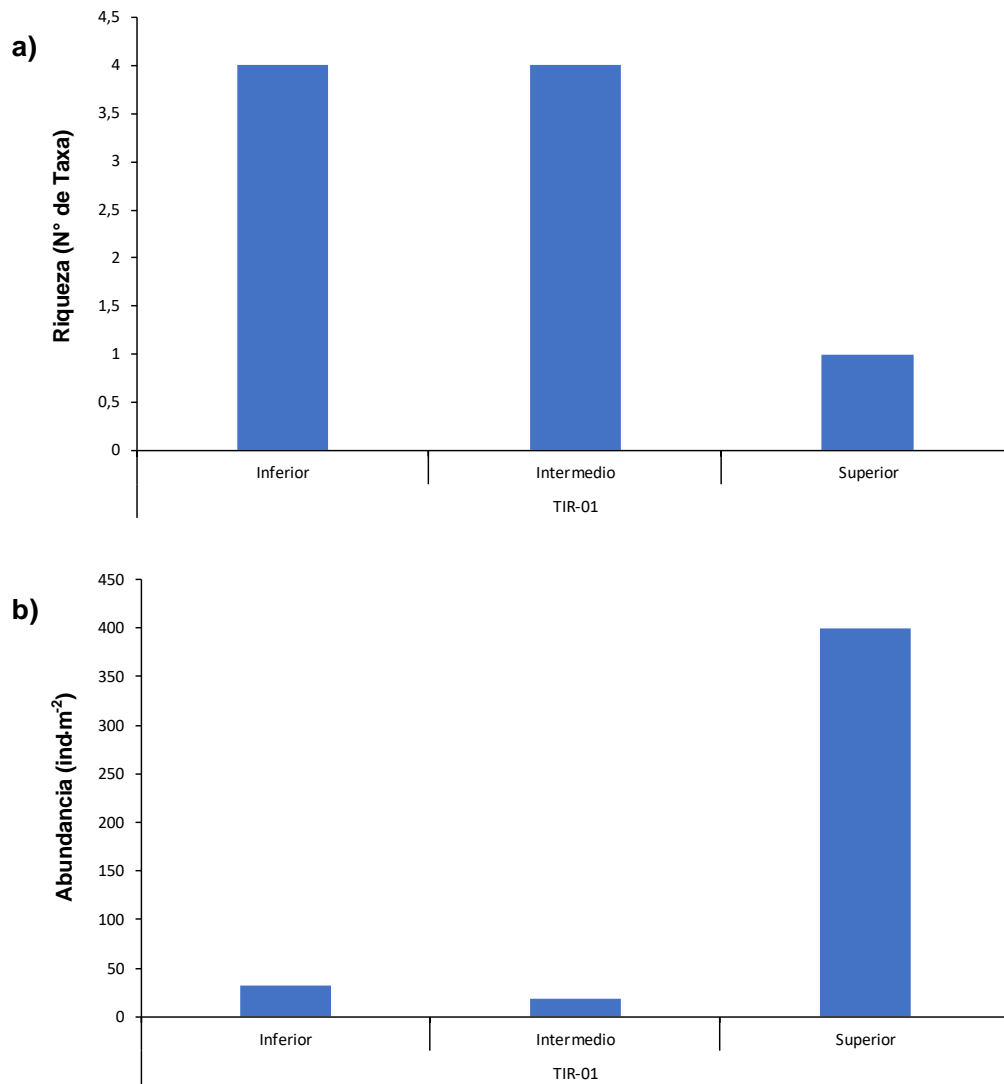


Figura 5.4-159 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos móviles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

Con relación a las abundancias relativas, destacó la dominancia en términos generales del grupo de los moluscos, donde aquellos de hábitos herbívoros alcanzaron una presencia destacada. Así, las mayores dominancias se reconocieron a través de todo el perfil vertical del transecto prospectado como consecuencia de la importante presencia de los caracoles *Echinolittorina peruviana*. Otra especie destacada en el área correspondió a los caracoles *Prisogaster niger*, los que alcanzaron abundancias interesantes en el estrato intermedio del transecto visitado. Al igual que lo comentado para los organismos sésiles, todas las especies de organismos móviles identificadas durante la campaña estival poseen un amplio rango de distribución geográfica que excede ampliamente la escala local y regional (Figura 5.4-160).

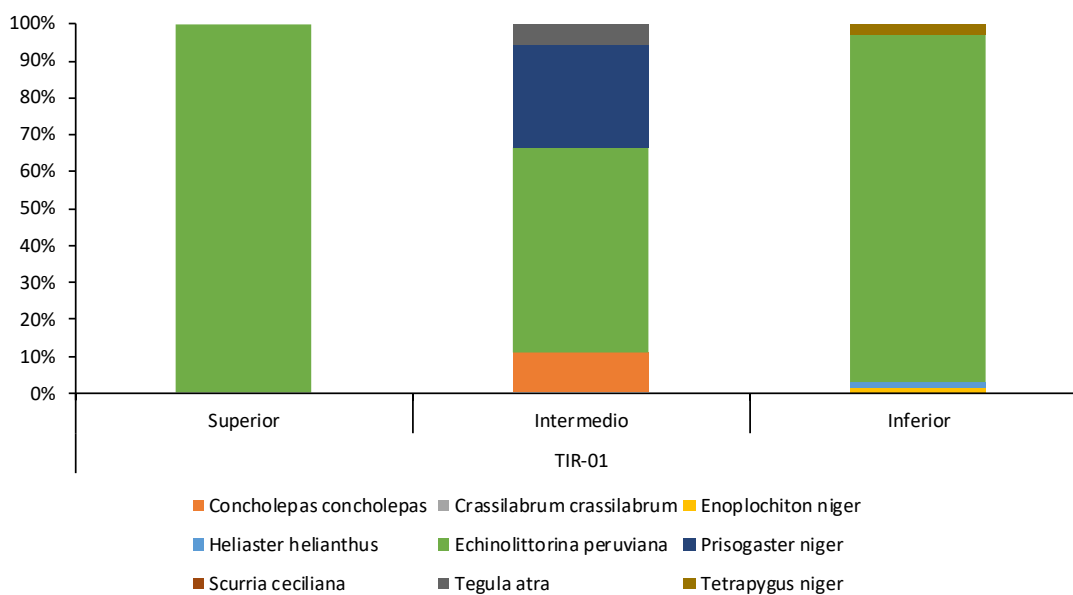


Figura 5.4-160 Abundancia relativa de ensamblajes de organismos móviles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía San Jorge, Antofagasta. Campaña de verano 2020.

Tal como se ha comentado en informes de monitoreo anteriores, los ensamblajes de macroinfauna intermareal de sustrato duro estuvieron conformados por especies de características para el tipo de ambiente prospectado y para la latitud donde está localizado el transecto de interés. En general, los ensamblajes de organismos sésiles estuvieron mejor representados que los ensamblajes de fauna móvil, destacando especies consideradas como ingenieros ecosistémicos (macrolagas, bancos de mitílidos, crustáceos cirripedios, entre otros - Prado & Castilla 2006, Thiel et al 2007, Villegas et al. 2008), los que promueven dentro de la estructura comunitaria, la colonización y posterior desarrollo de una variedad de especies que copan el sustrato secundario, así como también influyen en una mayor heterogeneidad de hábitats, derivada de la presencia de parches de este tipo de organismos en el área de interés.

vi. Determinación de la concentración ambiental esperada (PEC)

La segunda fase de la evaluación de riesgo incluye la caracterización de la exposición, es decir, de las concentraciones a las cuales son expuestas las entidades ecológicas. En primer lugar, es necesario establecer que las características de la calidad ambiental de las aguas y sedimento, con un enfoque estadístico que permita realizar ajustes probabilísticos, esenciales para la estimación de niveles de protección ambiental.

Se tomó la información obtenida de los datos históricos de la bahía y los registros efectuados por CEA en el presente estudio, analizando la cantidad de datos que se encontraban bajo los límites de detección. Se detectó que gran parte de la información histórica no cuenta con la referencia del límite de detección en el análisis, por lo cual, para efectos de la estimación de los estadísticos de las concentraciones ambientales, se considerará como criterio el valor del límite de detección en caso de que el valor se encuentre por debajo de éste, utilizando la totalidad de la información.

Tabla 5.4-47 Número de datos bajo el límite de detección para los metales seleccionados sobre la matriz agua, en Bahía San Jorge. *Fuente: Elaboración propia*

Parámetro	Sobre LD	Bajo LD	Sin información	Total de datos
Arsénico disuelto	7,7%	43,6%	48,7%	78
Arsénico total	70,1%	6,5%	23,4%	154
Cadmio disuelto	0,0%	27,0%	73,0%	148
Cadmio total	41,3%	0,0%	58,7%	329
Cobre disuelto	0,0%	27,0%	73,0%	148
Cobre total	41,3%	0,0%	58,7%	329
Mercurio disuelto	0,0%	29,0%	71,0%	138
Mercurio total	0,0%	0,0%	100,0%	193
Plomo disuelto	0,0%	29,0%	71,0%	138
Plomo total	8,5%	0,0%	91,5%	211
Zinc disuelto	36,4%	0,0%	63,6%	110
Zinc total	39,8%	1,5%	58,7%	329
Total	24,9%	9,1%	66,0%	2305

Tabla 5.4-48 Número de datos bajo el límite de detección para los metales seleccionados sobre la matriz sedimentos, en Bahía San Jorge. Fuente: *Elaboración propia*

Parámetro	Sobre LD	Bajo LD	Sin información	Total de datos
Arsénico	25,4%	0,0%	74,6%	122
Cadmio	20,3%	6,4%	73,3%	296
Cobre	22,7%	0,0%	77,3%	366
Mercurio	5,9%	5,9%	88,2%	237
Plomo	21,1%	0,0%	78,9%	380
Zinc	20,6%	1,9%	77,4%	1702
Total	27,6%	0,0%	72,4%	3103

A continuación, las siguientes tablas cuentan de los estadígrafos representativos de la información de calidad ambiental en agua y sedimento recopilada de los datos históricos y de las campañas de terreno del presente estudio, para la fracción disuelta, total y en el sedimento, de los agentes seleccionados en la formulación del problema.

Tabla 5.4-49 Estadígrafos de toda la información recopilada de calidad ambiental en el agua de bahía San Jorge, de los agentes potencialmente contaminantes en su fracción disuelta

Parámetro	Arsénico disuelto	Cadmio disuelto	Cobre disuelto	Mercurio disuelto	Plomo disuelto	Zinc disuelto
Total de datos	78	148	148	138	138	110
Promedio	0,62	2,54	5,28	0,27	0,43	3,68
Máximo	3,8	38	64	1	1,25	29
Mínimo	0,005	0,001	0,003	0,00025	0,008	0,003
Desv.estándar	0,84	8,84	13,95	0,32	0,53	7,31
Percentil	Valor percentil fracción disuelta [ug/l]					
0	0,005	0,001	0,003	0,00025	0,008	0,003
10	0,005	0,001	0,003	0,00025	0,008	0,007
20	0,005	0,001	0,003	0,00025	0,008	0,011
30	0,005	0,025	0,05	0,0005	0,025	0,017
40	0,005	0,025	0,49	0,00085	0,025	0,025
50	0,01739	0,05	0,565	0,001	0,025	0,54
60	0,6	0,133	1,12	0,5	0,383	1,39
66	0,798	0,2018	2	0,5	0,5016	1,921
70	0,91	0,5	2,137	0,5	0,572	2,27
80	1,28	0,5	3,072	0,5	1,25	4,66
90	1,67	0,5	8,19	0,5	1,25	8,995
95	2,56	34,1	52,1	1	1,25	25
100	3,8	38	64	1	1,25	29

Tabla 5.4-50 Estadígrafos de toda la información recopilada de calidad ambiental en el agua de bahía San Jorge, de los agentes potencialmente contaminantes en su fracción total

Parámetro	Arsénico total	Cadmio total	Cobre total	Mercurio total	Plomo total	Zinc total
Total de datos	154	329	329	193	211	329
Promedio	4,33	1,81	7,11	0,64	6,42	15,05
Máximo	195	10	142,05	8	50	200
Mínimo	0,5	0,025	0,18	0,045	0,012	0,025
Desv.estándar	16,15	3,35	13,09	0,71	11,92	25,33
Percentil	Valor percentil fracción total [ug/l]					
0	0,5	0,025	0,18	0,045	0,012	0,025
10	0,829	0,03	0,5	0,0566	0,025	0,9
20	1	0,0703	0,796	0,14	0,244	2,029
30	1	0,1	1,064	0,402	0,498	3,068
40	1,352	0,15	1,813	0,5	0,799	4,856
50	1,485	0,3	2,88	0,5	1,78	7
60	1,827	0,57	4,284	0,5	2,5	10
66	1,9314	1	6,3192	0,89504	2,5	10,828
70	2	1	8,058	1	2,992	13,416
80	2,07	1	10	1	7,587	20
90	10	10	17,08	1	20	35,252
95	10	10	20	1,85	40,4785	54,166
100	195	10	142,05	8	50	200

Tabla 5.4-51 Estadígrafos de toda la información recopilada de calidad ambiental en el sedimento de bahía San Jorge, de los agentes potencialmente contaminantes en su fracción total

Parámetro	Arsénico total	Cadmio total	Cobre total	Mercurio total	Plomo total	Zinc total
Total de datos	122	296	366	237	380	301
Promedio	32,25	4,70	651,38	0,82	412,19	869,07
Máximo	1520	156	14285	45	58173	32018
Mínimo	0,006	0,001	6,9	0,005	0,187	0,17
Desv.estándar	167,79	13,45	1504,08	3,32	3083,13	2861,54
Percentil	Valor percentil [mg/kg]					
0	0,006	0,001	6,9	0,005	0,187	0,17
10	0,6829	0,05	14,24	0,005	3,95	20,88
20	1,19	0,084	21,24	0,02	9,575	26,47
30	1,746	0,1	30,21	0,04	12,8	36,16
40	2,172	0,2	47,17	0,05	20,1	50,998
50	2,76	0,495	95,3	0,1	35,545	70
60	4,87	0,8184	236,1	0,19	63,29	130,55
66	5,802	1,8958	300,812	0,26	134,3	185,312
70	7,96	2,4	379	0,38	186,65	261,6
80	16,9516	5,406	829,141	0,59	301,885	853,3
90	38,91	12,442	1794,4	1,34	561,5	1888,6
95	67,366	18,716	2758,8	3,465	1045	3304,45
100	1520	156	14285	45	58173	32018

5.4.1.2.2 Análisis de los efectos (NPEC)

Los bioensayos ecotoxicológicos para evaluar la concentración sin efecto ecológico (NOEC) tienen por objetivo determinar y evaluar la presencia y concentración de xenobióticos presentes en el ecosistema en estudio para comprobar que no genera un efecto inaceptable sobre un sistema ecológico en particular. En esta etapa se establecerá la relación entre el nivel de exposición, naturaleza, severidad y duración de los efectos del contaminante evaluado, determinando la concentración sin efecto ecológico, mediante un enfoque probabilístico.

i. Bioensayos estandarizados

Se desarrollaron bioensayos ecotoxicológicos y de efectos sobre ciertos marcadores moleculares ante estrés por metales, ejecutados por el Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad de la Universidad de Antofagasta.

Se consideran los “end-point” ecotoxicológicos, tanto agudos como crónicos (LC50, EC50, NOEC, LOEC), de las especies locales de relevancia ecológica, mediante bioensayos en, al menos tres niveles tróficos del ecosistema de la Bahía de San Jorge, Antofagasta, evaluando tales especies a distintas concentraciones (ligadas a los mínimos y máximos detectados en las PEC) de los elementos potencialmente contaminantes (As, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn).

Las especies, el efecto evaluado y la duración del ensayo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.4-52: Bioensayos de toxicidad crónica a realizar en sedimentos de bahía San Jorge, Antofagasta

Bioensayos de toxicidad crónica (subletal) con determinación de CE50 y/o NOEC y LOEC, en 6 sales		
Especie	Efecto Evaluado	Duración del ensayo
<i>Isochrysis galbana</i> (fitoplancton)	Inhibición de crecimiento poblacional	5 días
<i>Dunaliella tertiolecta</i> (fitoplancton)	Inhibición de crecimiento poblacional	5 días
<i>Macrocystis pyrifera</i> (macroalga)	Inhibición de germinación de esporas	3 días
<i>Emerita análoga</i> (crustáceo, infauna)	Mortalidad de individuos juveniles	6 días
<i>Perumytilus purpuratus</i> (zoobentos)	Inhibición del desarrollo del bisco (Adherencia al sustrato).	6 días

Tabla 5.4-53 Bioensayos de toxicidad aguda/letalidad a desarrollar en sedimentos de bahía San Jorge, Antofagasta

Bioensayos de toxicidad aguda (letalidad) en sedimentos		
Especie	Efecto Evaluado	Duración del ensayo
<i>Emerita analoga</i> (crustáceo, infauna)	Mortalidad de individuos juveniles	6 días

Tabla 5.4-54 Bioensayos de toxicidad crónica a desarrollar en sedimentos de bahía San Jorge, Antofagasta

Bioensayos de toxicidad crónica en sedimentos		
Especie	Efecto Evaluado	Duración del ensayo
<i>Perumytilus purpuratus</i> (zoobentos)	Inhibición del desarrollo del bisco (Adherencia al sustrato).	6 días

Los informes entregados por el Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad de la Universidad de Antofagasta, que dan cuenta de la metodología y los resultados de cada

uno de los bioensayos, pueden hallarse en Anexos_digitales\04_OE3\6_ERE\2_Efectos\1_Bioensayos_U_Antofagasta. No obstante, los resultados utilizados en el presente acápite se muestran en las siguientes tablas. Cabe señalar que los valores en paréntesis corresponden al rango de concentración evaluado.

Los bioensayos en *Perumytilus purpuratus* fueron realizados de acuerdo a las recomendaciones de la EPA “Methods for Measuring The Acute Toxicity Of Effluents And Receiving Waters To Freshwater And Marine Organisms” (EPA/600/4-90/027F/1993) y “Short Term Methods For Estimating The Chronic Toxicity Of Effluents And Receiving Water To Freshwater Oganisms” (EPA-821-R-02-013), donde la concentración LC50 fue obtenida según protocolo PROBIT en conjunto con el software matemático Minitab 17. Del mismo modo, para los cálculos de los valores LOEC y NOEC se utilizó el software Minitab 17, considerando las siguientes pruebas:

- Prueba de Anderson-Darling: Para probar distribución normal.
- Test de Levene y el de Barlett: Para homogeneidad de varianza.
- Anova
- Test de Tunnett: Prueba post Anova para comprar un conjunto de tratamientos con una medida de control.

Para la Macroalga *Macrocystis pyrifera* y el Crustáceo *Emerita Análoga*, los valores endpoint fueron calculados del mismo modo.

Por otro lado, los bioensayos en las microalgas *Isochrysis galbana* y *Dunaliella tertiolecta* fueron realizados de acuerdo con la norma chilena NCh2706: “Calidad de agua-Bioensayo de inhibición de crecimiento en algas en agua dulce con *Selenastrum capricornutum* (*Raphidocelis subcapitata*)” y de US-EPA, el método 1003.0: “Green Alga, *Selenastrum capricornutum*, growth test; chronic toxicity”, donde la concentración porcentual de la muestra que disminuye en un 50% la tasa de crecimiento poblacional con respecto al control (LC50) se estimó según la expresión:

$$IC_p = C_j + \left[M_1 \left(1 - \frac{p}{100} \right) - M_j \right] \frac{C_{j+1} - C_j}{M_{j+1} - M_j}$$

Donde:

C_j = Concentración probada cuya respuesta media observada es mayor que $M_1 \left(1 - \frac{p}{100} \right)$

C_{j+1} = Concentración probada cuya respuesta media observada es menor que $M_1 \left(1 - \frac{p}{100} \right)$

- M_1 = Respuesta media suavizada para el control
- M_j = Respuesta media suavizada para la concentración J
- M_{j+1} = Respuesta media suavizada para la concentración J+1
- p = Reducción porcentual en la respuesta con respecto a la respuesta de control.
- IC_p = Concentración estimada a la cual existe una reducción porcentual p con respecto a la respuesta de control media suavizada.

Los valores LOEC y NOEC se obtuvieron del mismo modo que para las Macroalgas y Crustáceo.

Para poder calcular estas concentraciones fue necesario realizar un experimento con **varios tratamientos** diferentes: un control (sin tóxico) y varias concentraciones de tóxico (al menos tres concentraciones o más) con una réplica mínima de “n” igual a tres. Tras un periodo de tiempo (que dependerá del bioensayo realizado, de las concentraciones empleadas y la sensibilidad de la especie estudiada) se evaluó el parámetro o parámetros estudiados. Con los datos brutos obtenidos se realiza un **ANOVA de un factor**(análisis de la varianza) siendo la **variable dependiente** la respuesta (mortalidad, alteraciones de la reproducción, cambios comportamentales, etc.) y la **variable independiente** la concentración de tóxico (cero para el control y las concentraciones de los otros tratamientos). Si el análisis resulta significativo ($p < 0.05$), esto quiere decir que hay al menos dos tratamientos que difieren entre sí en el valor de sus medias para la variable dependiente estudiada. Para conocer qué pares de tratamientos son distintos entre sí se realizó un nuevo test. Con dicho test de comparación múltiple (**test post hoc**) se pudo comparar cada tratamiento de As con el tratamiento control, ya que son esas comparaciones las que nos interesan (¿difiere o no de la respuesta del control?).

El ANOVA requiere que los datos procedan de una población normal y las varianzas sean homogéneas entre los tratamientos (en el caso de no cumplirlos se deben transformar los datos u optar por un análisis no paramétrico alternativo al ANOVA, como puede ser el Test de Kruskal-Wallis).

Luego, para la microalga ***Dunaliella Tertiolecta*** los valores de NOEC y LOEC no pudieron ser determinados en el caso de As, Cd y Pb, como se menciona en el informe entregado. Dado principalmente porque el porcentaje (%) de inhibición de la tasa de crecimiento es baja, menor al 50% en presencia de concentraciones crecientes de cada uno de los metales y metaloides evaluados.

Valores de IC50 a las 96h en mg/L. As, Cd y Pb. No se pudo calcular debido que no existieron efectos letales.

Valores de LOEC a las 96h en mg/L. As, Cd y Pb. No pudo ser determinado, porque no se observaron efectos letales ni subletales.

Valores de NOEC a las 96h en mg/L. As, Cd y Pb. No pudieron ser determinados ya que hubo efecto letal desde la concentración mínima.

Para la especie *Isochrysis galbana*, los valores de IC50 a las 96h en mg/L. As, Pb, Zn y Cu no se pudieron calcular debido que no existieron efectos letales. Los valores de LOEC a las 96h en mg/L. As no pudieron ser determinados, porque no se observaron efectos letales ni subletales. Del mismo modo, los valores de NOEC a las 96h en mg/L. As, Pb, Zn y Cu no se pudieron determinar ya que hubo efecto letal desde la concentración mínima.

Para la especie de macroalga *Macrocystis pyrifera*, el valor de LOEC a las 120h. Cd no se pudo calcular ya que no hubo efectos letales. Los valores de NOEC a las 120h. Cu, Hg no pudieron ser determinados ya que hubo efecto letal desde la concentración mínima. Cabe destacar que en macroalgas el parámetro utilizado fue germinación de esporas a las 120h.

Para el crustáceo *Emerita análoga*, el valor de LOEC a las 48h. As no se pudo calcular ya que no hubo efectos letales. Del mismo modo, los valores de NOEC a las 48h. As y Cu no pudieron ser determinados ya que hubo efecto letal desde la concentración mínima. En *Emeritas* juveniles el parámetro utilizado fue la capacidad de entierro a las 48h. Es importante mencionar que para las concentraciones de As fue imposible calcular los índices, ya que, todos los individuos murieron al tiempo de exposición en todas las concentraciones.

Tabla 5.4-55 Resultados de bioensayos estandarizados evaluados en arsénico

Arsénico		Valor endpoint [mg/l]		
Grupo funcional	Especie	NOEC	LOEC	LC50
Fitoplancton	<i>Isochrysis galbana</i>	No hubo efectos letales ni subletales	No hubo efectos letales ni subletales	No se pudo calcular
Fitoplancton	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	No hubo efectos letales ni subletales	No hubo efectos letales ni subletales	No se pudo calcular
Zooplancton	<i>Perumytilus purpuratus</i>	No hubo efectos letales ni subletales	No hubo efectos letales ni subletales	No se pudo calcular
Crustáceo	<i>Emerita analoga</i>	Sin efectos	Sin efectos	No se pudo calcular
Macroalga	<i>Macrosystis pyrifera</i>	0,5	1,5	8,91

Fuente: Elaboración propia con datos de informe del Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad – CEA 2019

Tabla 5.4-56 Resultados de bioensayos estandarizados evaluados en cadmio

Cadmio		Valor endpoint [mg/l]		
Grupo funcional	Especie	NOEC	LOEC	LC50
Fitoplancton	<i>Isochrysis galbana</i>	0,25 (0,05 - 2,00)	1,0 (0,05 - 2,00)	0,5(0,05 - 2,00)
Fitoplancton	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	No hubo efectos letales ni subletales	No hubo efectos letales ni subletales	No se pudo calcular
Zooplancton	<i>Perumytilus purpuratus</i>	No hubo efectos letales ni subletales	No hubo efectos letales ni subletales	No se pudo calcular
Crustáceo	<i>Emerita analoga</i>	0,1	0,25	0,93
Macroalga	<i>Macrosystis pyrifera</i>	5,5	No se pudo determinar	19,95

Fuente: Elaboración propia con datos de informe del Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad – CEA 2019

Tabla 5.4-57 Resultados de bioensayos estandarizados evaluados en cobre

Cobre		Valor endpoint [mg/l]		
Grupo funcional	Especie	NOEC	LOEC	LC50
Fitoplancton	<i>Isochrysis galbana</i>	Solo hubo efectos letales	0,25 (0,25 - 5,00)	No se puede calcular
Fitoplancton	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	1,0 (0,5 - 5,00)	2,0 (0,5 - 5,00)	1,5 (0,5 - 5,00)
Zooplancton	<i>Perumytilus purpuratus</i>	Solo hubo efectos letales	8,0 (8 - 48)	10,8 (8 - 48)
Crustáceo	<i>Emerita analoga</i>	No se pudo calcular	0,25	0,18
Macroalga	<i>Macrosystis pyrifera</i>	No se pudo determinar	8	0,091

Fuente: Elaboración propia con datos de informe del Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad – CEA 2019

Tabla 5.4-58 Resultados de bioensayos estandarizados evaluados en mercurio

Mercurio		Valor endpoint [mg/l]		
Grupo funcional	Especie	NOEC	LOEC	LC50
Fitoplancton	<i>Isochrysis galbana</i>	0,1 (0,01 - 1,00)	0,25 (0,01 - 1,00)	0,18 (0,01 - 1,00)
Fitoplancton	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	0,25 (0,01 - 1,00)	1,0 (0,01 - 1,00)	0,87 (0,01 - 1,00)
Zooplancton	<i>Perumytilus purpuratus</i>	No hubo efectos letales ni subletales	No hubo efectos letales ni subletales	No se pudo calcular
Crustáceo	<i>Emerita analoga</i>	0,5	1	0,84
Macroalga	<i>Macrosystis pyrifera</i>	No se pudo determinar	0,2	0,0008

Fuente: Elaboración propia con datos de informe del Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad – CEA 2019

Tabla 5.4-59 Resultados de bioensayos estandarizados evaluados en plomo

Plomo		Valor endpoint [mg/l]		
Grupo funcional	Especie	NOEC	LOEC	LC50
Fitoplancton	<i>Isochrysis galbana</i>	Solo hubo efectos letales	0,25 (0,25 - 2,00)	No se puede calcular
Fitoplancton	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	Solo hubo efectos letales	Solo hubo efectos letales	No se puede calcular
Zooplancton	<i>Perumytilus purpuratus</i>	2,5 (2,5 - 32)	8,5 (2,5 - 32)	9,4 (2,5 - 32)
Crustáceo	<i>Emerita analoga</i>	0,75	1	1,78
Macroalga	<i>Macrosystis pyrifera</i>	2,5	8,5	10,72

Fuente: Elaboración propia con datos de informe del Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad – CEA 2019

Tabla 5.4-60 Resultados de bioensayos estandarizados evaluados en zinc

Zinc		Valor endpoint [mg/l]		
Grupo funcional	Especie	NOEC	LOEC	LC50
Fitoplancton	<i>Isochrysis galbana</i>	Solo hubo efectos letales	0,05 (0,01 - 0,5)	No se puede calcular
Fitoplancton	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	0,1 (0,025 - 10,00)	0,5 (0,025 - 10,00)	4,7 (0,025 - 10,00)
Zooplancton	<i>Perumytilus purpuratus</i>	10 (0,1 - 50)	20 (0,1 - 50)	8,4 (0,1 - 50)
Crustáceo	<i>Emerita analoga</i>	0,1	0,5	0,29
Macroalga	<i>Macrosystis pyrifera</i>	No se pudo determinar	0,1	1,17

Fuente: Elaboración propia con datos de informe del Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad – CEA 2019

Los resultados anteriores se incorporan a la base de datos ecotoxicológica, descrita a continuación.

ii. Base de datos ecotoxicológica

Las pruebas de toxicidad permiten realizar mediciones experimentales del efecto de agentes químicos o físicos en sistemas biológicos, estableciendo relaciones concentración-respuesta bajo condiciones controladas en terreno o en laboratorio. En el contexto de este estudio, se obtuvieron valores teóricos para LC₅₀, LOEC y NOEC para ecosistemas acuícolas de agua salada, basado en literatura extraída desde bases de datos internacionales como EPA (USA) y ETOX (Alemania), y revistas científicas chilenas y extranjeras. Con esta información se elaboró una base de datos para los parámetros de interés ambiental previamente seleccionados: arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc, para especies en agua salada.

En adición a lo anterior, se incorporan los resultados de los bioensayos estandarizados realizados por el presente estudio. A continuación, se presenta un resumen de la información recopilada en términos de la cantidad de información, para cada agente potencialmente contaminante:

Tabla 5.4-61 Estadígrafos de la base de datos ecotoxicológica, para el endpoint LC50

Parámetro	Arsénico total	Cadmio total	Cobre total	Mercurio total	Plomo total	Zinc total
Total de datos	131	1.264	1.301	643	237	757
Promedio	117.480	22.159	10.824	5.673	88.062	60.307
Máximo	1.000.000	615.000	2.877.273	1.000.000	5.623.400	2.100.000
Mínimo	232	0	0	0	5	4
Desv.estándar	260.053	53.897	93.930	64.238	465.804	234.762
Percentil	Valor percentil de LC50 [ug/l]					
0	232	0	0	0	5	4
5	1.740	41	18	7	584	52
10	2.260	120	42	16	842	100
20	3.785	540	87	32	1.696	520
30	6.000	1.200	148	56	2.618	1.200
40	10.210	2.321	250	90	4.500	1.993
50	15.500	4.510	400	158	6.500	3.680
60	23.000	8.688	616	297	9.340	7.721
66	34.110	13.748	1.000	380	10.718	12.019
70	42.950	17.030	1.245	443	14.000	16.000
80	84.300	27.612	2.666	897	36.392	32.000
90	510.000	50.000	7.440	2.684	127.292	100.000
95	1.000.000	100.000	28.545	7.088	315.000	178.810
100	1.000.000	615.000	2.877.273	1.000.000	5.623.400	2.100.000

Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

Tabla 5.4-62 Estadígrafos de la base de datos ecotoxicológica, para el endpoint LOEC

Parámetro	Arsénico total	Cadmio total	Cobre total	Mercurio total	Plomo total	Zinc total
Total de datos	71	6	1.833	189	163	345
Promedio	111.805	950	4.053	633	33.670	8.878
Máximo	1.220.000	1.700	1.370.000	100.000	500.000	500.000
Mínimo	0	50	0	0	0	1
Desv.estándar	276.128	697	47.225	7.275	94.925	54.973
Percentil	Valor percentil de LOEC [ug/l]					
0	0,10	50,00	0,10	0,17	0,21	1,00
5	24,85	50,00	4,80	2,00	40,00	10,00
10	80,00	70,00	9,55	2,00	48,95	16,35
20	1.000,00	190,00	14,37	5,00	125,00	56,00
30	2.000,00	475,00	25,90	5,20	197,00	100,00
40	3.850,00	925,00	50,00	10,00	223,71	200,00
50	5.000,00	1.000,00	100,00	12,00	348,80	285,00
60	13.989,59	1.070,00	150,00	20,00	2.560,00	600,00
66	19.060,88	1.322,00	221,00	25,00	2.700,00	1.000,00
70	20.946,90	1.490,00	297,00	25,00	2.700,00	1.000,00
80	144.313,15	1.700,00	1.000,00	100,00	3.090,00	1.381,43
90	261.836,20	1.700,00	2.000,00	116,00	200.000,00	3.250,00
95	951.600,00	1.700,00	7.700,00	753,00	200.000,00	15.000,00
100	1.220.000,00	1.700,00	1.370.000,00	100.000,00	500.000,00	500.000,00

Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

Tabla 5.4-63 Estadígrafos de la base de datos ecotoxicológica, para el endpoint NOEC

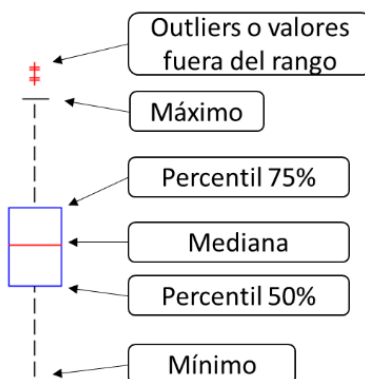
Parámetro	Arsénico total	Cadmio total	Cobre total	Mercurio total	Plomo total	Zinc total
Total de datos	158	748	2.079	240	128	484
Promedio	42.461	24.649	3.132	34	42.010	1.615
Máximo	1.220.000	916.580	1.370.000	2.500	200.000	100.000
Mínimo	1,244	0,100	0,100	0,250	17,000	0,500
Desv.estándar	169.208	140.428	36.666	173	78.188	8.497
Percentil	Valor percentil de NOEC [ug/l]					
0	1,244	0,100	0,100	0,250	17,000	0,500
5	100	5	6	2	20	10
10	100	10	10	2	90	18
20	647	41	20	2	125	50
30	1.000	43	30	5	200	80
40	5.000	50	50	10	451	100
50	5.250	80	100	10	829	170
60	10.000	100	118	10	2.500	270
66	10.000	200	200	10	2.700	400
70	10.000	328	253	10	2.700	500
80	20.947	1.090	510	10	100.000	1.000
90	20.947	10.000	2.000	23	200.000	1.363
95	127.351	36.663	8.921	95	200.000	5.497
100	1.220.000	916.580	1.370.000	2.500	200.000	100.000

Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

Es importante señalar que solo se realizó un análisis para la fracción total en agua, esto porque la cantidad de bioensayos disponibles en la base Ecotox para la fracción disuelta es muy baja, lo cual no logra generar una adecuada representatividad desde el punto de vista estadístico. A modo de subsanar lo anterior, en el numeral 5.4.1.3.3 Niveles de protección ambiental, se han utilizado factores de conversión de la EPA (National Recommended Water Quality Criteria for aquatic life, Apendix A), los que permiten estimar la fracción disuelta en función de la fracción total.

Luego, estos datos son graficados en forma de boxplot, su interpretación es la siguiente:

Figura 5.4-161 Interpretación gráfica de Boxplot



Fuente: Elaboración propia – CEA 2019

El detalle de los boxplot para LC50, LOEC y NOEC ha quedado en:
Anexos_digitales\04_OE3\6_ERE\2_Efectos\3_Resultados

iii. Determinación de la concentración sin efecto ecológico (NOEC)

En el numeral anterior se presentaron los resultados de los estadígrafos de los endpoint LC50, LOEC y NOEC. De esta forma, se determinó la concentración sin efecto ecológico utilizando la información disponible. A modo de resumen, a continuación, se muestran los boxplot para los endpoint NOEC. Como puede apreciarse, los rangos de valores son bastante amplios, y responden básicamente a que se han considerado especies con diferente sensibilidad a los agentes evaluados, por este mismo motivo, se clasificaron las especies según su grupo funcional y además se graficó en el eje de las ordenadas en escala logarítmica, para facilitar la visualización de la información.

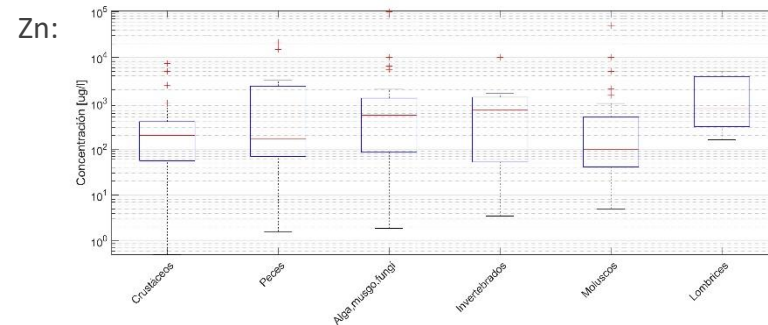
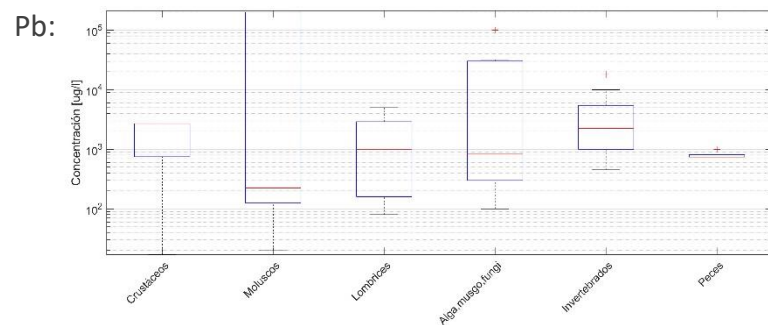
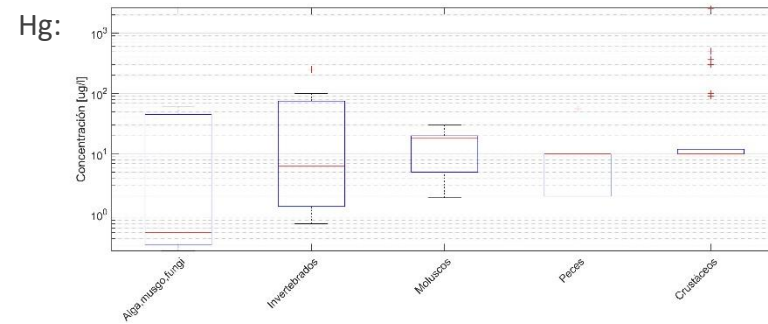
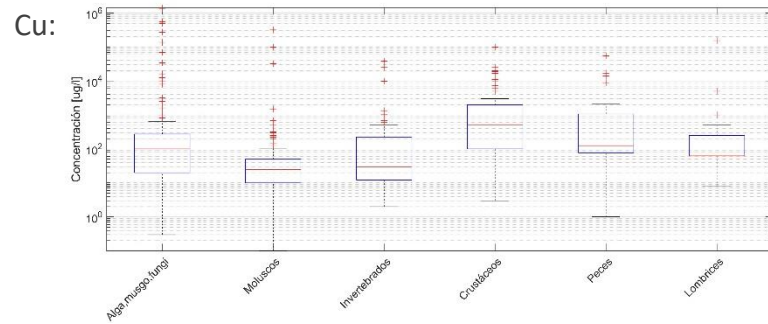
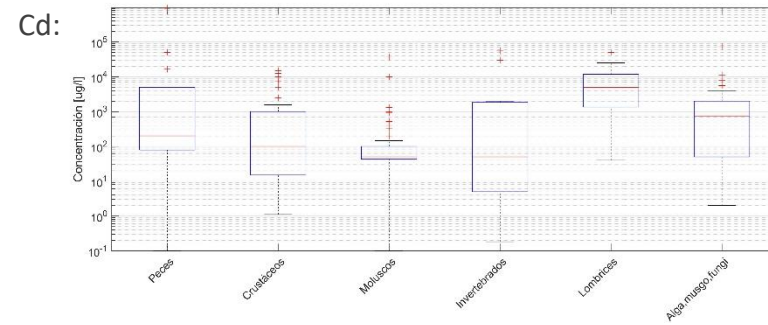
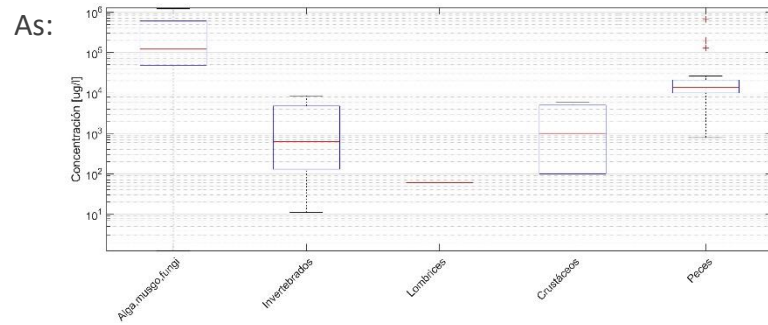


Figura 5.4-162 Boxplot para los endpoint NOEC: Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo, Zinc.

5.4.1.2.3 Resumen de resultados

A modo de observar los valores de concentración ambiental, versus de los efectos, a continuación se muestran de forma gráfica los valores PEC (Concentración Ambiental Estimada de bahía San Jorge) y el NOEC (Concentración Sin Efecto Ecológico), para la matriz de agua y sedimento.

Cabe señalar que para el sedimento, como se mencionó en el numeral anterior, no se cuenta con información suficiente para el análisis de los efectos a través del NOEC, por lo cual se utilizaron las siguientes normativas nacionales e internacionales para contrastarlos con los niveles de concentraciones existentes:

- MOP (1994): Manual para la cuantificación de externalidades de proyectos portuarios,
- CSQG (1995). Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life
- NWQMS (2000) Australian and Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters. Sediment Water Quality Guidelines.

Tabla 5.4-64 Normativa nacional e internacional utilizada en el análisis de resultados en bahía San Jorge. Valores en mg/kg.

Normativa	MOP 1994	ISQG Canada 2002	NWQMS Australia y Nueva Zelanda 2002
Arsénico	57	7	20
Cadmio	1	1	2
Cobre	130	19	65
Cromo	55	52	80
Mercurio	0	0	0
Plomo	66	30	50
Zinc	160	124	200

Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

A continuación se presentan los gráficos PEC y NOEC para la matriz agua, en su fracción total:

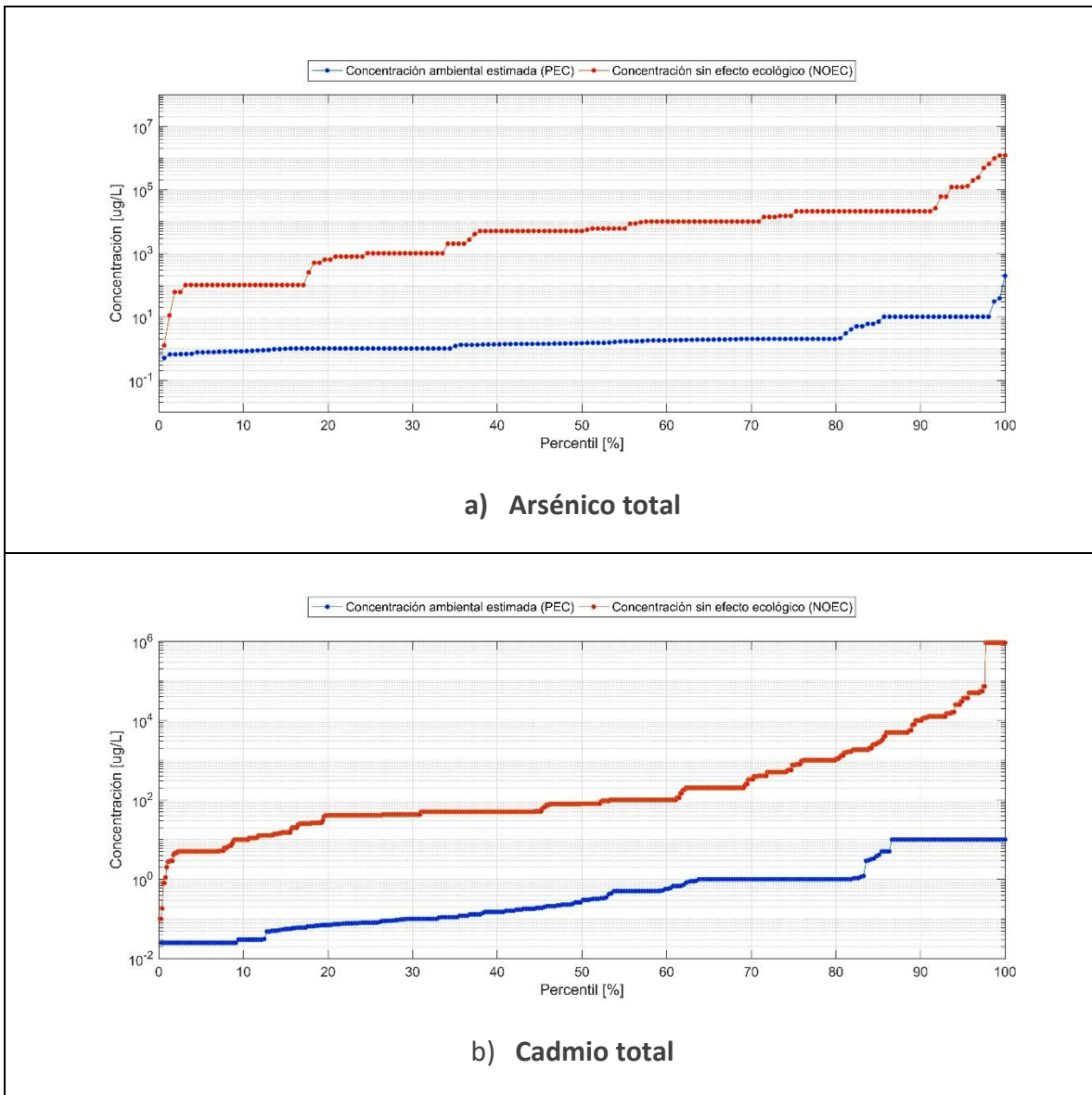


Figura 5.4-163 Comparación entre la concentración existente en el medio ambiente PEC (en azul) y concentración sin efecto ecológico NOEC (en rojo) para los distintos agentes evaluados en su fracción total, para la matriz Agua, en bahía de San Jorge. De la a) a la f): Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo y Zinc.
Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

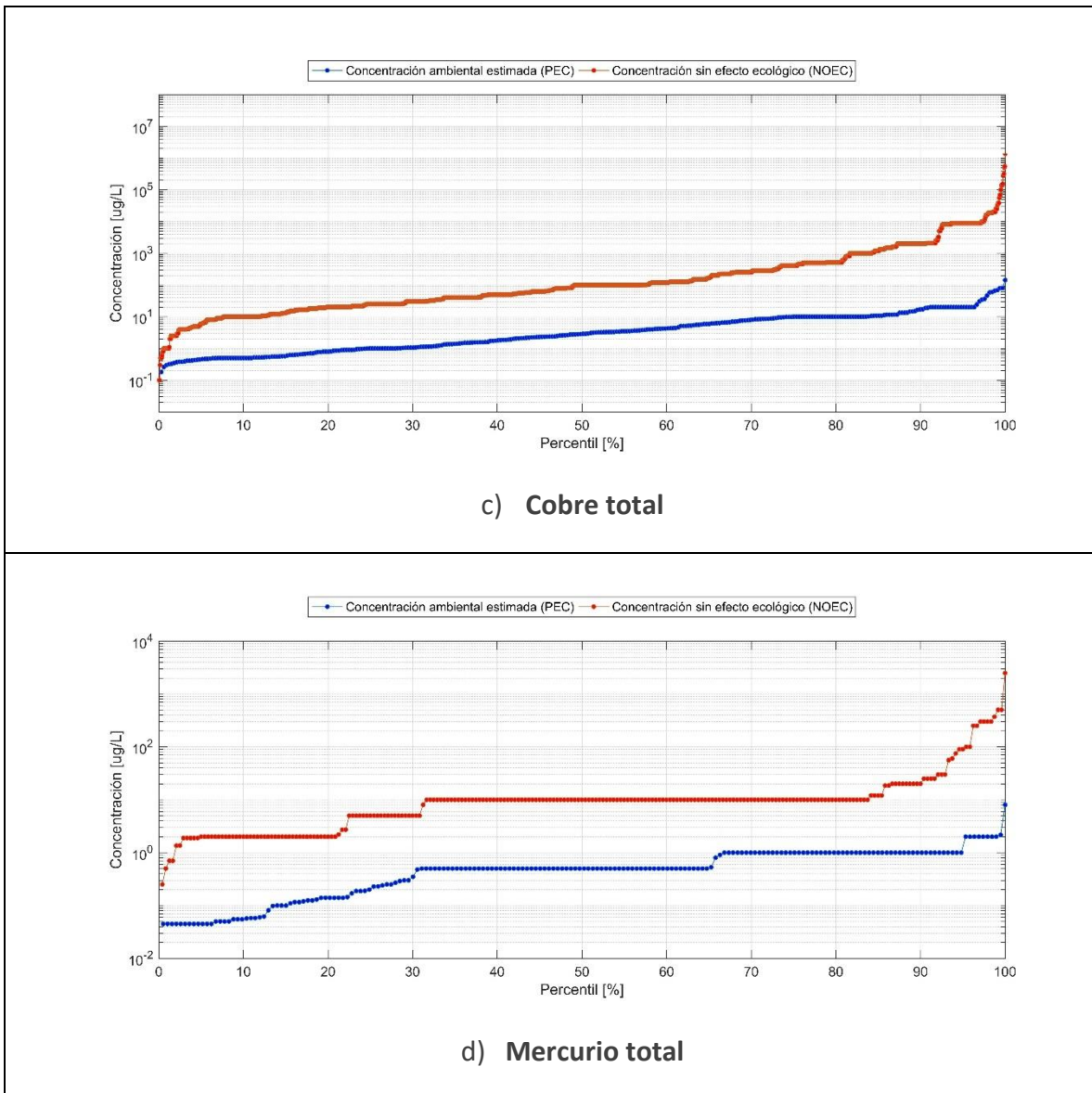


Figura 5.4-164 Comparación entre la concentración existente en el medio ambiente PEC (en azul) y concentración sin efecto ecológico NOEC (en rojo) para los distintos agentes evaluados en su fracción total, para la matriz Agua, en bahía de San Jorge. De la a) a la f): Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo y Zinc (continuación). (continuación). Fuente: *Elaboración propia* -CEA 2019

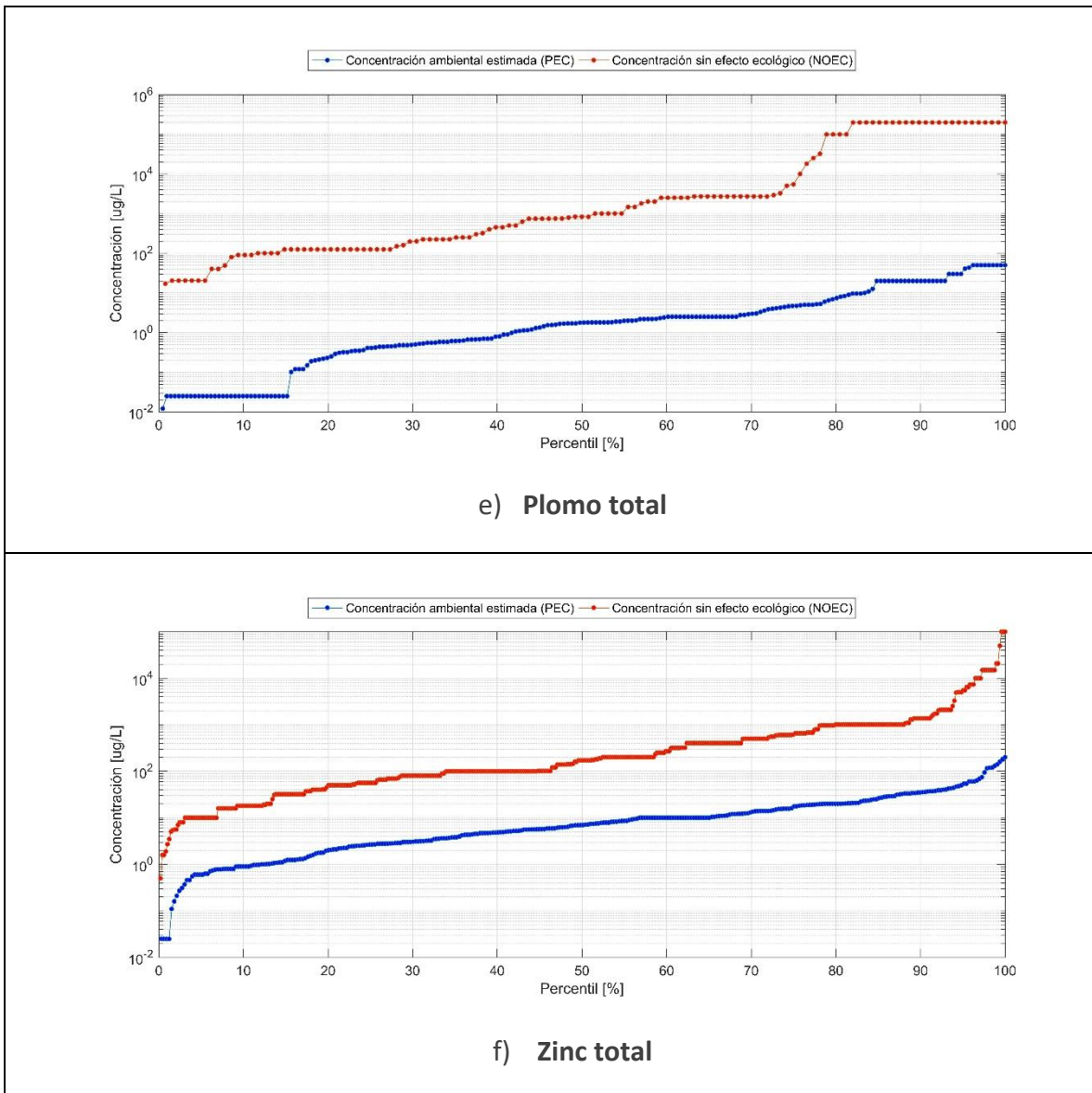


Figura 5.4-165 Comparación entre la concentración existente en el medio ambiente PEC (en azul) y concentración sin efecto ecológico NOEC (en rojo) para los distintos agentes evaluados en su fracción total, para la matriz Agua, en bahía de San Jorge. De la a) a la f): Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo y Zinc (continuación). Fuente: *Elaboración propia -CEA 2019*

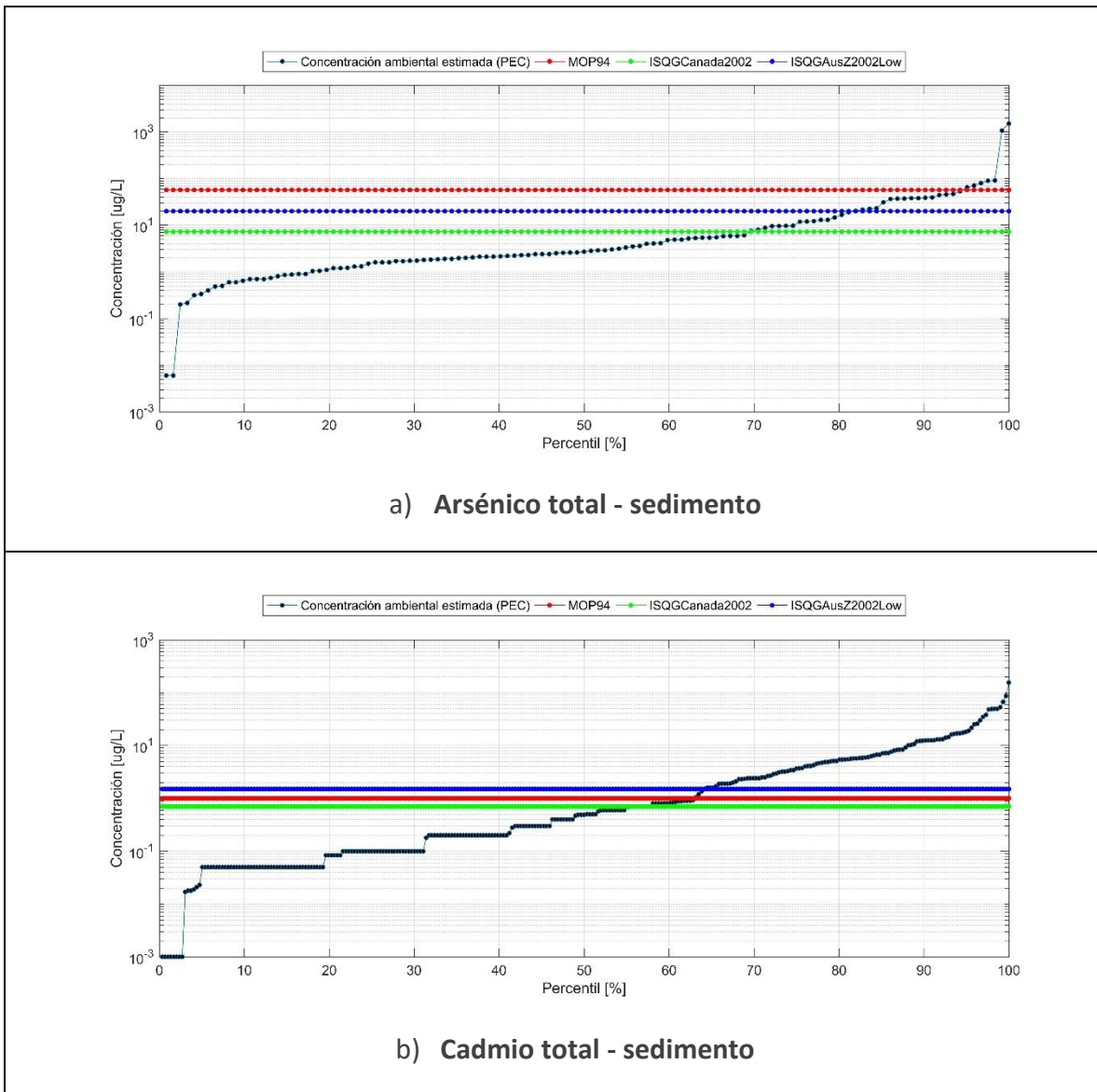


Figura 5.4-166 Comparación entre la concentración existente en el medio ambiente PEC (en negro) y normativas asociadas a los agentes evaluado, para la matriz sedimento, en bahía de San Jorge. De la a) a la f): Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo y Zinc. Fuente: *Elaboración propia -CEA 2019*

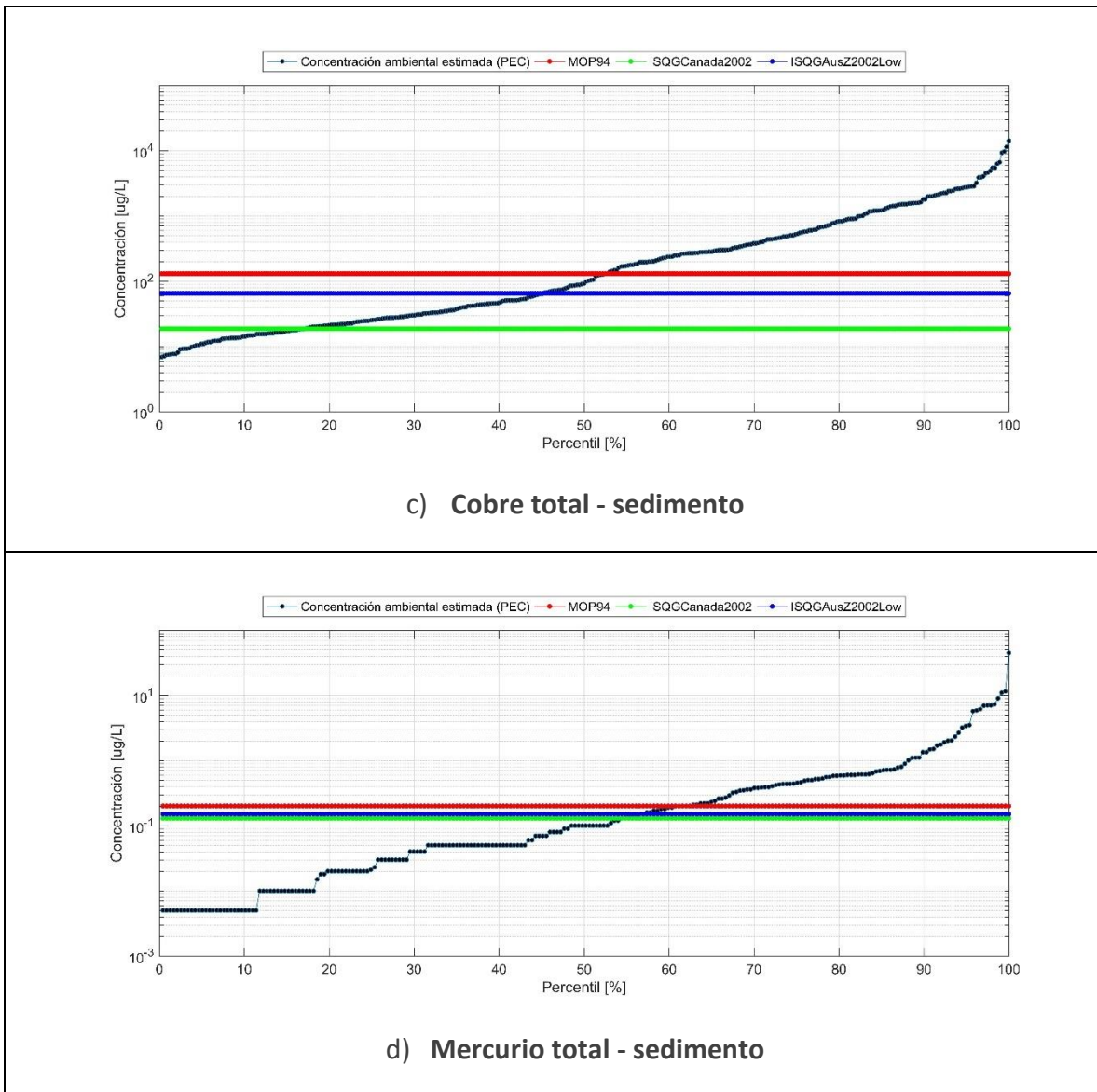


Figura 5.4-167 Comparación entre la concentración existente en el medio ambiente PEC (en negro) y normativas asociadas a los agentes evaluado, para la matriz sedimento, en bahía de San Jorge. De la a) a la f): Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo y Zinc (continuación). Fuente: *Elaboración propia* -CEA 2019

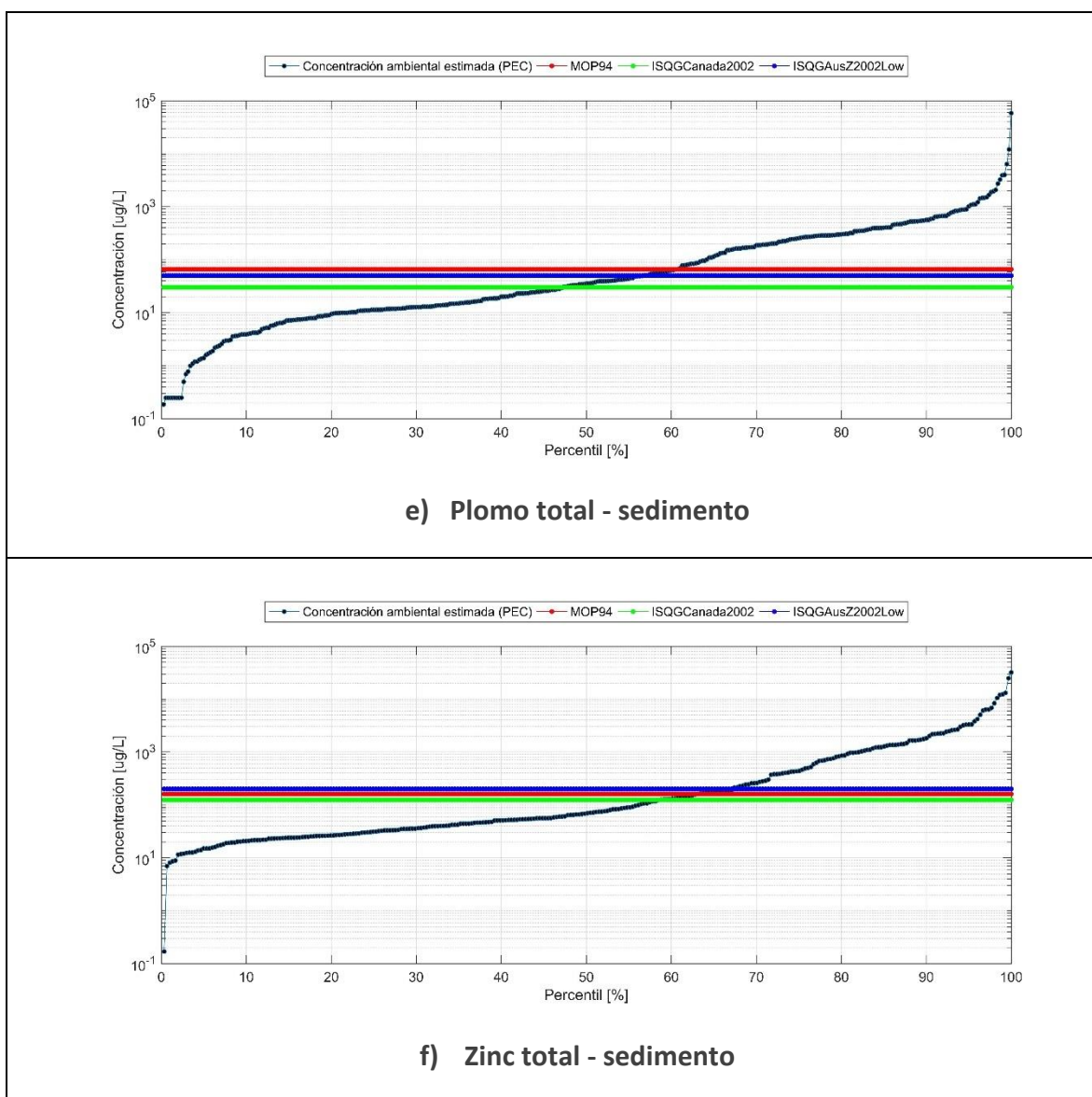


Figura 5.4-168 Comparación entre la concentración existente en el medio ambiente PEC (en negro) y normativas asociadas a los agentes evaluado, para la matriz sedimento, en bahía de San Jorge. De la a) a la f): Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo y Zinc (continuación). Fuente: *Elaboración propia -CEA 2019*

De la síntesis de resultados anteriores se desprende lo siguiente:

- En la matriz agua no existen concentraciones ambientales mayores a los potenciales efectos en términos percentiles, es decir, del total de datos disponible para cada curva, el valor de PEC bajo un percentil x siempre se encuentra por debajo del NOEC en el mismo percentil. Lo cual significa en términos estadísticos, que hay una baja tendencia a que las concentraciones ambientales en el agua representen un riesgo para organismos sensibles.

- En la matriz sedimento no ocurre el mismo efecto, por cuanto las concentraciones ambientales dan cuenta de una superación de las normas evaluadas, por lo que en base a los criterios normativos nacionales e internacionales, que nacen a partir de evaluaciones de efectos a organismos sensibles donde implícitamente poseen factores de seguridad, en su mayoría conservadores, se puede inferir que las concentraciones en el sedimento en bahía San Jorge representarían, frente a grupos sensibles de organismos, efectos negativos en el ecosistema.

La siguiente fase de la Evaluación de Riesgo Ecológica (ERE) permite caracterizar las inferencias anteriores, y cuantificar el riesgo, basado en la estimación del cociente de riesgo RQ, número que considera los valores PEC y NOEC anteriores (y normativa en el caso del sedimento).

5.4.1.3 Fase 3: Caracterización del riesgo

5.4.1.3.1 Factores de bioacumulación

Se determinaron los factores de bioacumulación (FBA) para cada taxa, utilizando los valores de concentración de metales disueltos en agua o en sedimentos según corresponda, obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo equivalentes de donde fueron recolectados los organismos y de acuerdo con la siguiente función:

$$FBA = \frac{\text{Concentración de metal en tejido}}{\text{Concentración de metal en columna de agua o sedimentos}}$$

La Tabla 5.4-65 muestra los factores de bioacumulación en recursos hidrobiológicos provenientes de bahía San Jorge, para 10 metales en 30 organismos. Los metales en la tabla corresponden sólo a aquellos que presentaron valores cuantificables en la matriz (agua o sedimento) y que permitieron calcular los FBA.

En general, los organismos bentónicos presentan los mayores factores de bioacumulación para los metales arsénico y cadmio. Los organismos pelágicos (peces) presentan los mayores factores de bioacumulación para el zinc.

Tabla 5.4-65 Factores de Bioacumulación en recursos hidrobiológicos provenientes de bahía San Jorge.

Nombre común	Aluminio	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Níquel	Plomo	Vanadio**	Zinc
Cabrilla*	6.8	27.5	10.0	79.8	15.0	230.3	0.0	1.3	0.0	531.5
Congrio*	11.7	58.2	10.0	123.6	400.0	161.2	122.7	2.5	0.0	2591.9
Jurel*	0.0	82.6	50.0	305.1	110.0	11.5	51.4	2.5	0.0	888.8
Lenguado*	22.2	124.0	20.0	93.7	10.0	11.5	0.0	3.8	0.0	1649.4
Sardina Española*	6.8	234.1	190.0	462.7	55.0	11.5	20.0	2.5	0.0	2722.8
Sargo*	7.3	655.0	40.0	149.6	10.0	138.2	0.0	2.5	0.0	2369.3
Tomoyo*	15.0	128.5	10.0	61.8	5.0	34.5	0.0	1.3	0.0	1361.4
Vieja Colorada*	6.8	93.4	10.0	71.8	5.0	529.7	0.0	22.5	0.0	1780.3
Almeja**	0.0	0.4	1.7	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
Apretador**	0.0	0.6	12.8	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
Caracol Espiral**	0.0	1.1	0.9	0.4	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	1.6
Caracol Negro**	0.0	0.7	1.7	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2
Caracol Rubio**	0.0	1.5	0.9	0.3	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	1.7
Cholga**	0.0	0.6	27.1	0.1	0.1	0.4	0.1	1.2	0.0	1.3
Choro**	0.0	0.4	1.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4
Choro maltón**	0.0	0.2	3.2	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1
Culengue**	0.0	0.3	4.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
Erizo Rojo**	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Estrella negra**	0.0	0.3	2.3	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.5
Huiro**	0.0	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Jaiba**	0.0	1.5	1.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4
Lapa**	0.0	0.3	9.3	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
Locate**	0.0	8.5	77.6	4.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	1.0
Loco**	0.0	2.7	10.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.9
Navajuela**	0.0	0.3	1.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3
Ostión**	0.0	0.4	14.7	0.1	0.0	0.1	0.1	0.7	0.0	1.3
Piure Invasor**	0.0	0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Pulpo**	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
Sol de mar**	0.0	0.7	2.9	0.1	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.3
Turritella**	0.0	1.4	1.0	0.5	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	1.3

* Calculados a partir de la concentración en el fondo de la columna de agua

** Calculados a partir de la concentración de sedimentos

5.4.1.3.2 Series sintéticas PEC y NOEC

Según la metodología expuesta en numerales anteriores, se estima el cociente de riesgo RQ, a través de una simulación de Montecarlo. Para ello resulta necesario generar series sintéticas de PEC y NOEC, a través de un ajuste de una función estadística que mejor refleje los percentiles de cada set de datos. A continuación, se indican los percentiles considerados para el cálculo.

Se desarrollaron regresiones estadísticas de la información para cada uno de los agentes seleccionados. Se utilizaron todas las distribuciones estadísticas disponibles con el software Matlab® (12 estadísticos), y se seleccionaron las que presentaran un mejor ajuste según el criterio de información Bayesiano y un mejor ajuste de los valores mínimos y máximos de cada serie y su representatividad en el conjunto, teniendo en consideración los cambios producto de la cantidad de valores bajo los límites de detección.

A continuación, se presentan de forma gráfica los ajustes sintéticos para los PEC y NOEC de cada agente.

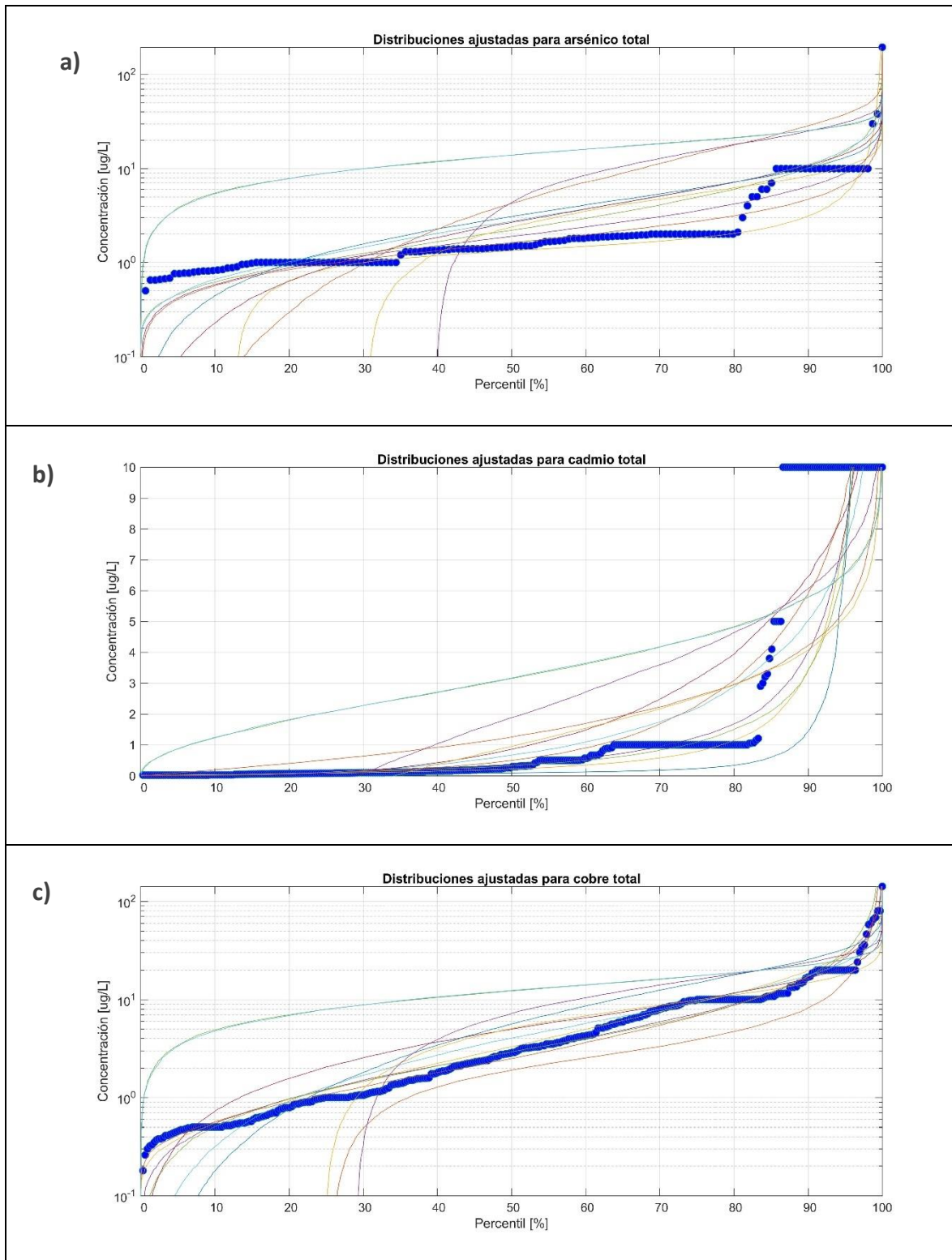


Figura 5.4-169 Ajustes estadísticos para PEC en la matriz agua, para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge, en su fracción total. Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

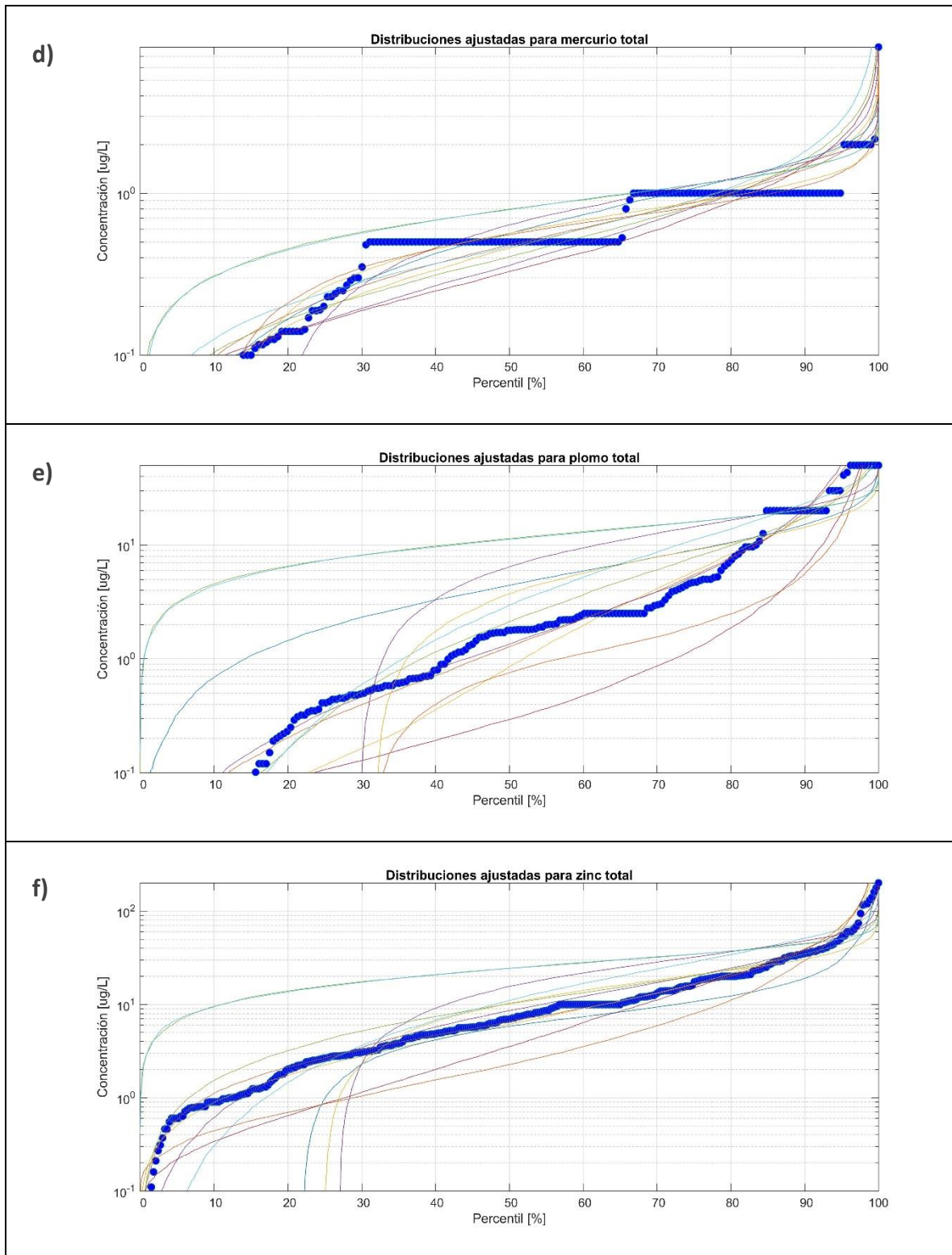


Figura 5.4-170 Ajustes estadísticos para PEC en la matriz agua, para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge, en su fracción total (continuación). Fuente: *Elaboración propia* -CEA 2019

Los mejores ajustes para los PEC asociados a la fracción total en agua se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.4-66 Estadísticos utilizados para la generación de series sintéticas en PEC en la matriz agua, para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge, en su fracción total

Parámetro	Estadístico seleccionado
Arsénico total	Loglogística
Cadmio total	Lognormal
Cobre total	Birnbaum Saunders
Mercurio total	Gamma
Plomo total	Lognormal
Zinc total	Gamma

Asimismo, para los datos PEC en sedimento, se realizó el mismo procedimiento, obteniendo los siguientes ajustes:

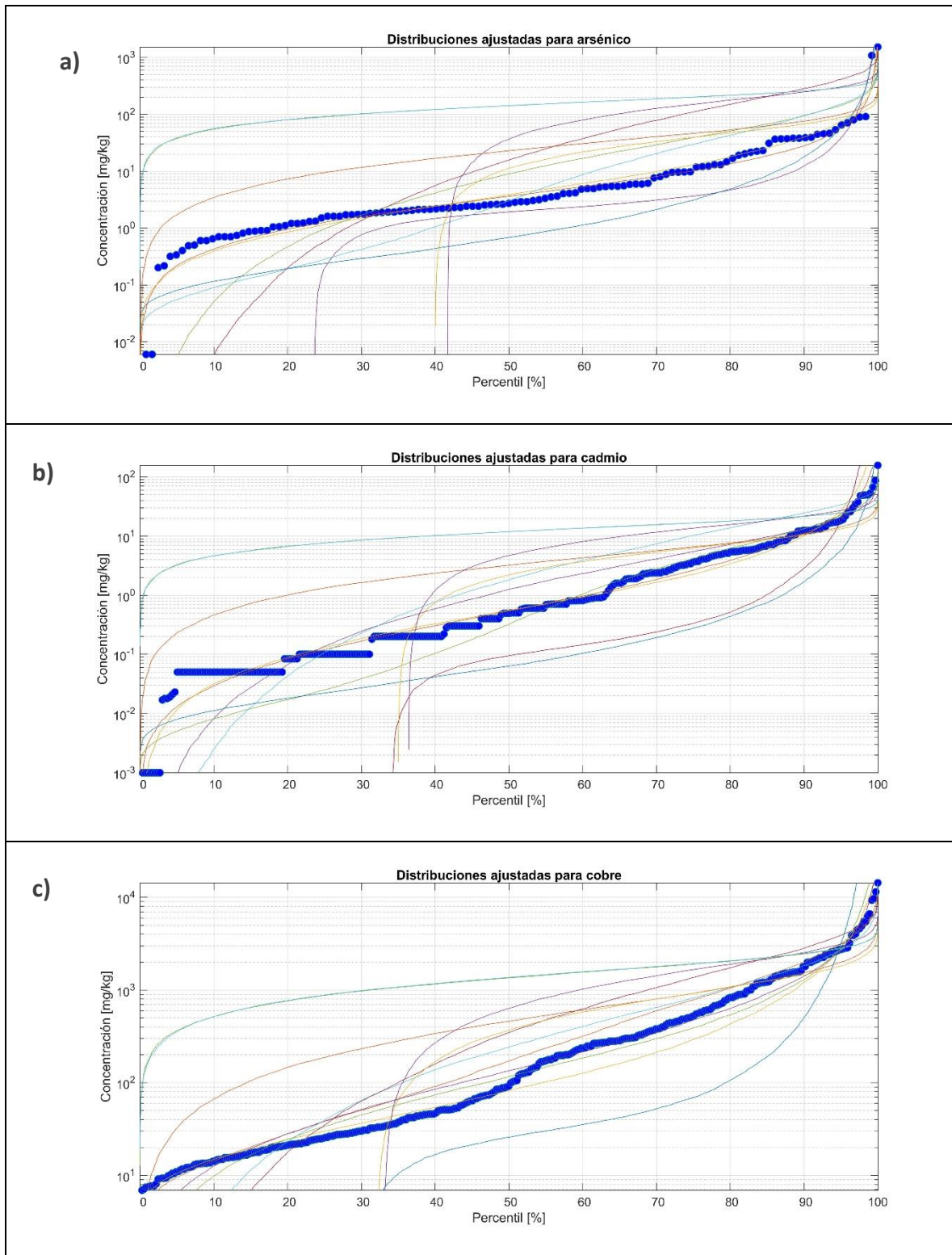


Figura 5.4-171 Ajustes estadísticos para PEC en la matriz sedimento, para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge. Fuente: *Elaboración propia* -CEA 2019

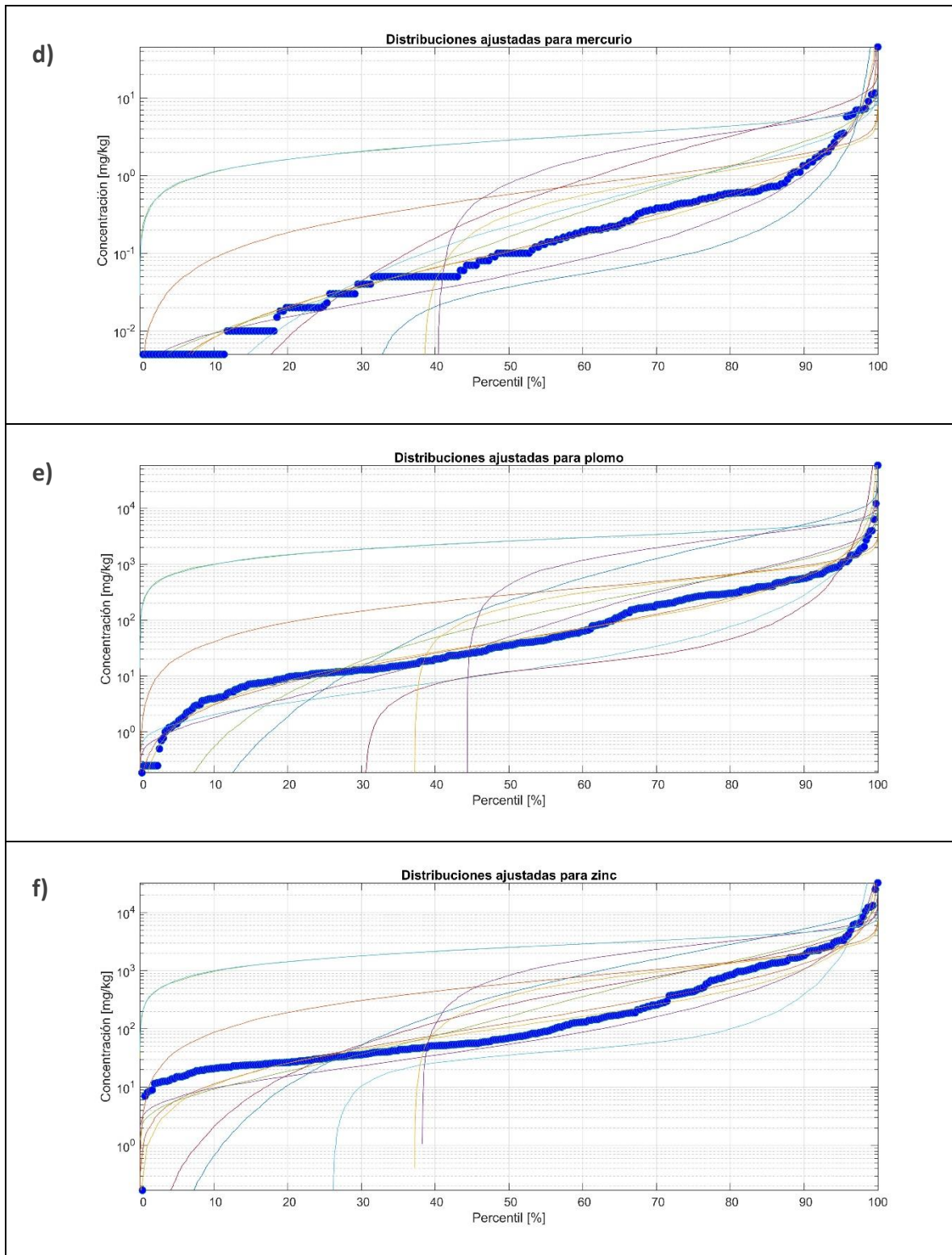


Figura 5.4-172 Ajustes estadísticos para PEC en la matriz sedimento, para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge (continuación). Fuente: *Elaboración propia -CEA 2019*

Tabla 5.4-67 Estadísticos utilizados para la generación de series sintéticas en PEC en la matriz sedimento, para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge, en su fracción total

Parámetro	Estadístico seleccionado
Arsénico total	Birnbaum Saunders
Cadmio total	Birnbaum Saunders
Cobre total	Gausiana inversa
Mercurio total	Nagakami
Plomo total	Nagakami
Zinc total	Birnbaum Saunders

Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

En el caso de la variable NOEC, como se explicó anteriormente, solo se tienen valores de efectos para la matriz agua. A continuación se presentan los ajustes estadísticos desarrollados.

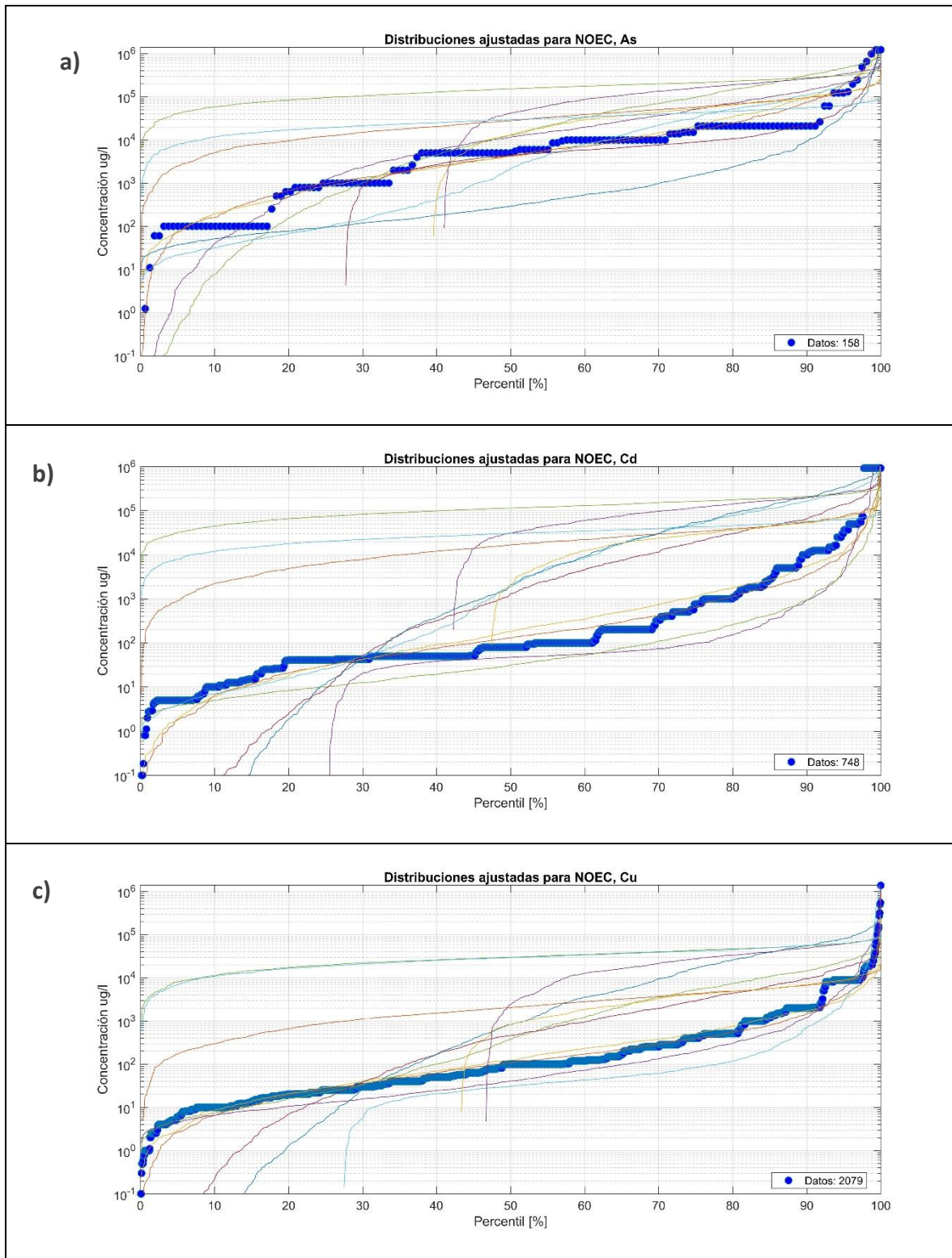


Figura 5.4-173 Ajustes estadísticos para NOEC en la matriz agua para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge. Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

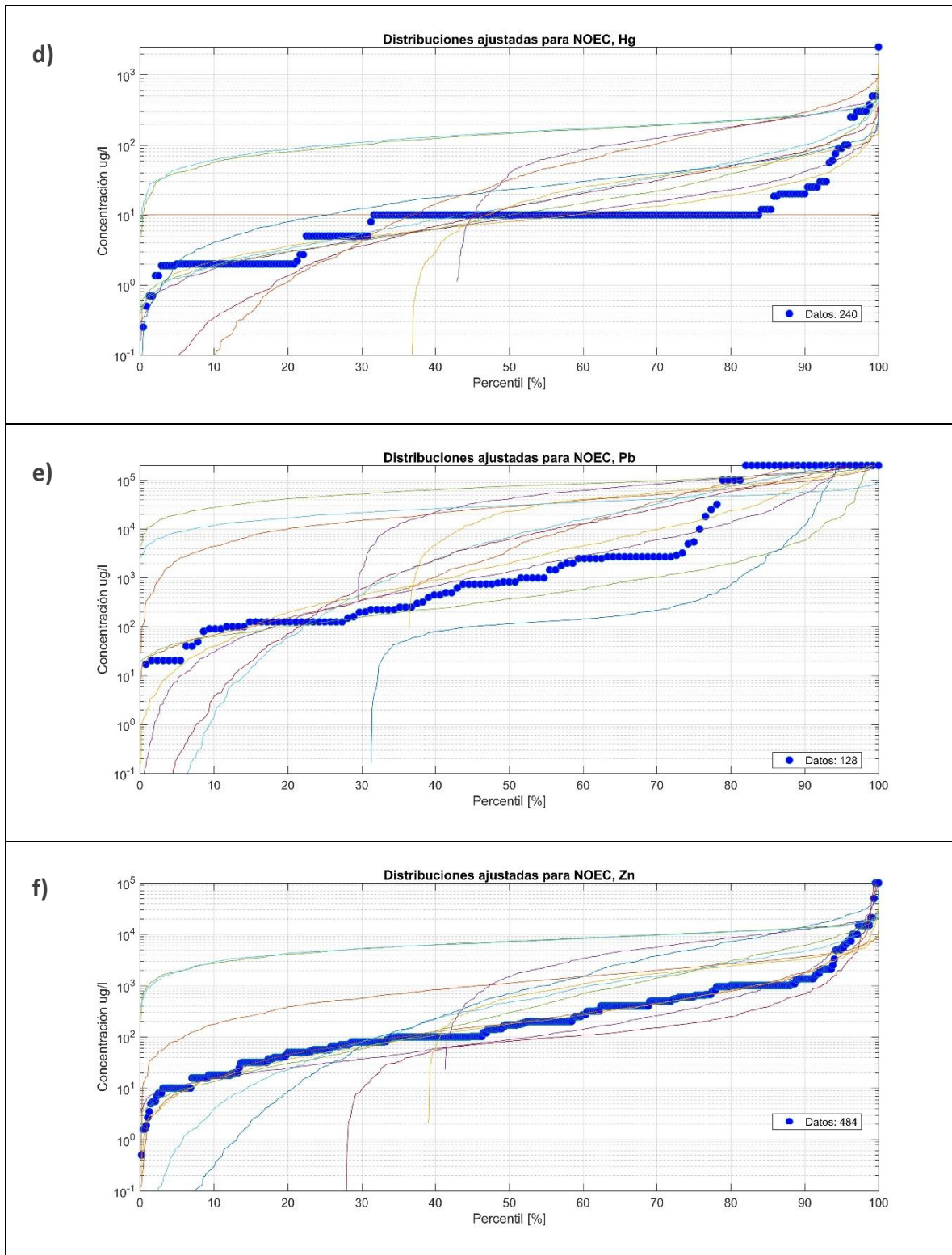


Figura 5.4-174 Ajustes estadísticos para NOEC en la matriz agua para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge (continuación). Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

De los ajustes anteriores, los seleccionados para la variable NOEC son:

Tabla 5.4-68 Estadísticos utilizados para la generación de series sintéticas en NOEC en la matriz agua, para los parámetros potencialmente contaminantes en bahía San Jorge

Parámetro	Estadístico seleccionado
Arsénico total	Lognormal
Cadmio total	Lognormal
Cobre total	Lognormal
Mercurio total	Loglogística
Plomo total	Birnbaum Saunders
Zinc total	Lognormal

Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

Con los resultados de las series sintéticas escogidas para PEC y NOEC, se procede a la siguiente etapa correspondiente a la estimación del cociente de riesgo.

5.4.1.3.3 Cociente de riesgo

Se estimó el cociente de riesgo (RQ), que consiste en la razón entre la PEC y la PNEC (Medina & Encina 2010). Se utilizó un factor de seguridad FS de 10, de acuerdo a lo recomendado por la Directiva Marco de la Comunidad Europea (European Comission, 2005) y La Sociedad de toxicología y química medioambiental (SETAC¹ en sus siglas en inglés, 2010) y lo mencionado en la metodología del presente estudio. En estos estudios se consideran FS dependiendo del nivel de información disponible, de la matriz (agua dulce, salada o sedimentos) y de ciertos resultados específicos. Se consideró un factor de seguridad igual a 10, considerando que el presente estudio cumple lo planteado en la última fila de la Tabla 5.4-69, ya que contiene resultados de corto y largo plazo de los contaminantes en distintos niveles de grupos taxonómicos.

¹ ONG dedicada al estudio, análisis y soluciones a problemas ambientales, gestión y regulación de los recursos naturales a nivel mundial.

Tabla 5.4-69. Factores de seguridad aplicables a datos de toxicidad para un estándar de calidad en agua de mar. (Fuente: European Commission, 2018)

Set de datos	Factor de seguridad
LC ₅₀ * a corto plazo más bajo de representantes de agua dulce o salada de tres grupos taxonómicos (algas, crustáceos y peces, es decir, conjunto base) de tres niveles tróficos	10000
LC ₅₀ * a corto plazo más bajo de representantes de agua dulce o salada de tres grupos taxonómicos (algas, crustáceos y peces) de tres niveles tróficos, más dos grupos taxonómicos marinos adicionales (por ejemplo, equinodermos, moluscos)	1000
Un resultado a largo plazo (por ejemplo, EC ₁₀ o NOEC) (de estudios de reproducción de crustáceos de agua dulce o salada o estudios de crecimiento de peces)	1000
Dos resultados a largo plazo (por ejemplo, EC ₁₀ o NOEC) de especies de agua dulce o salada que representan dos niveles tróficos (algas y / o crustáceos y / o peces)	500
Resultados más bajos a largo plazo (por ejemplo, EC ₁₀ o NOEC) de tres especies de agua dulce o salada (normalmente algas y / o crustáceos y / o peces) que representan tres niveles tróficos	100
Dos resultados a largo plazo (por ejemplo, EC ₁₀ o NOEC) de especies de agua dulce o salada que representan dos niveles tróficos (algas y / o crustáceos y / o peces) más un resultado a largo plazo de un grupo taxonómico marino adicional (por ejemplo, equinodermos, moluscos)	50
Resultados más bajos a largo plazo (por ejemplo, EC ₁₀ o NOEC) de tres especies de agua dulce o salada (normalmente algas y / o crustáceos y / o peces) que representan tres niveles tróficos + dos resultados a largo plazo de grupos taxonómicos marinos adicionales (por ejemplo, equinodermos, moluscos)	10

* LC₅₀: concentración letal para el 50% de los individuos en una prueba de toxicidad

** EC₁₀: concentración de efecto para el 10% de los individuos en una prueba de toxicidad

El cálculo del RQ se basó en un remuestreo de 10.000 datos de series sintéticas entre el PEC y PNEC estimados en la fase anterior, para luego realizar el cálculo de $RQ = PEC/PNEC$.

Así, el RQ se calcula como sigue:

$$RQ = \frac{PEC}{NOEC} \cdot FS,$$

Donde,

RQ: Cociente de riesgo.

PEC: Concentración ambiental estimada.

NOEC: Concentración sin efecto ecológico

FS: Factor de seguridad.

Es importante señalar que los NOEC utilizados corresponden en su mayoría a literatura y documentos internacionales, los cuales no siempre reflejarán las características propias del ecosistema de bahía San Jorge. Asimismo, los compuestos utilizados en cada uno de los bioensayos recopilados tampoco reflejarán la especiación química exacta del medio ambiente. Lo anterior refleja la necesidad futura de estudiar con más detalle el ecosistema y los procesos desde el punto de vista fisicoquímico, de las interacciones que ocurren en el

medio marino, por cuanto el problema de presiones ambientales en el medio marino son un tema global. Es por todo lo anterior que el definir un factor de seguridad FS de 10 resulta ser adecuado en vista del estado del arte del conocimiento de ecosistemas marinos.

Por otro lado, para el caso de los sedimentos, este factor de seguridad se relajó a un valor de 5, porque se utilizaron cifras asociadas a normativas y no a efectos en organismos propiamente tal, debido a que en sedimento no había bases de datos suficientes para generar estadísticos NOEC. Según la comisión Europea², respecto a la extrapolación del método de factor de evaluación, *“como en la derivación del estándar de calidad para agua de mar, cuando se dispone de información adicional sobre la sensibilidad de grupos taxonómicos específicos de agua salada, el factor de evaluación adicional de 10 puede reducirse a 5 o 1”*. Estas normas utilizadas ya incorporan un factor de seguridad, donde en el caso menos conservador se puede suponer un FS de 1. Sin embargo, para no perder de vista la incertidumbre que conlleva usar normas de otros ecosistemas y basado en el criterio experto del equipo consultor, se tomó la decisión de considerar un FS mayor e igual a 5.

² Guidance Document No: 27. Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards

i. RQ Matriz agua

A continuación, se presentan los resultados para la matriz agua

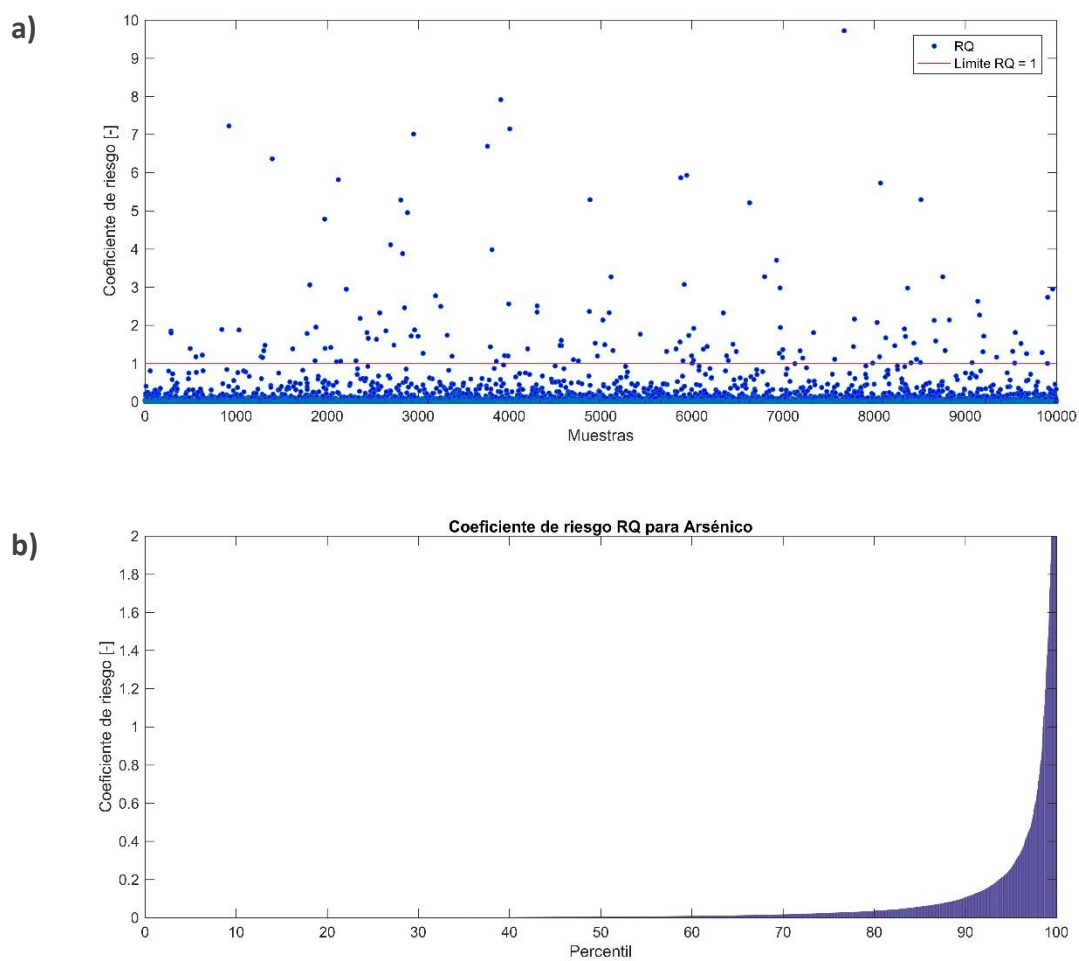


Figura 5.4-175 Estimación del cociente de riesgo RQ para **arsénico en la matriz agua**. a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. Fuente: *Elaboración propia -CEA 2019*

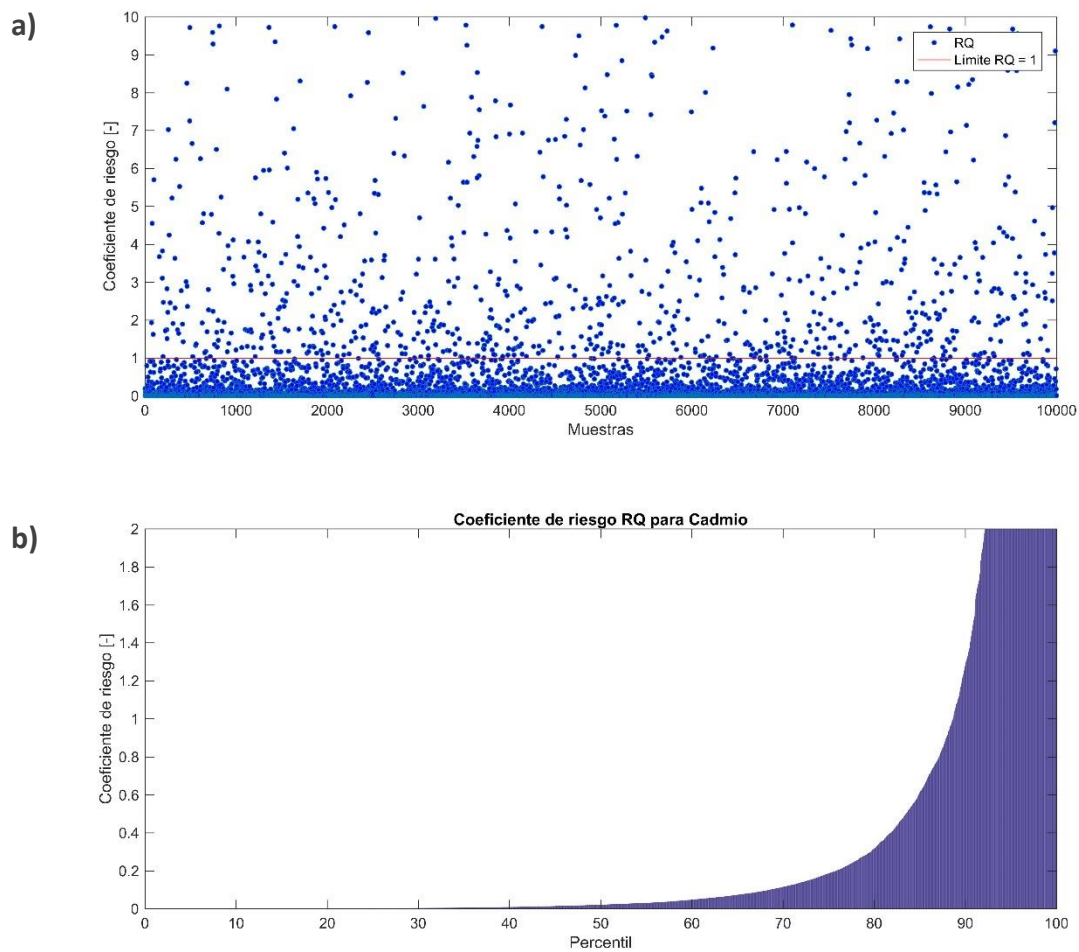


Figura 5.4-176 Estimación del cociente de riesgo RQ para **cadmio en la matriz agua**. a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. Fuente: *Elaboración propia -CEA 2019*

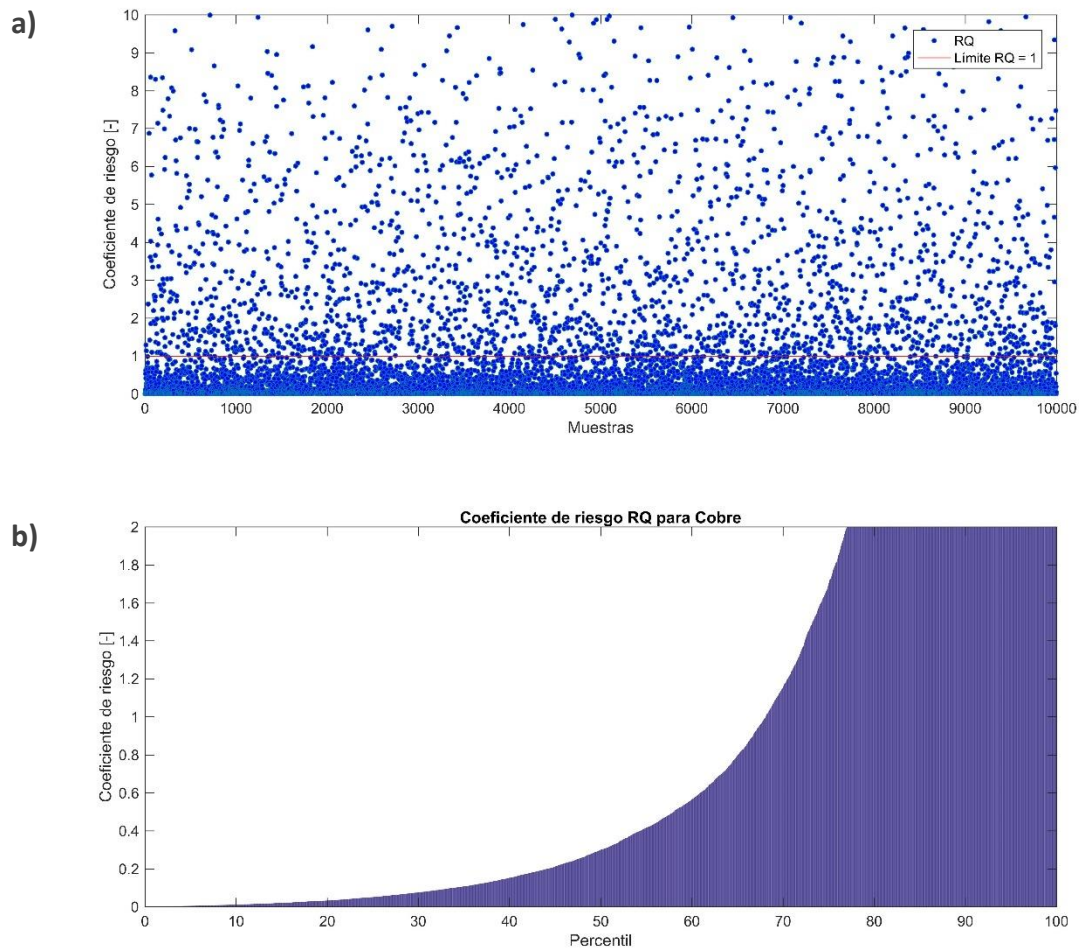


Figura 5.4-177 Estimación del cociente de riesgo RQ para **cobre en la matriz agua**. a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. Fuente: *Elaboración propia -CEA 2019*

Tabla 5.4-70 Estadígrafos de los valores de RQ estimados mediante un muestreo de 10.000 datos sintéticos, para la matriz agua en bahía San Jorge. En rojo se muestran los percentiles que superan el valor de 1.

Parámetro	Arsénico	Cadmio	Cobre	Mercurio	Plomo	Zinc
Promedio	0,10	3,40	7,05	1,51	0,52	4,08
Máximo	190	6753	2044	260	203	1270
Desv. Estándar	2	77	53	5	5	23
Prob(RQ>1)	1,4%	11,7%	31,9%	32,2%	6,2%	33,1%
Percentil	Valor del cociente de riesgo según percentil [-]					
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1
40	0,0	0,0	0,2	0,4	0,0	0,2
50	0,0	0,0	0,3	0,6	0,0	0,4
60	0,0	0,0	0,6	0,8	0,0	0,7
66	0,0	0,1	0,9	1,0	0,0	1,0
70	0,0	0,1	1,2	1,1	0,0	1,4
80	0,0	0,3	2,7	1,7	0,1	2,8
90	0,1	1,3	7,8	3,1	0,5	7,2
95	0,3	4,3	19,9	5,3	1,3	14,7
100	190,5	6.753,5	2.043,5	260,2	202,6	1.270,1

Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

De los resultados anteriores se desprende que los agentes potencialmente contaminantes que representan un riesgo, de mayor a menor son: zinc, mercurio, cobre, cadmio plomo y arsénico, en términos de cuánto es la probabilidad de que el RQ sea mayor a 1. Es importante señalar que los valores sintéticos arrojan valores elevados para el percentil 100, lo cual no deben considerarse por cuanto esto corresponderían a los límites propios de las series sintéticas, en donde sus límites superior e inferior se escapan de los valores reales.

ii. RQ Matriz sedimento

Análogo a la matriz agua, a continuación se presentan los resultados del cálculo del cociente de riesgo. En el caso de la matriz sedimento, se estimaron 3 set de RQ para cada normativa citada (MOP 1994, ISQG Canadá 2002 y ISQG Australia y N. Zelanda 2002), por lo que para efectos de este informe se presenta la normativa más conservadora, los demás resultados pueden encontrarse en **Anexos_digitales\04_OE3\5_ERE\3_Cociente_riesgo**.

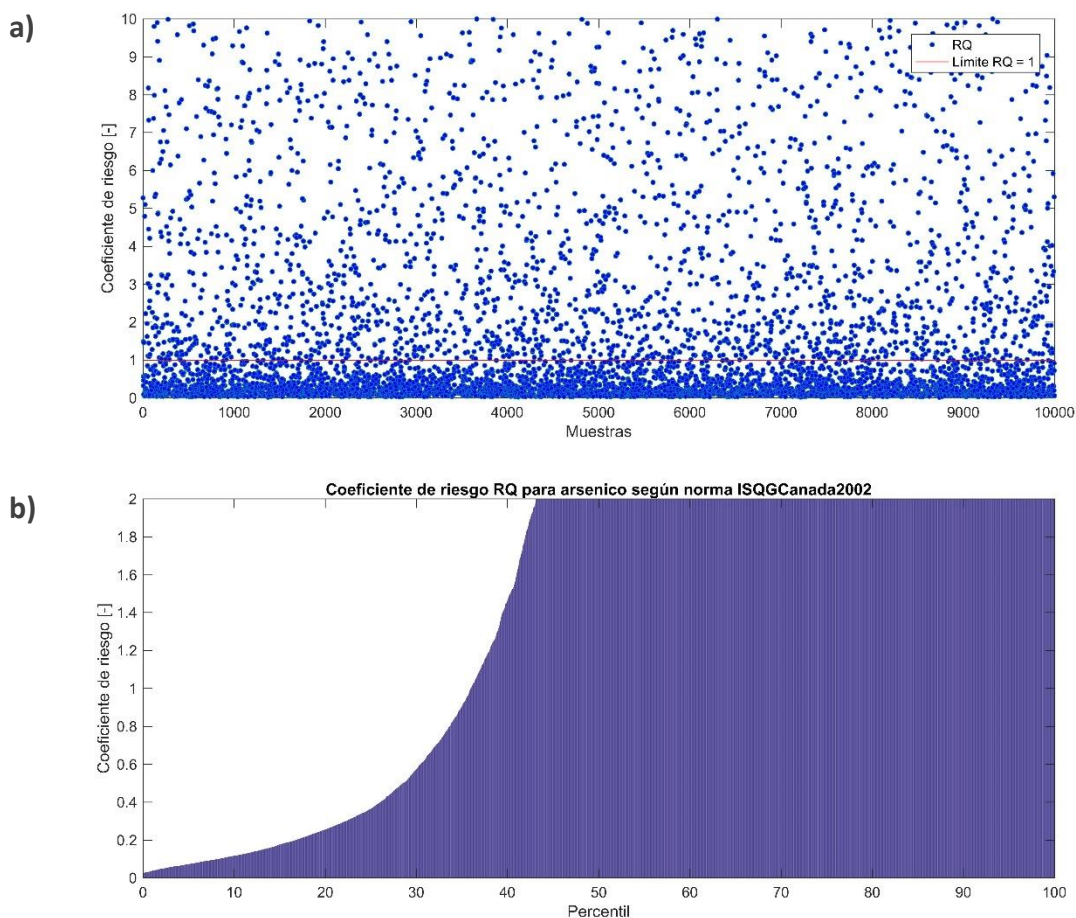


Figura 5.4-178 Estimación del cociente de riesgo RQ para **arsénico en la matriz sedimento**, considerando la normativa más conservadora a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores

sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. *Fuente: Elaboración propia -CEA 2019*

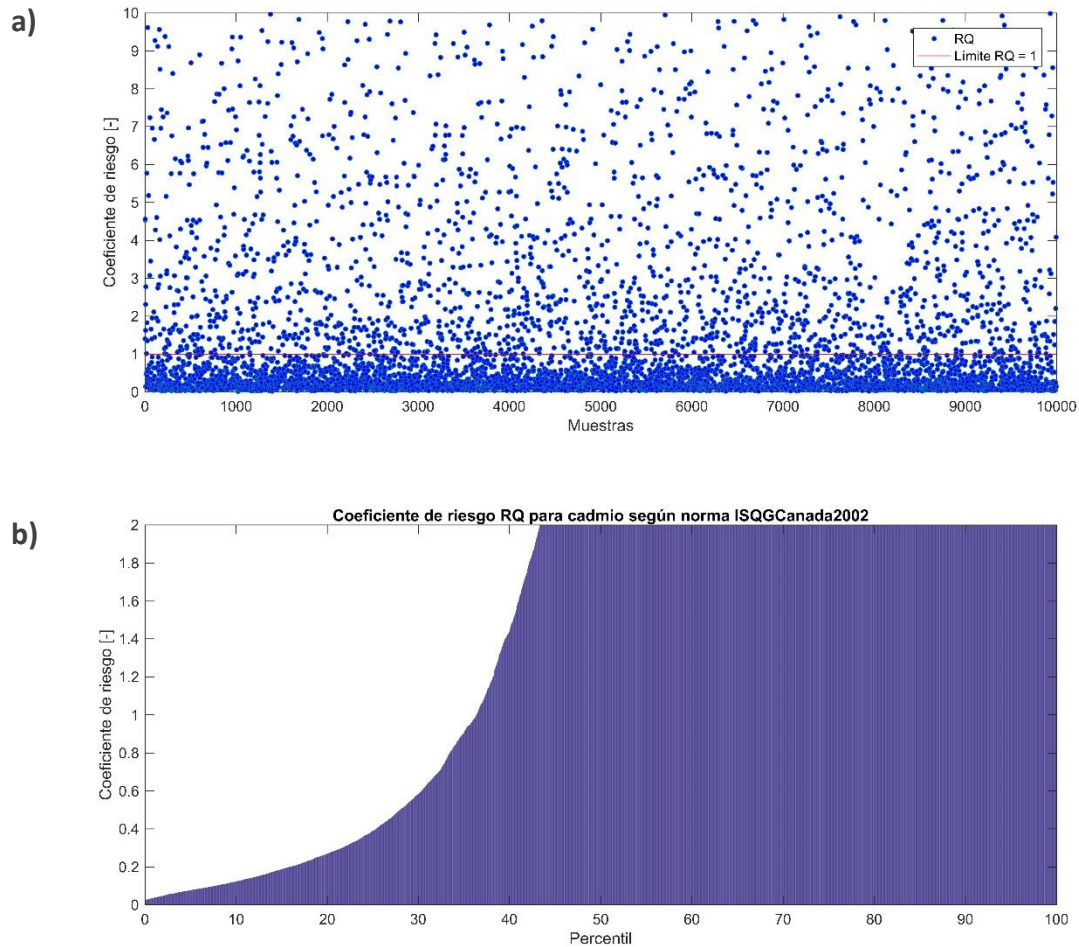


Figura 5.4-179 Estimación del cociente de riesgo RQ para **cadmio en la matriz sedimento**, considerando la normativa más conservadora a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. *Fuente: Elaboración propia -CEA 2019*

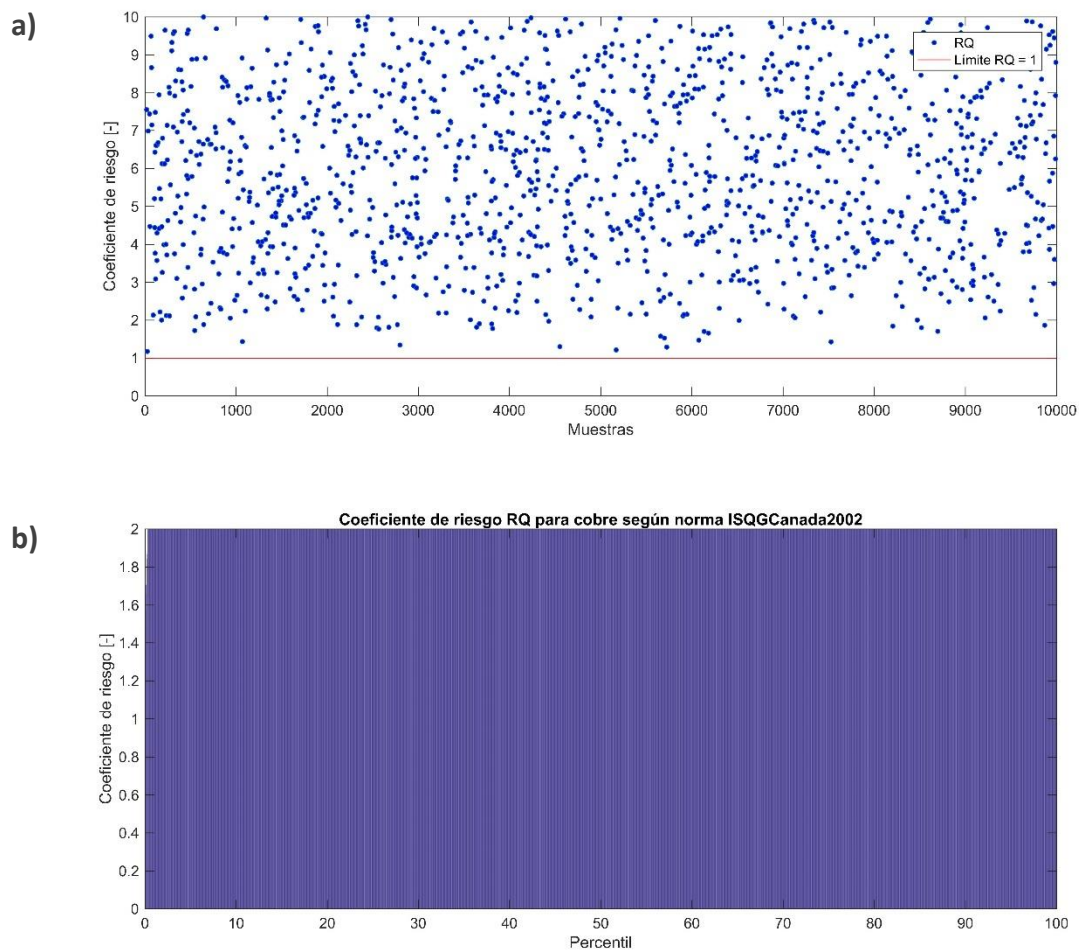


Figura 5.4-180 Estimación del cociente de riesgo RQ para **cobre en la matriz sedimento**, considerando la normativa más conservadora a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. *Fuente: Elaboración propia -CEA 2019*

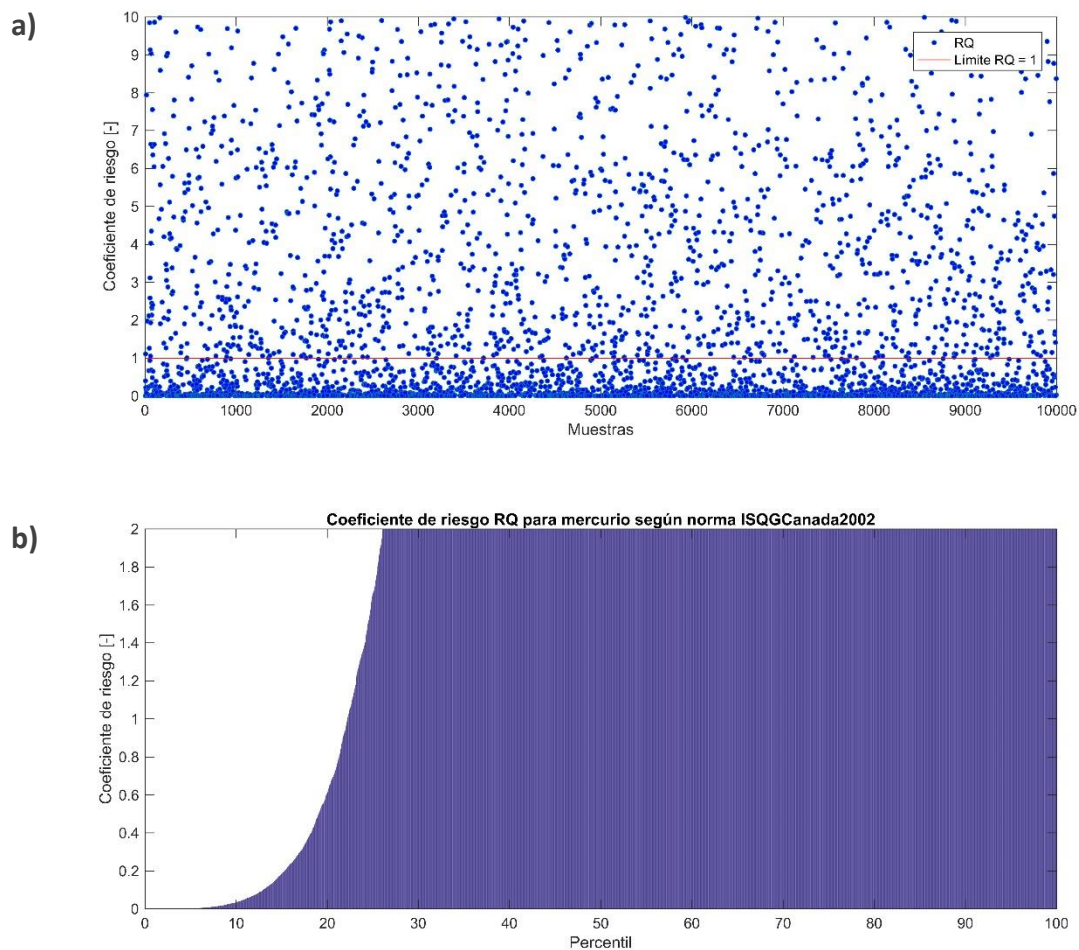


Figura 5.4-181 Estimación del cociente de riesgo RQ para **mercurio en la matriz sedimento**, considerando la normativa más conservadora a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. *Fuente: Elaboración propia -CEA 2019*

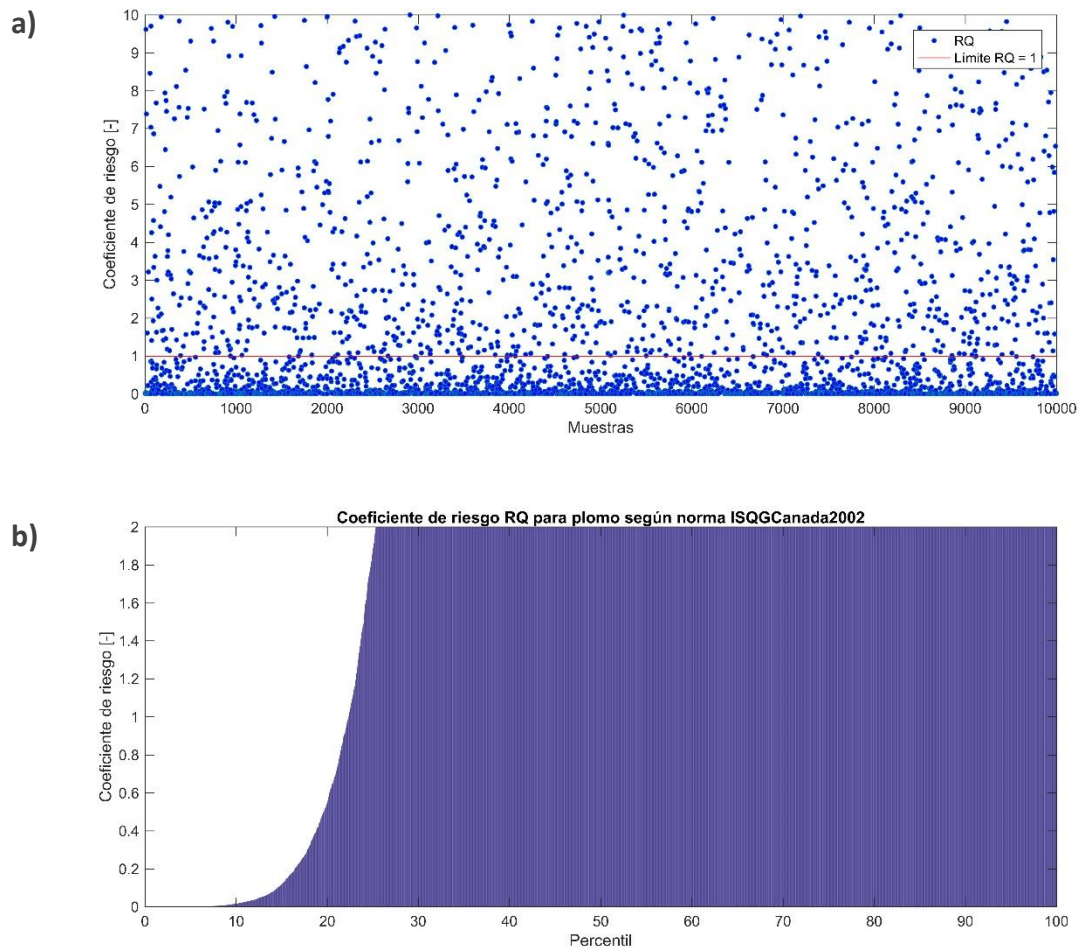


Figura 5.4-182 Estimación del cociente de riesgo RQ para **plomo en la matriz sedimento**, considerando la normativa más conservadora a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. *Fuente: Elaboración propia -CEA 2019*

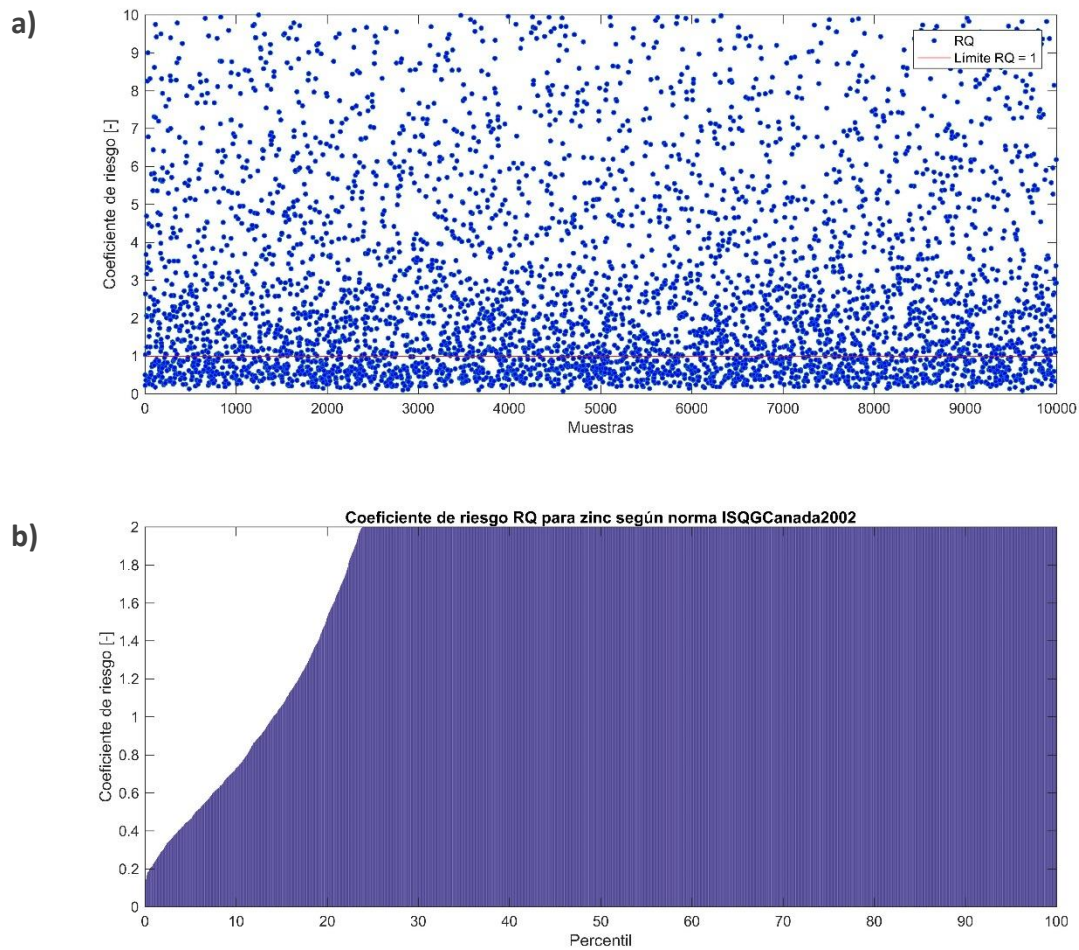


Figura 5.4-183 Estimación del cociente de riesgo RQ para **zinc en la matriz sedimento**, considerando la normativa más conservadora a) Muestra de 10.000 resultados. Línea roja muestra el límite RQ = 1 (los valores sobre este límite representan un riesgo ecológico). b) Mismos valores distribuidos en percentiles. *Fuente: Elaboración propia -CEA 2019*

Con el objetivo de entender mejor los resultados anteriores, además de resumir la información en parámetros de interés. A continuación, se presenta una síntesis de todos los resultados del cociente de riesgo.

iii. Síntesis de resultados

La siguiente tabla muestra las probabilidades (en porcentaje) de que el cociente de riesgo sea mayor a 1, es decir, la probabilidad de que exista un riesgo sobre organismos sensibles, tanto para la matriz agua y sedimento.

Tabla 5.4-71 Probabilidades de que el cociente de riesgo sea superado en 1, es decir, probabilidad de que exista un riesgo sobre organismos sensibles para la matriz agua y sedimento, en bahía San Jorge.

Matriz evaluada	Matriz Agua	Matriz Sedimento		
		Sedimento (MOP, 1994)	Sedimento (ISQG Canadá, 2002)	Sedimento (ISQG Australia y Nueva Zelanda, 2002)
Efectos	Agua			
Arsénico total	1,4%	43,5%	63,3%	53,3%
Cadmio total	11,7%	60,8%	64,4%	57,1%
Cobre total	31,9%	91,5%	100,0%	97,8%
Mercurio total	32,2%	75,2%	77,6%	76,8%
Plomo total	6,2%	73,8%	77,4%	75,1%
Zinc total	33,1%	82,2%	85,9%	79,0%

Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

La interpretación de estas cifras guarda relación a la cuantificación del riesgo, con el objetivo de orientar mejor las medidas de mitigación o remediación. Particularmente en bahía San Jorge, se observa claramente que la matriz sedimento es la que presenta un mayor riesgo asociado a los agentes estudiados en comparación al agua, por cuanto su probabilidad de riesgo es superior.

Gráficamente, los RQ pueden expresarse como sigue:

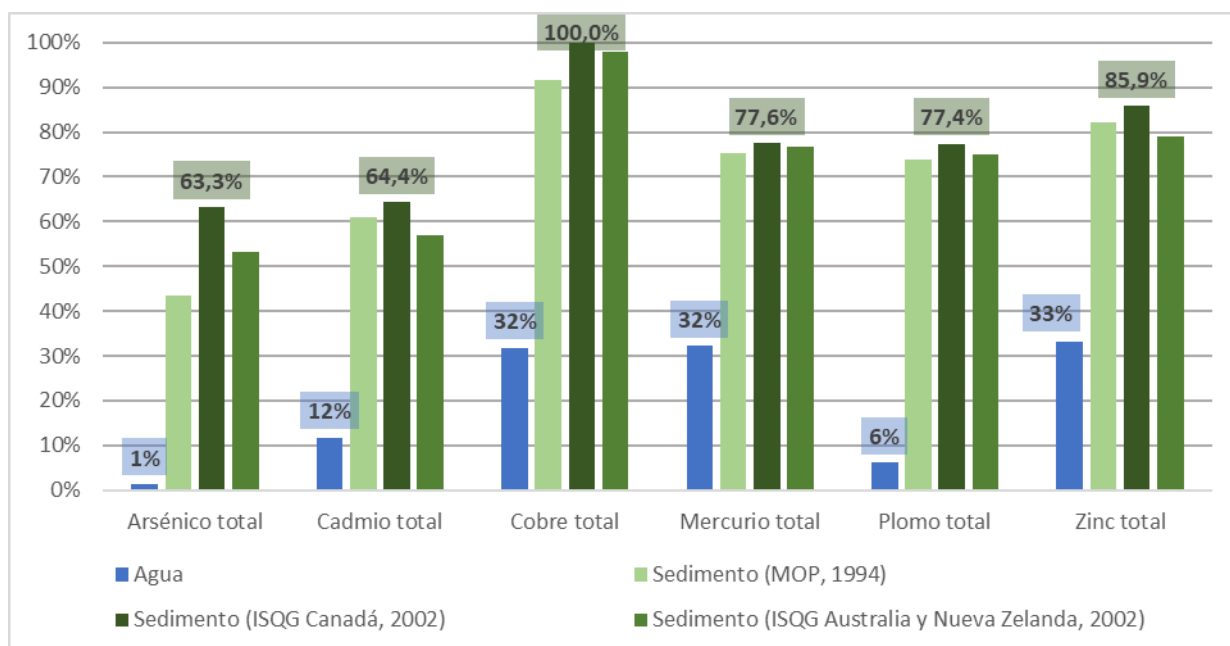


Figura 5.4-184 Probabilidades de que el cociente de riesgo sea superado en 1, es decir, probabilidad de que exista un riesgo sobre organismos sensibles en bahía San Jorge. Fuente: Elaboración propia -CEA 2019

De los resultados anteriores, se desprende que todos los agentes estudiados presentan en una cierta medida, un riesgo ecológico asociado. La matriz agua presentó cocientes de riesgo inferiores que el sedimento, se observan riesgos bajos para el arsénico, cadmio y plomo, no así para el cobre, mercurio y zinc, con cifras superiores al 30%.

En la matriz sedimento, se destaca por sobre todos los demás el cobre y zinc, con cocientes de riesgo sobre el 80%. Le siguen el mercurio y plomo con cifras sobre el 70% de probabilidad de riesgo. El camio y arsénico presentaron probabilidades de riesgo similares en el sedimento con cifras que rondan entre los 40% y 60%.

Se puede inferir que se debe poner especial atención en los siguientes agentes en el sedimento: cobre, zinc, mercurio y plomo; sin descartar además el arsénico y cadmio, que de todas formas presentaron cocientes de riesgo elevados, pero menores a los cuatro primeros mencionados.

Ahora bien, los resultados anteriores pueden ser cotejados con una estimación niveles de protección ambiental, los cuales se calculan tomando en consideración los efectos NOEC determinados en la fase 2 del estudio.

5.4.1.3.4 Estimación de niveles de protección

La determinación de niveles de protección estimados a partir de una evaluación de riesgo ecológico, debieran incluir tanto la variabilidad como la incertidumbre inherentes al problema, para lo cual se deben utilizar métodos de simulación probabilística, que introducen una serie de ventajas por sobre los enfoques determinísticos, entre las que se cuentan:

- (i) Los valores de toxicidad (PNEC) y exposición (PEC), se pueden definir como distribuciones estadísticas que cubren el rango completo de valores posibles y son distribuidos de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia;
- (ii) Los parámetros de PNEC y (PEC) pueden variar aleatoria y simultáneamente, permitiendo la propagación de la incertidumbre a través del modelo;
- (iii) Las simulaciones de Montecarlo generan distribuciones de frecuencia estadísticamente válidas y totalmente caracterizadas, cubriendo el rango completo de valores posibles. Adicionalmente, se debe realizar un análisis de sensibilidad para determinar aquellas variables que influyen en mayor medida en el resultado final y análisis de importancia de la incertidumbre para determinar las variables que influyen en mayor medida en el resultado final, de tal forma que los valores protección ambiental permitan efectivamente proteger los ecosistemas.

Basando en los antecedentes descritos, surge la necesidad de establecer los niveles de protección de ecosistemas acuáticos y determinar las respuestas de organismos frente a diversos xenobióticos. Si bien muchas de las pruebas ecotoxicológicas están estandarizadas, así como las especies a utilizar, el objetivo final es que los resultados permitan proteger los ecosistemas naturales. Complementariamente, los enfoques probabilísticos de estimación del riesgo ecológico incorporan la variabilidad e incertidumbre asociadas a las respuestas ecotoxicológicas de los diversos niveles tróficos, permitido realizar estimaciones de niveles de protección que efectivamente protegen los ecosistemas.

Sobre la base de las distribuciones probabilísticas de los NOEC obtenidos en las bases de datos y de los bioensayos ecotoxicológicos realizados en este estudio, se estimó una concentración que proteja el 95% de las especies consideradas en la distribución denominado HC5% (EC, 2005). Se consideró un valor de 10, como factor de seguridad (SETAC, 2010).

Para la estimación de los límites normativos de la fase disuelta, se ha utilizado los factores de conversión de la EPA (National Recommended Water Quality Criteria for aquatic life, Apendix A).

En el caso del sedimento marino, se utilizó la normativa citada más restrictiva, por cuanto no fue posible determinar valores NOEC en sedimento, debido a la poca información disponible en las bases de datos citadas.

La siguiente tabla muestra los valores límites estimados como niveles de protección ambiental.

Tabla 5.4-72 Concentraciones ambientales límite recomendadas para bahía San Jorge

Parámetro	Fracción total [ug/l]	Fracción disuelta [ug/l]	Sedimento [mg/kg]
Arsénico	100,00	100,00	7,24
Cadmio	5,00	4,97	0,70
Cobre	6,00	4,98	52,30
Mercurio	2,00	1,70	0,13
Plomo	20,40	19,40	30,20
Zinc	10,00	9,46	124,00

En contraste con la normativa ambiental internacional, la siguiente tabla presenta los niveles anteriores con los existentes en distintas regiones del globo. Cabe señalar que para el agua de mar las normativas internacionales se considera la fracción disuelta como valor de análisis para el cumplimiento, lo cual guarda relación a la capacidad que tienen las especies marinas a incorporar estos elementos bajo su fracción disuelta por sobre la total. Asimismo, se incorpora los valores PEC promedio estimados en el presente estudio.

Tabla 5.4-73 Comparativa de valores encontrados para la fracción disuelta de elementos potencialmente contaminantes en Bahía San Jorge, comparación con la normativa internacional.

Parámetro	Arsénico disuelto	Cadmio disuelto	Cobre disuelto	Mercurio disuelto	Plomo disuelto	Zinc disuelto	
HC5%	100,00	4,97	4,98	1,70	19,40	9,46	
PEC Bahía San Jorge	0,62	2,54	5,28	0,27	0,43	3,68	
EPA. 2009 (US)	CMC (Agudo)	69,00	40,00	4,80	1,80	210,00	74,00
	CCC (Crónico)	36,00	8,80	3,10	0,94	8,10	8,20
CCME. 2007 (Canadá)	12,50	0,12		-	-	-	
Australia and New Zealand Environment. 2000	-	0,70	0,30	-	2,20	7,00	
Water Quality Standards (Washington)	CMC (Agudo)	69,00	42,00	4,80	1,80	210,00	74,00
	CCC (Crónico)	36,00	9,30	3,10	0,03	8,10	8,20
Oregon Department of Environmental Quality. 2015	CMC (Agudo)	69,00	40,00	4,80	2,10	210,00	74,00
	CCC (Crónico)	36,00	8,80	3,10	0,03	8,10	8,20
Ecological Screening Criteria ASM (New Jersey)	Agudo	69,00	40,00	4,80	1,80	210,00	64,00
	Crónico	36,00	8,80	3,10	0,94	24,00	22,00

De la tabla anterior puede observarse que el valor HC5% del arsénico disuelto resulta ser superior a todas las normativas internacionales. Por otro lado, el cadmio, cobre y mercurio disuelto reflejan niveles similares (o iguales) a los recomendados internacionalmente. En el caso del plomo disuelto y zinc, los valores recomendados mantienen un orden de magnitud de igual cantidad para todas las normativas en su CCC (Criterio de Concentración Continua). Por consiguiente, los valores estimados de HC5% se encuentran dentro del orden de magnitud de los valores de protección propuestos en otras normativas, a excepción del arsénico.

Cabe señalar que estos niveles de protección ambiental estimados en el presente estudio pueden ser de utilidad para complementar estudios asociados a normas secundarias en bahía San Jorge.

5.4.2 Evaluación de Riesgo a la Salud Humana (ERSH)

La ERSH cuenta con 5 etapas:

3. Evaluación de riesgo para la salud humana
 - f. Revisión sistemática de publicaciones científicas
 - g. Identificación del peligro
 - h. Factores de exposición
 - i. Caracterización y Evaluación del riesgo para la salud humana
 - j. Análisis de incertidumbre

A lo largo del desarrollo del estudio, se realizó una revisión sistemática de las publicaciones científicas, a partir de las cuales se generaron los principales antecedentes descritos a continuación.

Por otra parte, durante los meses de agosto y septiembre de 2019, dentro del Marco del Estudio “Análisis de Riesgo Ambiental en Bahía San Jorge, Antofagasta, código BIP: 30130908-0” se realizó una encuesta poblacional en la Bahía de San Jorge Antofagasta para estimar el tipo y nivel de consumo de alimentos provenientes de dicha bahía por parte de sus habitantes. Con una población total de 361.873 habitantes como universo, se efectuó un cálculo de tamaño muestral considerando un 95% de nivel de confianza y un 5% de error, determinando un total de 384 hogares por encuestar. Una vez finalizado el terreno se logró obtener una muestra de 406 participantes adultos y 57 niños, quienes libremente firmaron consentimiento informado y accedieron a participar en el estudio. Los detalles de esta encuesta se encuentran en **Anexos_digiales\04_OE3\6_Riesgo_salud**.

Las actividades de encuesta en colegio estaban programadas a ser retomadas entre la 3ra y 4ta semana de octubre. Debido al estallido social ocurrido el día 18 de octubre del año 2019, los colegios ubicados en el área de estudio presentaron un funcionamiento irregular, tal que se cancelaron las clases durante octubre³ y en noviembre⁴ se barajó la idea de cerrar el año escolar en varias instituciones debido a la baja asistencia. Así, con la contraparte técnica se llegó a un consenso donde se decidió evaluar el número de individuos logrado en el primer periodo de muestreo, tanto en adultos como en niños (406 y 57, respectivamente).

³ <https://www.soychile.cl/Antofagasta/Sociedad/2019/10/27/622095/Alcaldesa-de-Antofagasta-descarto-inicio-de-clases-este-lunes-en-colegios-municipales.aspx>

⁴ <https://www.diarioantofagasta.cl/regional/antofagasta/111668/alcaldesa-de-antofagasta-pide-cierre-anticipado-del-ano-escolar/>

5.4.2.1 *Introducción*

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.

Dentro del ámbito de la gestión ambiental el Diagnóstico de Salud corresponde a la línea base de salud de la población. Permite identificar los problemas de salud habituales, imperantes en la comuna, y al contar con información histórica y actual se puede evaluar el impacto de las actividades presentes en el área.

Además, para evaluar el estado de salud de los habitantes de un territorio determinado, se deben incluir las relaciones que se presentan entre los residentes y las actividades económicas que no son residenciales pero que son parte de la cotidianeidad y permiten el desarrollo productivo del mismo.

Para conocer la interrelación entre los partícipes de un territorio, es necesario por lo tanto identificar la tipología de estas actividades y/o instalaciones y su ubicación relativa en el territorio, para establecer como estas impactan tanto positivamente como negativamente sobre la salud de las personas.

Esta radiografía se confeccionó sobre la base del análisis estadístico de información pública contenida en los registros de defunciones, egresos hospitalarios, atenciones de urgencia y de notificación de enfermedades. Todos esos registros han sido elaborados y publicados por el Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud.

A su vez, la Evaluación de Riesgo es una metodología que permite tomar decisiones en materia de prevención de enfermedades sobre la población. Permite estimar la magnitud de la probabilidad de aparición de enfermedades y efectos adversos sobre la población en presencia de contaminación del medio ambiente.

En este caso entrega respuesta a la pregunta ¿Cuál es el riesgo de los habitantes de la comuna de Antofagasta frente a las condiciones ambientales imperantes en la Bahía de San Jorge, Antofagasta?

Esta metodología fue desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y está siendo ampliamente utilizada en el mundo. Comprende una serie de etapas:

- Identificación del Peligro
- Evaluación de la Exposición o Modelo Conceptual
- Evaluación de la Dosis-Respuesta
- Caracterización del Riesgo

5.4.2.2 Metodología

5.4.2.2.1 Caracterización de la Bahía

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.

Dentro del ámbito de la gestión ambiental el Diagnóstico de Salud corresponde a la línea base de salud de la población. Permite identificar los problemas de salud habituales, imperantes en la comuna, y al contar con información histórica y actual se puede evaluar el impacto de las actividades presentes en el área.

Además, para evaluar el estado de salud de los habitantes de un territorio determinado, se deben incluir las relaciones que se presentan entre los residentes y las actividades económicas que no son residenciales pero que son parte de la cotidianidad y permiten el desarrollo productivo del mismo.

Para conocer la interrelación entre los partícipes de un territorio, es necesario por lo tanto identificar la tipología de estas actividades y/o instalaciones y su ubicación relativa en el territorio, para establecer como estas impactan tanto positivamente como negativamente sobre la salud de las personas.

Esta radiografía se confeccionó sobre la base del análisis estadístico de información pública contenida en los registros de defunciones, egresos hospitalarios, atenciones de urgencia y de notificación de enfermedades. Todos esos registros han sido elaborados y publicados por el Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud.

5.4.2.2.2 Identificación del peligro

La metodología que a continuación se describe toma en consideración los lineamientos establecidos por el Servicio de Evaluación Ambiental y el Ministerio de Medio Ambiente en materia de Evaluación de Riesgo a la Salud de la Población, así como antecedentes internacionales de interés a la situación estudiada.

La identificación del Peligro de los contaminantes presentes en la Bahía de Antofagasta se hará mediante un análisis cualitativo, mediante la identificación de contaminantes de origen químico y biológico presentes en la bahía y la búsqueda de información relativa a efectos adversos que ellos pueden provocar sobre la población que la habita.

La relación entre la exposición a los contaminantes y los efectos adversos se hará por medio de la revisión de bases de datos públicas toxicológicas (ATSDR- IRIS – IARC) y publicaciones de estudios epidemiológicos de interés.

El resultado de este paso es proporcionar información sobre:

- Los contaminantes de interés para la salud pública que serán objeto de la evaluación de riesgo.
- Especificar los efectos a la salud de los contaminantes antes mencionados, particularmente identificando si se trata de contaminantes químicos no cancerígenos o cancerígenos.

5.4.2.2.3 Factores de exposición

Se establecerá el modelo conceptual de riesgo determinando las rutas, vías, presencia de mecanismos de migración de contaminantes y receptores sensibles, a modo de llegar a integrar todas las vías de exposición potencial y calcular las dosis totales de exposición. Se utilizarán las concentraciones encontradas en los medios ambientales (agua, suelo/sedimento) y en los alimentos.

El escenario de exposición que se analizará corresponderá a contacto directo, en actividad recreativa, que corresponde a baño en el litoral.

También se evalúa la vía digestiva, contemplando una ingesta periódica de alimentos del mar (algas, mariscos y pescados) y/o una ingesta accidental de agua.

Se evalúa el escenario de exposición en niño por ser el receptor más sensible dentro de la población general, y en forma precautoria, se usarán los máximos niveles observados de contaminantes en la columna de agua y en la biota.

Para el análisis de la exposición al agua de mar se aplicó el razonamiento definido por la *“Guía para la Evaluación de Impacto en la Salud del Servicio de Evaluación Ambiental”*, que en lo medular contempla evaluar el riesgo utilizando los siguientes criterios.

- a) No supera valores de exposición establecidos en normas primarias de calidad ambiental nacional.
- b) No supera valores de exposición establecidos en normas primarias de estados de referencia.
- c) No aumenta un riesgo pre- existente.
- d) No supera el nivel de riesgo incremental aceptado para los contaminantes cancerígenos, considerando los niveles, frecuencia y duración de la exposición.

- e) No supera valores referenciales para el caso de los contaminantes no cancerígenos, considerando los niveles, frecuencia y duración de la exposición”⁵.

La evaluación del literal a) tendrá en consideración los valores establecidos por el DS 144/2009, que establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo y el Reglamento Sanitario de los Alimentos. Existiendo norma primaria vigente, no se realizará un análisis respecto de estados de referencia definidos en el literal b).

Para evaluar el literal c) resultaría interesante evaluar la incorporación de los contaminantes estudiados que pudieran estar ingresando por medio de otras exposiciones, tales como el aire y el agua potable. Sin embargo, dichos antecedentes están fuera del alcance de este informe.

Para evaluar los literales d) y e), se estimará la exposición con la siguiente fórmula genérica del cálculo de dosis diarias de exposición:

$$D = \frac{C \cdot TC \cdot TE \cdot FE \cdot DE}{P_c \cdot TP}$$

En donde:

- D = Dosis de contaminante (dosis suministrada) (mg/Kg/día)
- C = Concentración⁶ de exposición en la columna de agua de mar (mg/l)
- TC = Tasa de contacto (l/hr)
- TE = Tiempo de exposición (horas/día)
- FE = Frecuencia de exposición (días al año)
- FE = Duración de la exposición (años)
- P_c = Peso corporal (Kg)
- TP = Período sobre el cual se promedia la exposición en días ($DE \times 365$ días).

Por otro lado, para evaluar el riesgo de la alimentación, se calculará la ingesta diaria estimada mediante la siguiente fórmula:

$$IDE = \frac{TI \cdot C \cdot FE \cdot DE}{P_{cp} \cdot TP}$$

⁵ Servicio de Evaluación Ambiental Guía del artículo 11 de la Ley de Bases 19300 letra a) Riesgo para la Salud de la Población, 2012.

⁶ Se usará la concentración máxima observada en la columna de agua

En donde:

- IDE = Ingesta diaria estimada ($\mu\text{g}/\text{kg}$ peso/ día)
- TI = tasa de ingesta de pescado ($\mu\text{g}/\text{día}$)
- C = Concentración del arsénico, cadmio, plomo y mercurio en el pescado ($\mu\text{g}/\text{Kg}$ peso seco)
- P_{cp} = peso corporal promedio (kg)

Se asume que los metales se absorben completamente y que la técnica de cocina no altera la concentración del metal en los alimentos. Tampoco se calcula el peso seco del alimento consumido. También se asume para el cálculo del incremento de riesgo cancerígeno (ILCR) que el 3% del arsénico total medido en pescados y mariscos correspondería a arsénico inorgánico⁷⁸⁹¹⁰.

La absorción de contaminantes vía contacto dérmico se calcula siguiendo las fórmulas¹¹:

- Para contacto en agua: $TC = K_p A_{piel} l_d$

Donde:

TC = Tasa de Contacto

K_p = Constante de permeabilidad dérmica

A_{piel} = Área de la piel expuesta

l_d = Duración diaria de la exposición

⁷ Gbogbo F et al Risk of heavy metal ingestion from the consumption of two commercially valuable species of fish from fresh and costal wáter of Ghana. PLOS/one <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194682> , march 23, 2018.

⁸ https://www.cfs.gov.hk/english/multimedia/multimedia_pub/multimedia_pub_fsf_17_02.html

⁹ Kaare Julshamn , Bente M. Nilsen , Sylvia Frantzen , Stig Valdersnes , Amund Maage , Kjell Nedreaas & Jens J. Sloth (2012) Total and inorganic arsenic in fish samples from Norwegian waters, Food Additives & Contaminants: Part B: Surveillance, 5:4, 229-235, DOI: 10.1080/19393210.2012.698312

¹⁰ Storelli M & Marcotrigiano G (2001) Total, Organic, and Inorganic Arsenic in Some Commercial Species of Crustaceans from the Mediterranean Sea (Italy), Journal of Food Protection, Vol. 64, N°11, 1858-1862.

¹¹ Fjeld R. Eisenberg N, Compton K Ed J Wiley Quantitative Environmental Risk Analysis for human health. Chap.9 Exposure Assessment- Dermal Absortion p 207, 2007

- Para contacto suelo contaminado (sedimento): $TC = \alpha_f F_{abs} \nu_e A_{piel}$

Donde:

TC = Tasa de Contacto

α_f = Factor de adherencia suelo-piel

F_{abs} = Fracción de absorción dérmica

ν_e = Frecuencia de la exposición

A_{piel} = Área de la piel expuesta

La Dosis Total corresponde a la suma de la exposición por contacto agua más la ingesta diaria estimada por la alimentación y/o la ingesta accidental de agua, más la exposición por contacto dérmico (agua y suelo o sedimento), lo que entrega la dosis ambiental recibida por los habitantes de la comuna. El alimento seleccionado fue aquel que contenía los metales estudiados y el que se consumió con mayor frecuencia entre los adultos, contemplando que son ellos los que adquieren la alimentación y los escolares pueden estar expuestos a dicho consumo. Para el cálculo del riesgo incremental de cáncer (ILCR) se consideró la única información disponible de *slope cáncer factor*¹² que corresponde a arsénico inorgánico en agua, pues no existe dicho factor para alimento.

Para la evaluación de la exposición se realizó un levantamiento en terreno de modo de estimar los factores de exposición y calcular la tasa de ingesta de alimentos del mar. Para este efecto se realizó una encuesta en Antofagasta durante el segundo semestre del año 2018 y primer semestre 2019. Se consideró el percentil 90 de los valores observados para el cálculo de las dosis de exposición. El consumo se calculó al considerar las preferencias de consumo de la población y la cantidad de producto señalado. Para el cálculo del riesgo se consideraron las concentraciones presentes en el pescado y marisco más frecuentemente consumido por la población adulta. En anexo estadístico se entregan resultados de dosis de exposición para todos los peces analizados y los mariscos más frecuentemente consumidos.

Dentro de la encuesta realizada a la población de Antofagasta, en las opciones de consumo se adjuntaron opciones de alimentos enlatados y no enlatados, seleccionando todos aquellos que tienen un consumo regular dentro de la dieta de los encuestados. Luego, se

¹² EPA IRIS cancer slope factor of 1,5 mg/kg/day.

consideró que del total de días dentro del año que declaró consumir el encuestado, una fracción de estos corresponde a un consumo efectivo de alimentos no enlatados. Esta fracción se estimó al considerar isoprobable la elección de los alimentos dentro del rango de tiempo de estudio, ie, que todos los alimentos tienen la misma preferencia por parte del encuestado, obteniendo un factor “f” de la forma:

$$f = \frac{p_{ne}}{p_{ne} + p_e}$$

donde:

p_{ne} : cardinal de productos no enlatados seleccionados por el encuestado.

p_e : cardinal de productos enlatados seleccionados por el encuestado.

De manera tal que, cuando el encuestado declara no consumir productos enlatados, la frecuencia de exposición corresponderá al total de días declarados de consumo de productos del mar, mientras que, en el caso de no declarar opciones de consumo de productos no enlatados, los días de consumo serán reducidos a 0.

$$FE_i = f_i \times FE_i^*$$

Donde:

f_i : factor de ajuste de consumo del individuo i.

FE_i^* : Frecuencia de exposición declarada por el individuo i.

FE_i : Frecuencia de exposición de individuo i, ajustada según preferencias de consumo.

En cuanto al tratamiento de la información se destaca lo siguiente:

- Las preferencias de alimentos que fueron dejadas en blanco por parte de los encuestados fueron consideradas como valores “0”, es decir, no consume.
- Los valores de gramos por porción que fueron dejados vacíos se consideraron: 1) Igual a 0 cuando el encuestado no seleccionó ninguna especie en las opciones de consumo; 2) Iguales a la mediana cuando seleccionaron especies de consumo.
- Los valores de frecuencia de consumo que fueron dejado en blanco por parte de los encuestados se consideraron como: 1) 0 cuando el encuestado no seleccionó ninguna opción de consumo en las listas de especies; 2) igual a la mediana cuando en la lista de especies seleccionó alguna opción de consumo.

- Las frecuencias de asistencia a la playa que fueron dejadas en blanco se consideraron como valores nulos.

El protocolo de investigación fue evaluado y visado por el Comité de Ética de la Universidad de los Andes, que está debidamente acreditado.

A continuación, algunos aspectos metodológicos de la encuesta, que se adjunta en Anexo.

a. Participantes

Se invitó a participar a los residentes (con permanencia en la zona de al menos 1 año) (único criterio de inclusión), de la bahía de Antofagasta. La muestra consistió en un grupo de 406 familias, seleccionadas al azar, a través de un muestreo aleatorio simple de casas por medio de una grilla de números al azar.

Una vez seleccionada la casa, se visitó a la familia, se explicó al adulto responsable los objetivos del estudio y se solicitó la firma del consentimiento informado. Posteriormente se aplicó el cuestionario de exposición ambiental. También se realizó una encuesta a escolares residentes en los hogares encuestados.

b. Tamaño de la muestra

1) Encuesta poblacional:

Durante el mes de agosto a octubre de 2019, se realizó la encuesta poblacional en la Bahía de San Jorge Antofagasta. Con una población total de 361.873 habitantes¹³ como universo, se realizó un cálculo de muestra considerando un 95% de nivel de confianza y un 5% de error, determinando un número total de 384 hogares por encuestar, realizado el terreno se logró obtener una muestra de 406 participantes adultos, quienes libremente firmaron consentimiento informado y accedieron a participar.

Si la población es finita, es decir conocemos el total de la población y deseamos saber cuántos del total tendremos que estudiar la fórmula utilizada es:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) \times Z_a^2 \times p \times q}$$

Donde: N = Total de la población, $Z_a = 1,96$ al cuadrado (si la seguridad es del 95%), p = proporción esperada (en este caso 50% = 0.5), q = 1 – p (en este caso 1-0.5 = 0.5) y d =

¹³ Instituto nacional de Estadística Censo de Población y vivienda 2002 y 2017.

precisión (5%). Al desconocer la proporción esperada, utilizamos el 50% lo que maximiza el tamaño de muestra (n).

Tabla 5.4-74: Población y tamaño de muestra, Antofagasta.

Muestra	Población (2017)	Tamaño de muestra
<i>Requerida</i>	361.873	384
<i>Lograda</i>		406

Fuente: elaboración propia

c. Instrumentos de evaluación cuantitativa

1) Encuesta poblacional (Anexo)

La encuesta se elaboró confeccionando preguntas sobre consumo de alimentos del mar (tipo, frecuencia y cantidad). Fue aplicado por un entrevistador entrenado, usando una tableta a través del programa de encuestas llamado *SurveyMonkey* a 406 adultos que residían en la comuna de Antofagasta, por más de un año.

2) Encuesta Escolares (Anexo)

Durante los meses de agosto a octubre, se realizó la encuesta poblacional en la Bahía de San Jorge Antofagasta en donde se incluyó la encuesta a niños reportada por un apoderado o padre del menor. Con una población total de 76.260 habitantes (base a población de entre 0 y 14 años según Censo 2017)¹⁴ como universo, se determinó un número total de 68 menores a incluir mediante el reporte de un representante, realizado el terreno se logró obtener una muestra de 57 participantes, quienes libremente firmaron consentimiento informado y accedieron a participar. Debido a las condiciones imperantes en el país, no se pudieron realizar encuestas en colegios, que hubieran permitido completar el número mayor de escolares.

A continuación, en la Tabla 5.4-75, se presentan los niveles de referencia y exposición a sustancias de interés, con su respectiva fuente bibliográfica.

¹⁴ Instituto nacional de Estadística Censo de Población y vivienda 2002 y 2017.

Tabla 5.4-75 Niveles de referencia, vía y sistema u órgano blanco, exposición crónica de sustancias de interés estudiadas, Antofagasta

(mg/kg ww)	Dosis Referencia (mg/kg/día)	Vía	Sistema/órgano Blanco	Fuente
Aluminio	1	Oral	Neurológico	ATSDR
Arsénico(*)	0,0003	Oral	Dérmico	ATSDR
Cadmio	0,0001	Oral	Renal	ATSDR
Cobre	0,01	Oral	Gastrointestinal	ATSDR
Cromo	0,0009	Oral	Gastrointestinal	ATSDR
Hierro	0,8	Oral	Hematológico	IPCS/OMS
Litio	0,002	Oral	Renal	IRIS/EPA
Magnesio	6	Oral	Gastrointestinal	NIH/USA
Manganeso	0,14	Oral	Neurológico	IRIS/EPA
Mercurio	0,005	Oral	Gastrointestinal	IPCS/OMS
Molibdeno	0,003	Oral	Urinario	IRIS/EPA
Níquel	0,007	Oral	Inmune	IPCS/OMS
Plomo	0,01	Oral	Hematológico	IPCS/OMS
Selenio	0,005	Oral	Dérmico	ATSDR
Estroncio	2	Oral	Musculo-esquelético	ATSDR
Vanadio	0,01	Oral	Hemático	ATSDR
Zinc	0,3	Oral	Hemático	ATSDR
Hidrocarburo	0,0005	Oral	Inmunológico	ATSDR

5.4.2.2.4 Caracterización y evaluación de la exposición

La evaluación del riesgo se llevará a cabo tomando en consideración los criterios establecidos en la Resolución Exenta No 406 que “Aprueba Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes y sus anexos” y la Guía Evaluación de Riesgo para la Salud de la Población del Servicio de Evaluación Ambiental.

- Superación de valores de exposición establecidos en normas primarias de calidad ambiental nacional.
- Superación de valores de exposición establecidos en normas primarias de calidad ambiental de los Estados que señala el Reglamento del SEIA.
- Aumento del riesgo preexistente.
- Superación del nivel de riesgo incremental aceptado para el caso de contaminantes cancerígenos, considerando los niveles, frecuencia y duración de la exposición.
- Cálculo de la razón de peligros (HR) y superación del nivel de riesgo incremental aceptado para el caso de contaminantes no cancerígenos, considerando los niveles, frecuencia y duración de la exposición.

- Se caracteriza el riesgo en función de los materiales que resulten relevantes del proceso de diagnóstico del ecosistema marino y de los resultados de la encuesta de consumo de productos alimenticios marinos, y en especial si tienen origen en las AMERB.

5.4.2.2.5 Análisis de incertidumbre

Se analiza cualitativamente las fuentes de incertidumbre presentes en la evaluación de riesgo. Esto incluye detallar claramente la naturaleza y magnitud de las fuentes de incertidumbre de manera de ser ponderadas a la hora de evaluar la necesidad de recopilar información adicional, incorporar factores de seguridad y elaborar las conclusiones de la evaluación.

Las incertidumbres en la evaluación de riesgo serán discutidas incluyendo, pero no limitado a, la calidad y cantidad de datos utilizados, así como los factores, supuestos y modelos utilizados que puedan llevar a sobrestimar o subestimar los resultados encontrados.

5.4.2.3 *Resultados*

5.4.2.3.1 Caracterización de la bahía

i. Principales antecedentes

La comuna de Antofagasta se encuentra ubicada en la II Región de Antofagasta, en la provincia de Antofagasta. La provincia tiene una superficie de 67.812 km² y se divide en 4 comunas: Antofagasta, Mejillones, Taltal, y María Elena, en tanto que la comuna de Antofagasta posee una superficie de 30.718 km², correspondiendo a un 45% del total del territorio provincial.

El territorio que actualmente ocupa la ciudad de Antofagasta corresponde a una planicie costera y es parte de una terraza extensa y alargada cuya superficie es de 6.813hás, que la define como la ciudad mayor dentro de la región. Esta terraza está contenida entre el macizo de los cerros costeros y el océano pacífico, extendiéndose en el territorio en dirección norte - sur. Esta explanada longitudinal se conecta al valle central hacia el oriente mediante dos valles transversales principales. Actualmente la ciudad presenta importantes áreas territoriales con fuerte desarrollo inmobiliario, tanto al norte como al sur, siendo el territorio norte el que presenta el mayor potencial de crecimiento futuro de largo plazo, fuera del actual límite urbano.

La ciudad de Antofagasta se localiza en un sector donde predominan 2 grandes unidades geomorfológicas, planicie litoral y acantilado muerto. Ambos se encuentran incididos por numerosas quebradas que, en eventos de lluvias torrenciales, se activan registrándose en numerosas ocasiones aluviones.

Gran parte de los distritos de expansión urbana colindantes a los cerros están expuestos a catastróficos aluviones, el más reciente ocurrido, como se sabe, en junio de 1991. La

consolidación de los asentamientos sobre los cauces naturales, entre los que destacan 16 quebradas que desembocan en forma directa sobre la ciudad, obligó a planificar sistemas de evacuación de estas aguas, con obras relevantes ejecutadas recientemente en las quebradas El Carmen y La Cadena. A estos riesgos, el emplazamiento urbano agrega el de los posibles tsunamis. En específico, los sectores más vulnerables corresponden al tramo céntrico y, en segundo orden, al frente costero hacia el sur.

El catastrófico aluvión de 1991 estuvo asociado al fenómeno del Niño, en que resultaron muertas 101 personas y hubo US\$ 80 millones en pérdidas económicas.

Es una ciudad de reciente formación y ha crecido rápidamente en 142 años de desarrollo, ubicándose como la principal ciudad del norte y la cuarta a nivel nacional, después de Santiago y de las conurbaciones de Concepción – Talcahuano y Valparaíso – Viña del Mar, amparada en el importante empuje de la actividad minera regional, constituyendo su principal centro portuario y de servicios. El acelerado crecimiento urbano de Antofagasta y los buenos indicadores económicos regionales no se han visto, sin embargo, plenamente reflejados en su desarrollo, presentando importantes deficiencias de infraestructura pública y en la cobertura de vivienda social.

La ciudad se ha expandido progresivamente hacia el norte y el sur. Por su parte la vía férrea y las instalaciones ferroviarias vinculadas con la actividad portuaria han determinado la localización del barrio industrial, pieza que desde la década de los años '60 ha sido progresivamente absorbida por el explosivo avance de la ciudad, manifestando actualmente condiciones de obsolescencia y deterioro, e impidiendo la continuidad del funcionamiento de la ciudad.

Las principales actividades industriales de la comuna de Antofagasta se encuentran íntimamente ligadas a la minería. Por otra parte, en las últimas décadas, ha presentado un sostenido crecimiento en las áreas relativas a la construcción, comercio y hotelería, servicios en general además de un notable desarrollo urbano. Según se observa en la tendencia obtenida de la información censal de los años 2002, 2012 y 2017, la población total de Antofagasta ha experimentado un aumento discreto, tal como se aprecia en el siguiente gráfico:

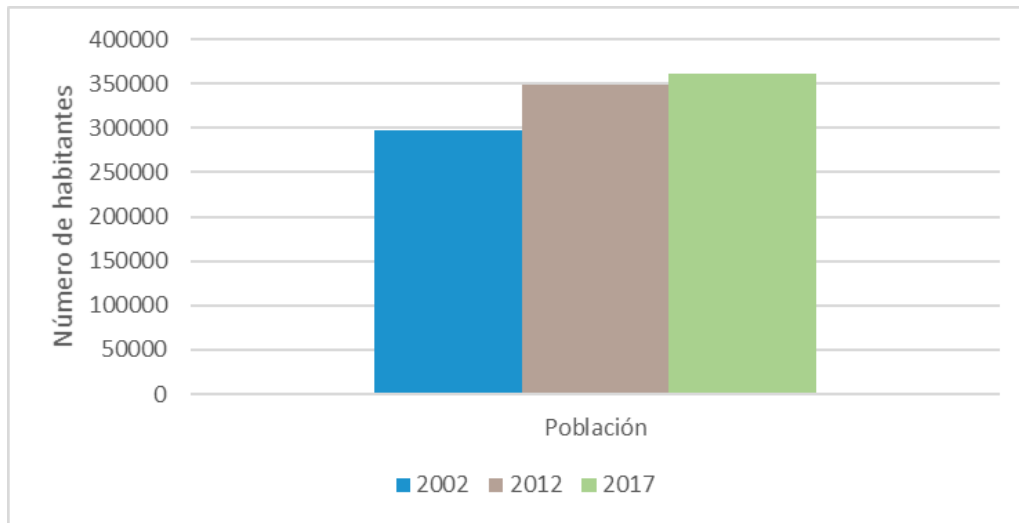


Figura 5.4-185: Población censal de los años 2002, 2012 y 2017.



Figura 5.4-186 Comuna de Antofagasta.

a) Demografía

La Esperanza de vida al nacer¹⁵ de los habitantes de Antofagasta es de 77,96 años, distribuyéndose en 80,21 años en las mujeres y 75,73 años en los hombres. Comparado este índice con el nivel regional y especialmente con la Mejor Comuna de la Región respecto de la expectativa de vida, Antofagasta presenta una menor esperanza de vida.

Tabla 5.4-76 Población por sexo e índice de masculinidad (IM):

Año	Categoría	Población		
		Comuna	Región	País
2002	Hombre	153.220	256.165	7.447.695
	Mujer	143.885	237.819	7.668.740
	IM	106,5	107,7	97,1
2012	Hombre	173.245	272.785	8.101.890
	Mujer	175.424	274.678	8.532.713
	IM	98,8	99,3	95,0
2017	Hombre	181.846	315.014	8.601.989
	Mujer	180.027	29.252	8.972.014
	IM	101,0	107,7	95,9

Fuente: INE. Censo 2002,2012 y 2017

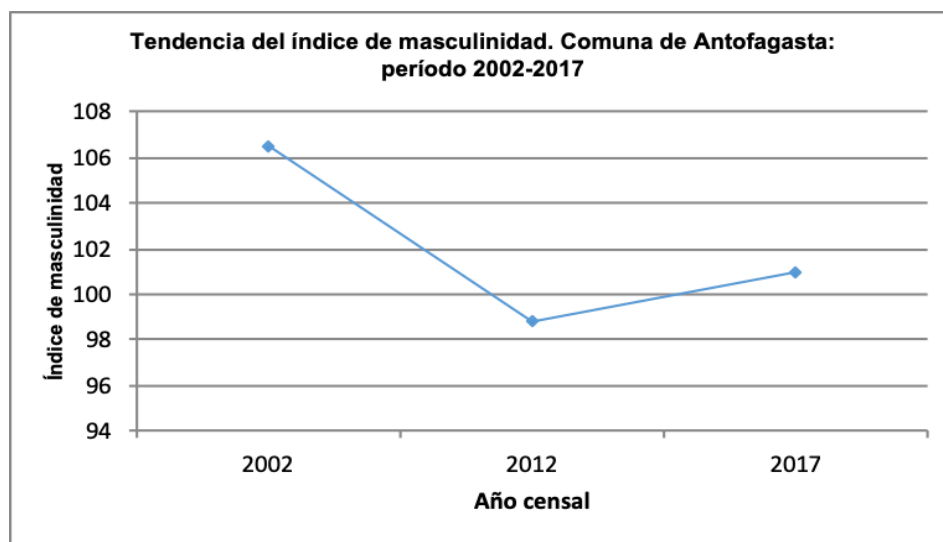


Figura 5.4-187 Tendencia del índice de masculinidad. Comuna de Antofagasta.

¹⁵ La esperanza de vida al nacer indica la cantidad de años que viviría un recién nacido si los patrones de mortalidad vigentes al momento de su nacimiento no cambian a lo largo de la vida del infante.

Durante todo el período 2002-2017 se observa un mayor Índice de masculinidad en Antofagasta en comparación con Chile, donde existe un leve predominio de mujeres. Este IM ha ido en disminución, lo cual podría estar en relación con una mayor inmigración o nacimientos de mujeres durante el transcurso de los años.

La población menor de 15 años ha experimentado una disminución, mientras que los mayores han aumentado, observándose un mayor crecimiento poblacional en el grupo de 15-64 años.

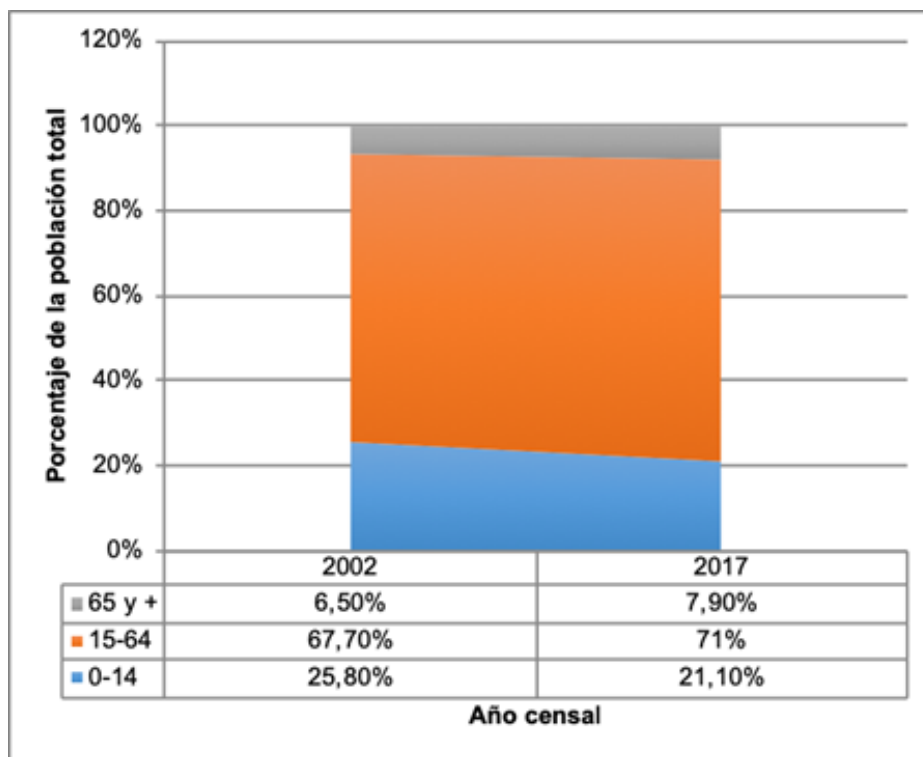


Figura 5.4-188 Tendencia de la población total. Comuna de Antofagasta.

La pirámide poblacional de la comuna de Antofagasta es similar a la del país, de tipo constrictiva, con un gran número de población activa y tendencia a crecer en su parte superior.

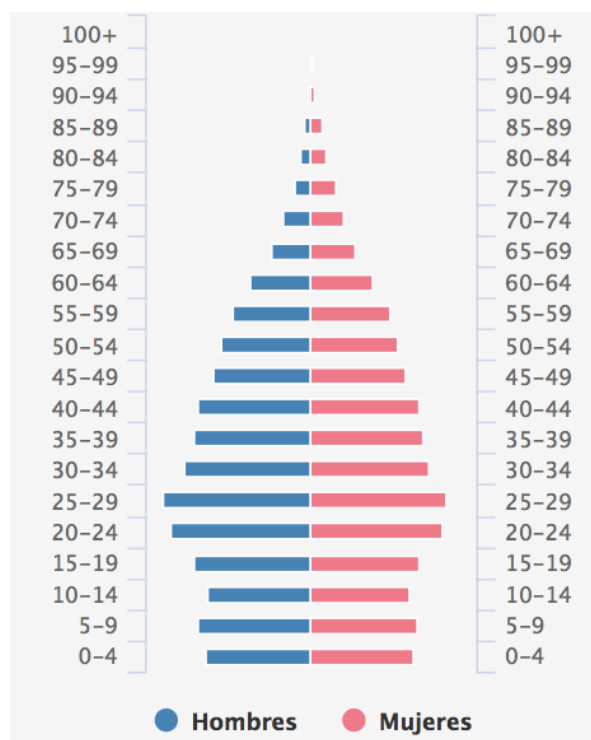


Figura 5.4-189 Pirámide poblacional de la comuna de Antofagasta extraída de los resultados del censo 2017

Se observa una mayor proporción de inmigrantes tanto en la comuna como en la región de Antofagasta al comparar con el país. Adicionalmente, el nivel de dependencia es menor.

Tabla 5.4-77 Otros indicadores poblacionales del año 2017. Comparación comuna, región y país:

Indicador	Comuna	Región	País
Edad promedio	33,3	33,4	35,8
Dependencia total	40,8	39,9	45,9
Dependencia 0 a 14 años	29,7	29,4	29,3
Dependencia 65 o más años	11,1	10,5	16,6
Pueblos originarios	8%	14%	13%
Inmigrantes	11%	11%	4%

Fuente: Censo 2017.

b) Clima

El clima de Antofagasta es de "desierto". No hay virtualmente ninguna lluvia durante el año. El clima se clasifica como BWh por el sistema Köppen-Geiger. En Antofagasta, la temperatura media anual es de 18.3 ° C. Hay alrededor 2 mm de precipitaciones anuales. El mes más seco es enero, con 0 mm de lluvia. La mayor parte de la precipitación cae en julio, promediando 1 mm. Enero es el mes más cálido del año. La temperatura en enero promedia 22.0 ° C. julio es el mes más frío, con temperaturas promediando 15.0 ° C.

Desde un punto de vista de la salud el rango de temperatura que Antofagasta muestra permite el desarrollo de la vida y salud de la población sin ser un factor de riesgo.

c) *Determinantes sociales estructurales*

Tabla 5.4-78 Caracterización Socioeconómica de Antofagasta:

Indicadores	2011			2013			2015			2017		
	C	R	P	C	R	P	C	R	P	C	R	P
Pobreza												
Personas en situación de pobreza por ingreso (%)	7,3	7,1	22,2	3,6	4,0	14,4	5,1	5,4	11,7	<i>Información no disponible</i>		
Vivienda												
Hacinamiento (%)		13,5	10,2		11,1	9,3	9,3	11,1	7,1	8,0	9,0	7,0
IM aceptable (%)		86,5	83,7		87,6	87	94,1	90,2	87,6	87	84	83
Viviendas con conexión a red pública de agua (%)		95,9	90,6		98,9	93,4	100	99,9	99,7	98	97	93
Hogar												
Personas por hogar		3,82	3,41							3,3	3,2	3,1
Educación												
Promedio Escolaridad en 15 años o más (años)		11,2	10,5		11,5	10,8		11,5	11			
Empleo												
Participación laboral (%)		56,6	55,9		58,9	57,3		57,5	58,3	59	61	58
Mujeres que trabajan (%)		36,9	40,5		44,2	45,6		44,1	47,4	40	37	42
Rural-urbano												
Población urbana (%)		98,5	87,2		98,4	87,3		98,4	87,3	97,9	94,1	87,8
Población rural (%)		1,5	12,8		1,6	12,7		1,6	12,7	2,1	5,9	12,2

Fuentes: Ministerio de Desarrollo Social, encuesta Casen 2011-2015; CENSO 2017.

* IM: índice de materialidad; C: comuna; R: región; P: País.

La situación de pobreza por ingreso es menor en Antofagasta en comparación con el país. Así mismo, existe un mayor porcentaje de población urbana y una leve mayor escolaridad.

d) *Otros factores determinantes de la salud*

- Calidad del Aire

En la región de Antofagasta, las principales fuentes emisoras de componentes atmosféricos están asociadas a los procesos de extracción minera, fundiciones de cobre y a la generación eléctrica. Respecto al tipo de emisiones, se destaca la estimación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) de la Tabla 5.4-79.

Tabla 5.4-79: Estimación de emisiones para la región de Antofagasta. Fuente: Estado del medio ambiente en Chile, 1999-2015, Universidad de Chile, Instituto de Asuntos Públicos.

	MP10 (ton/año)	MP2.5 (Ton/año)	CO ₂ (Ton/año)	SO ₂ (Ton/año)	NO _x (Ton/año)
Fuentes fijas	32724	18817	82849	283401	365256
Emisiones de vehículos en ruta	2225	371	6895	6	2284
Emisiones de quema de leña	5	5	47		0

En la comuna de Antofagasta, las principales fuentes emisoras corresponden a la Fundición Altonorte y la planta cementera Inacesa en el sector La Negra. Respecto al periodo 2013 – 2019 la estación INACESA ha estado sobre la norma anual, y diaria, salvo para esta última (norma diaria) el año 2017 estuvo bajo la norma (pero en latencia).

- Calidad del Suelo

Antofagasta ha sido históricamente una región con alto contenido de Arsénico, Plomo, Zinc y Cobre, principalmente debido al tipo de actividad económica de la región. La mayor concentración de Arsénico se dio entre los años 1958 y 1971, la cual, gracias a la implementación de distintas medidas de control, ha ido en constante disminución.

La exposición a arsénico se relaciona con un mayor riesgo de cáncer de vejiga y ha sido vinculado con cáncer de pulmón, entre otros tumores, siendo estos hallazgos concordantes con las mayores tasas de cáncer broncopulmonar y vesical del país en la región estudiada. Otros tumores frecuentes relacionados con arsénico son el de piel y riñón. En relación con el Plomo, sus altos niveles regionales se dieron principalmente en la década de los 90, en donde en 1998 se decretó Zona de Emergencia Sanitaria, con aumento importante de los niveles de plomo y consultas por intoxicaciones, especialmente en la población pediátrica. Esto relacionado principalmente a la forma de depósito del mineral en patios de acopio inadecuados en los sitios ferroviarios ubicados en el sector centro norte de la ciudad (Patio Bellavista, Patio Norte, Patio Sur, Patio Antofagasta). Las medidas gubernamentales fueron enfocadas a mejorar el control en las Rutas del Plomo. En general todas las medidas

relacionadas al control de contaminación de metales pesados van enfocados a mejorar las condiciones de transportes y almacenamiento, sitiados fuera del radio urbano¹⁶.

Por otro lado, considerando el estudio “Riesgo ambiental región de Antofagasta, componente b”, cuyos resultados permitieron determinar mayores concentraciones de Arsénico (As); Cromo (Cr); Molibdeno (Mo); Plomo (Pb); Cobre (Cu) y Hierro (Fe) en las comunas de Antofagasta, Tocopilla y Mejillones, relacionadas principalmente a rocas volcánicas. En tanto, se estableció que en las comunas de Calama y Sierra Gorda, la presencia de metales como As, Pb y Fe están relacionados a los procesos aluviales en la cuenca del Río Loa. En este estudio se reconocieron 11 sitios de preocupación mayor, entre ellos la playa Las Petroleras de la ciudad de Antofagasta.

- Calidad de Aguas Costeras y Fluviales

Las emisiones de líquidos contaminantes a aguas marinas y subterráneas continentales ocurren con mayor magnitud en las regiones metropolitana (RM) y la de Los Lagos, siendo la RM donde más ocurre este hecho. En cambio, en el norte esta emisión es mucho menor, siendo la región de Antofagasta (RA) la que más contribuye a esto. En relación con la emisión de aceites y grasas e hidrocarburos en el norte, es principalmente debido a las empresas sanitarias, en donde la RA ocupa el sexto lugar a nivel nacional, a través de la eliminación de desperdicios y aguas residuales. En relación con las emisiones de fósforo, principalmente de Empresas Sanitarias, las Regiones del norte contribuyen poco (eliminación de desperdicios y aguas residuales). En cuanto a la eliminación de sulfatos, molibdeno y metales, su rol en la RA es bajo a nivel nacional. Finalmente, en la emisión de contaminantes a aguas subterráneas, dentro de los cuales los más frecuentes son sulfatos (74%) y cloruros (13,5%), las regiones del norte juegan un rol menor a nivel nacional.¹⁷

En relación con los flujos de origen antrópico, a través de los datos del RETC, se identificó que la comuna de Antofagasta presenta ingresos de materiales metálicos a la bahía a través de RILES que no guardan relación a los procesos unitarios de las empresas que los emiten, por cuanto éstas se encuentran asociadas al rubro Eliminación de desperdicios y aguas residuales- saneamiento y actividades similares (plantas de tratamiento de aguas). Los metales y metaloides que más se emiten serían hierro, manganeso, boro, cobre y estaño, pero no tendrían significancia en términos de cantidad al compararlo con otras bahías, a excepción del boro que presenta un aporte constante durante los últimos años. No se aprecia un aporte de nutrientes ni de otros parámetros que afecten la física del medio marino, no ocurre así con el indicador de tensoactivos que muestra aportes mayores en la

¹⁶ SEREMI Antofagasta, 2015.

¹⁷ Registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC). Reporte 2005-2015. Ministerio del Medio Ambiente.

comuna de Antofagasta en comparación a las demás bahías colindantes, por lo que se debe tener especial atención a este agente, el cual también tiene su origen en los emisarios asociados a la industria de saneamiento de aguas.

ii. Indicadores de Salud

Los cánceres o tumores malignos son enfermedades producidas por influencias combinadas de factores genéticos, biológicos, como edad y sexo, exposiciones ambientales (como el asbesto, las aflatoxinas, la luz ultravioleta o el arsénico), infecciones crónicas (virus de la hepatitis B y C, virus del papiloma y *Helicobacter pylori*) y estilos de vida no saludables (dieta inadecuada, sedentarismo, consumo de tabaco y alcohol). Respecto de la edad, la mayor cantidad de tumores malignos comienzan a aparecer después de los 50 años, siendo mucho menos frecuentes los cánceres en niños y adultos jóvenes.

En este sentido, el envejecimiento de la población es un importante factor para comprender el aumento del cáncer, tanto en Chile como en el mundo. Desde la década de los 50, la expectativa de vida en Chile aumentó desde 55 años a 80,5 en 2015 (83,4 en mujeres y 77,4 en hombres), es decir, aumentó en 25,5 años, y se proyecta que llegará a los 87,8 años en el 2050. Como consecuencia de ello, la proporción de personas que llega a las edades en que aparece el cáncer es cada vez mayor. En 1950 el 7% de la población era mayor de 50 años, en 2015 llega al 15% y se estima que el 2050 será del 30%. Por lo mismo es que la tendencia a tener cáncer irá en aumento.

Asociado a esta transición demográfica, se ha producido un aumento progresivo de patologías no transmisibles, que actualmente representan el 82% de la carga de enfermedad en nuestro país (medida en AVISA); el cáncer es la primera causa de carga de enfermedad en Chile (14%) por encima de las enfermedades cardiovasculares (Minsal 2016).

Diversos estudios y encuestas muestran que en nuestro país existe un predominio de estilos de vida no saludables, caracterizados por una elevada prevalencia de consumo de tabaco, sedentarismo, sobrepeso y obesidad, y consumo perjudicial de alcohol. Todos factores que favorecen la aparición de tumores malignos.

Existen también fuentes ambientales relevantes, como es la presencia de arsénico, especialmente en el norte del país, la contaminación por material particulado en la Región Metropolitana y ciudades de la depresión central del sur del país y la exposición a radiación solar en todo el territorio, producto del adelgazamiento de la capa de ozono.

Los tumores malignos son la segunda causa de muerte en Chile después de las enfermedades cardiovasculares, con 24.592 fallecidos en 2013 (25,6% del total de muertes) y una tasa de 139 por 100.000 habitantes.

Los tumores más frecuentes, tanto desde el punto de vista de la mortalidad, como de la carga de enfermedad son: estómago, pulmón, vesícula y vías biliares, colon, mama, próstata y cérvico-uterino. Con excepción del cáncer de pulmón, Chile tiene mayor carga de enfermedad en todos los cánceres en comparación con la carga a nivel mundial. Especialmente notoria es la diferencia en cáncer de vesícula, donde Chile tiene una tasa 6,5 veces superior, próstata con una tasa 2,7 veces mayor y estómago con una tasa 1,7 veces mayor.

Localización del cáncer	Mortalidad ajustada Chile 2013 (tasa por 100.000 habitantes) ⁹	Avisa 2013 (tasa por 100.000 habitantes) ⁶	
		Chile	Mundo
Total	107,0	3.132,5	2.750,8
Estómago	14,0	427,6	249,9
Tráquea, bronquio y pulmón	13,0	345,9	484,8
Vesícula y vías biliares	7,5	244,3	37,7
Colon	7,1	244,0	220,4
Mama	6,3	223,0	185,1
Próstata	17,2	180,8	66,6
Cérvico uterino	5,2	135,5	96,5

Figura 5.4-190 Mortalidad ajustada por edad por cánceres en Chile y comparación de AVISA en Chile y el mundo, 2013. Fuente: Ministerio de Salud Estrategia Nacional del Cáncer 2016

Si bien el conjunto de la mortalidad por cáncer ha bajado, las disminuciones más relevantes son las observadas en cáncer de esófago, cérvico uterino, vesícula biliar (40%), esófago y estómago. Sin embargo, aumentaron los cánceres de endometrio, colon, recto e hígado, mientras que pulmón, y próstata permanecieron relativamente estables.

La mortalidad por tumores malignos aumenta con la edad, especialmente después de los 59 años, y es mayor en los hombres. El primer lugar como causa de muerte en los hombres lo ocupa el cáncer de estómago seguido por próstata; en las mujeres, es el cáncer de mama, seguido de estómago, tráquea, bronquio y pulmón, y vesícula. La mortalidad tiene variaciones a lo largo del territorio nacional, siendo las regiones más afectadas Antofagasta, Aisén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo, Magallanes y Los Ríos.

Según las estimaciones realizadas en base a la información provenientes de los registros poblacionales de cáncer y de la mortalidad entre 2003 y 2007, la tasa de incidencia anual de cáncer en Chile fue de 216,9 por 100 mil habitantes, lo que equivale a aproximadamente 35.000 casos nuevos al año. En los hombres, los cánceres más incidentes son próstata, estómago, piel no melanoma, pulmón, colon y vesícula biliar; en las mujeres los primeros lugares son mama, piel no melanoma, vesícula biliar, cérvico uterino, estómago y colon.

En relación con la presentación geográfica, se observa que en el norte del país las tasas más altas corresponden a cánceres del sistema respiratorio, piel y vejiga, mientras que en el sur predominan los cánceres del aparato digestivo (estómago, vesícula biliar y colon).

En Antofagasta se han realizado alrededor de medio centenar de estudios relacionados con el problema de exposición a arsénico y a metales en población general. Este tema ha sido de interés de la comunidad científica desde inicio de los años setenta del siglo pasado, hasta el presente. Además, varias instituciones también han elaborado mediciones e informes respecto a la situación de Antofagasta.

A continuación, se presenta un resumen de ellos, con los principales resultados. La Tabla N°1 (Anexos_digitales_V0\04_OE3\6_Riesgo_salud\Anexo_Riesgo_salud.docx) resume la literatura científica, y estudios publicados en revistas con comité editorial e indexadas. La Revisión sistemática de la información se realizó por medio del buscado PubMed y las palabras claves arsénico, exposición a metales, Antofagasta y Chile.

Estos estudios proporcionan evidencias sólidas respecto del efecto histórico de la exposición a arsénico en el agua de consumo de la población y sus efectos tanto a nivel de cánceres (factor de riesgo para cáncer de pulmón, vejiga y riñón y protector frente al cáncer de mamas) como de otras enfermedades principalmente pulmonares (bronquiectasias, tuberculosis).

Otros estudios, informan del efecto sobre la población infantil del acopio no controlado (sin barreras de contención efectivas) de concentrados de minerales en el puerto y sitio del Ferrocarril de Antofagasta, que dio origen a exposición por plomo por parte de escolares.

La Tabla N°2 (Anexos_digitales_V0\04_OE3\6_Riesgo_salud\Anexo_Riesgo_salud.docx) muestra estudios realizados por instituciones y son parte de la nominada “literatura gris”, pues no se encuentra en revistas científicas indexadas. En ellos profesionales del Colegio Médico y de Universidades de la Región han ilustrado el problema focalizándolo en los acopios de minerales y la situación de presencia de polvo aledaña al Puerto de Antofagasta. Destaca, por su robusta metodología, el Informe realizado por el Centro Nacional del Medio Ambiente, a petición del Gobierno Regional identificando y priorizando sitios con presencia de contaminantes en la Comuna de Antofagasta (7 sitios abandonados y 97 activos). Dicho estudio señala a la Playa Las Petroleras como un lugar en que se debe confeccionar una evaluación de riesgo por presentar niveles preocupantes de metales tales como cobre, cadmio, cromo, arsénico y plomo, por sobre niveles internacionales de referencia.

Finalmente, la Tabla N°3 del Anexo (Anexos_digitales_V0\04_OE3\6_Riesgo_salud\Anexo_Riesgo_salud.docx) resume estudios en marcha en la zona, relacionados con el tema de la contaminación de Antofagasta. Entre ellos destacan los de la Universidad Católica, que elaborará un estudio de prevalencia de la exposición a metales en niños y adultos y establecerá un perfil epidemiológico de ellos.

Los otros estudios, contemplan en el horizonte de dos años (2018 al 2020) entregar información que pudiera mantener “viva” la preocupación de la ciudadanía y los tomadores de decisión respecto del polvo sedimentables, la calidad del suelo y el impacto de las condiciones de contaminación en la Bahía respecto de la salud de la población. Pues estarán entregando información respecto de mediciones de contaminantes en agua de mar, sedimento, biota comestible, suelo y polvo.

a) Análisis de la mortalidad por tumores malignos

Los resultados que a continuación se presentan entregan información sobre la prevalencia de tumores malignos e incidencia, cada indicador aporta información sobre el problema.

El primer indicador, número de defunciones, como su nombre lo indica entrega información sobre la cantidad (número absoluto) de fallecimientos. Es un indicador que sirve para cuantificar el número de enfermos en la población descrita, en este caso en toda la Región. Es muy importante pues entrega el orden de magnitud del problema.

Es evidente que una población más grande, por ejemplo, de 250.000 habitantes, tendrá más fallecimientos que una población más pequeña, por ejemplo, de 10.000. Por lo mismo, los números absolutos no sirven para conocer si una población tiene mayor o menor problema.

El segundo indicador, la tasa bruta de mortalidad, es un indicador relativo, relacionado con la magnitud de la población expuesta al riesgo de morir. Entrega más información que el anterior. A mayor tasa bruta de mortalidad, mayor riesgo de morir.

Una población que tiene mayor proporción de viejos también tendrá mayor cantidad de muertos por cáncer (y otras patologías). Por lo mismo para comparar las tasas de mortalidad entre distintas regiones, se hace primero un ajuste de tasas, de modo de comparar sobre la base de una sola proporción de mayores de edad.

El tercer indicador evaluado es la mortalidad ajustada por edad, y se comparan sus resultados con el país, y todas las regiones del país.

Finalmente se llevó a cabo una razón de mortalidades ajustadas (riesgo relativo o RR), este indicador permite ver si existe más o menos riesgo que una tasa de referencia, y en este caso se usó la tasa nacional. Con esto podemos observar si la región presenta mayor (índice >1) o menor (índice <1) riesgo de presentar cáncer que el país

Número de defunciones por tumores malignos: La tendencia del total de defunciones en ambos sexos se ha mantenido, con un leve incremento asociado al aumento de la población con 600 a 849 defunciones por año debido a todo tipo de cánceres en la región de Antofagasta. El predominio de defunciones se da en los hombres (Figura 5.4-192). Se puede observar que casi dos tercios de las defunciones por cánceres ocurren en hombres.

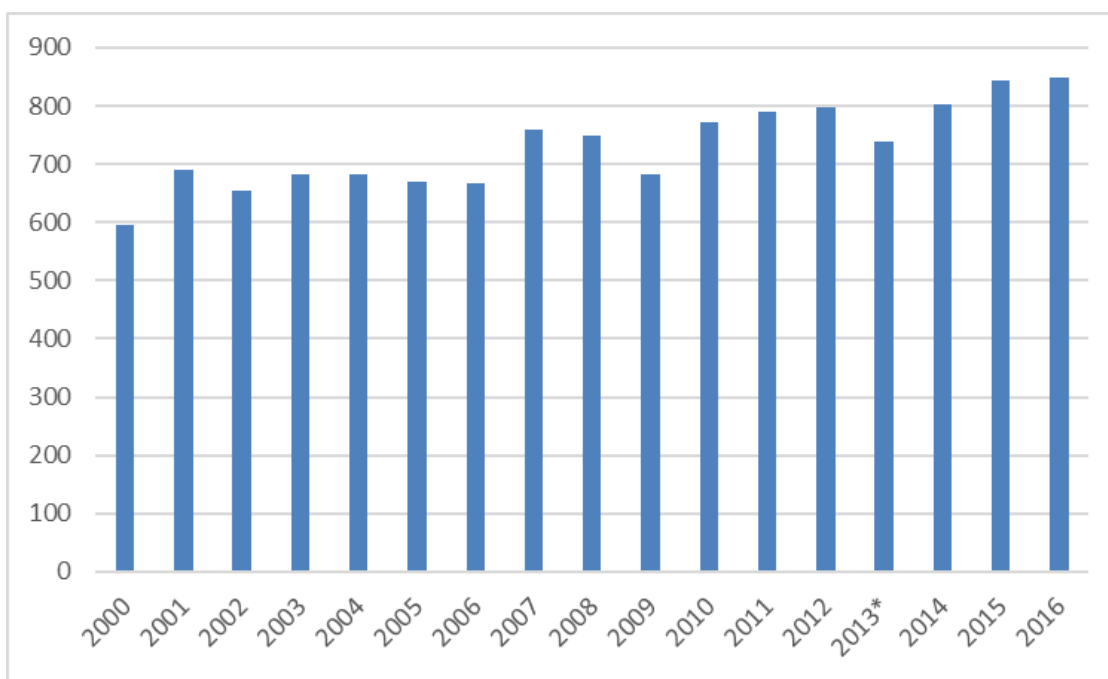


Figura 5.4-191 Número de defunciones por tumores malignos (C00-C97) por residencia de región de Antofagasta, 2000 al 2016 (número absoluto). Fuente: CIAMA Ltda, a partir de estadísticas de Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud

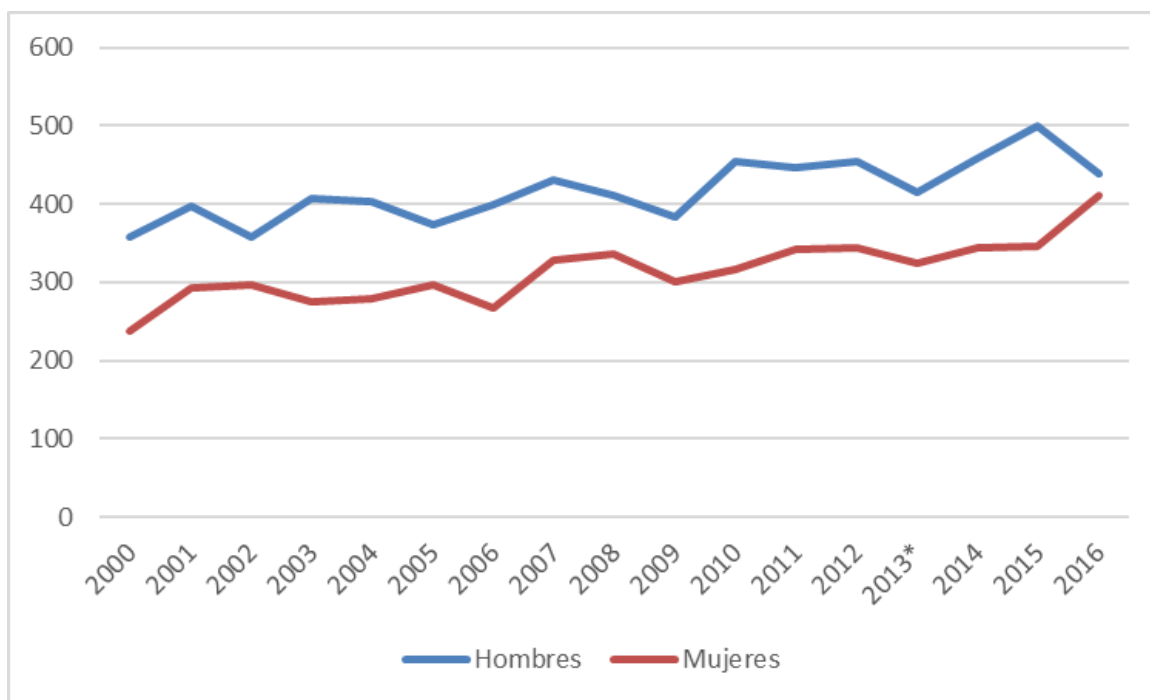


Figura 5.4-192 Tendencia defunciones Antofagasta por sexo, 200-2016. Fuente: CIAMA Ltda a partir de estadísticas de Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud

No todos los tipos de cánceres están asociados con la exposición a arsénico. La literatura refiere que los cánceres de pulmón, piel y vejiga urinaria si lo están. Por lo mismo observaremos la tendencia de dichos cánceres en la población de la región de Antofagasta.

Se puede ver que los cánceres de pulmón son más frecuentes que los de vejiga urinaria y que los de piel. Todos ellos son más frecuentes en los hombres y presentan una tendencia estacionaria. Las defunciones por cánceres de piel no melanoma presentaron alzas puntuales durante los años 2010 y 2013.

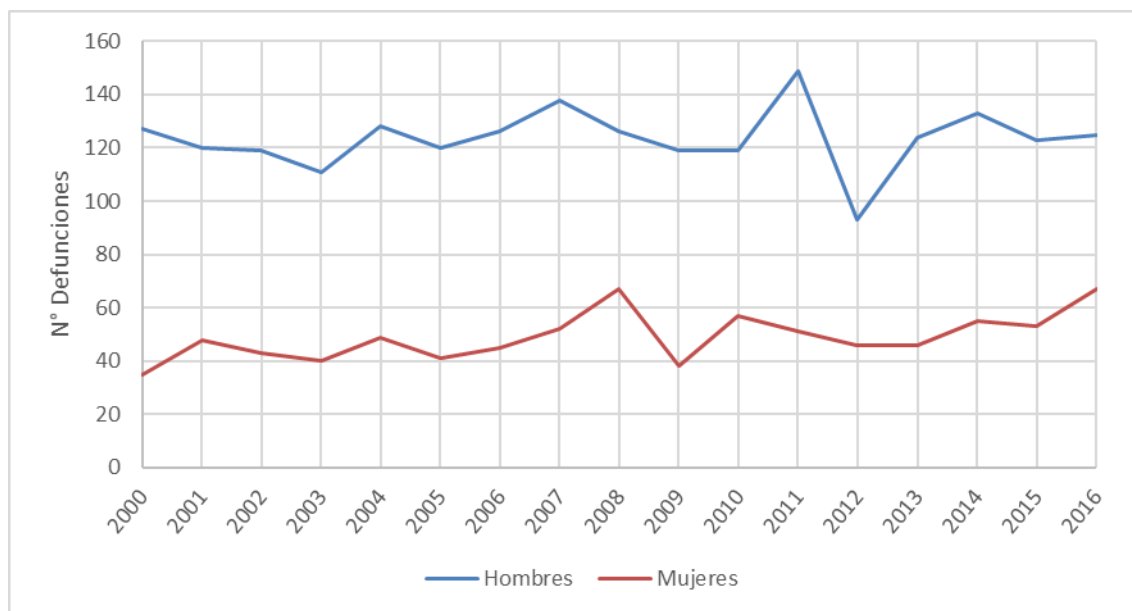


Figura 5.4-193 Tendencia defunciones por tumores de Bronquio y pulmón (C34) por residencia de Región de Antofagasta, 2000 al 2016 (número absoluto). Fuente: CIAMA Ltda, a partir de estadísticas de Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud

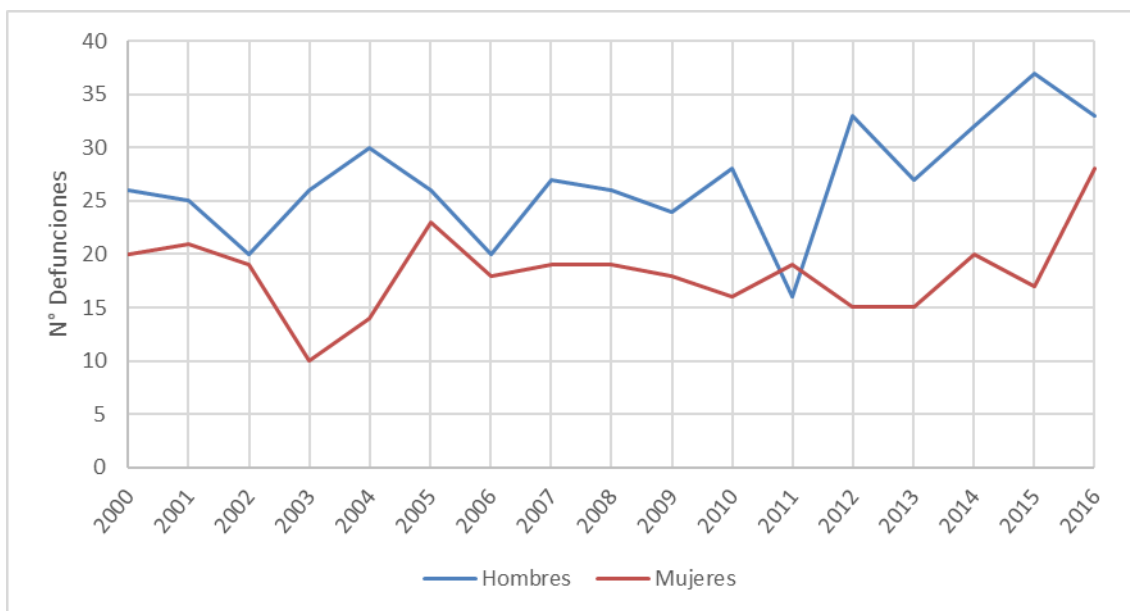


Figura 5.4-194 Tendencia defunciones por tumores de Vejiga Urinaria (C67) por residencia de región de Antofagasta, 2000 al 2016 (número absoluto). Fuente: CIAMA Ltda a partir de estadísticas de Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud

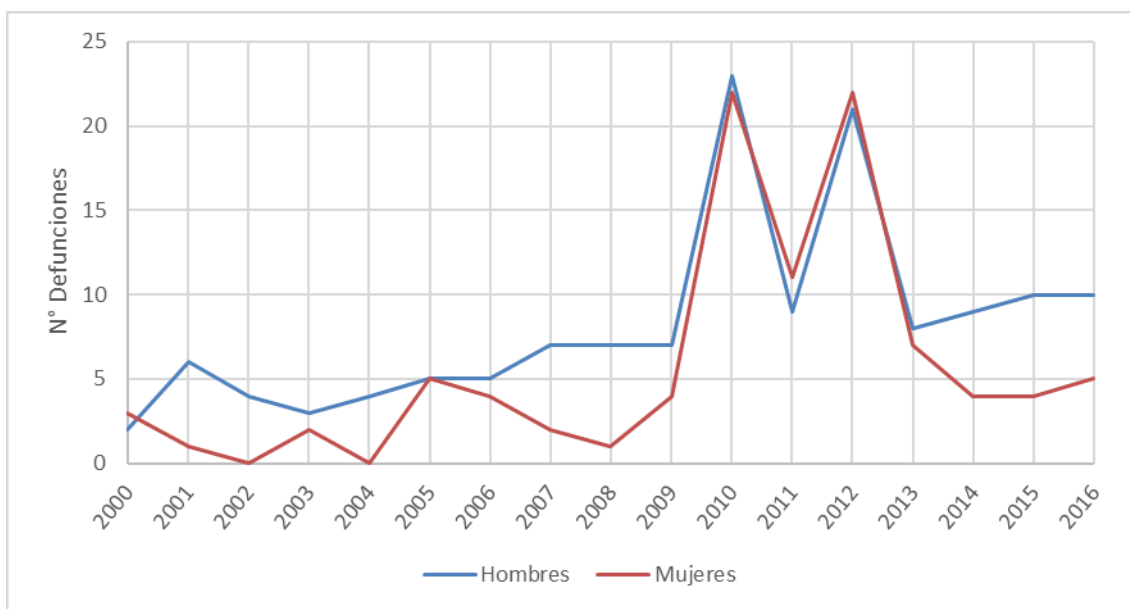


Figura 5.4-195 Tendencia defunciones por tumores de Piel no Melanoma (C44) por residencia de región de Antofagasta, 2000 al 2016 (número absoluto). Fuente: elaboración propia a partir de estadísticas de Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud

- Tasa bruta de mortalidad por tumores malignos observada o bruta

Las tasas de mortalidad indican el riesgo poblacional de morir por la enfermedad causante de la muerte. La Figura 5.4-196 muestra la tendencia de la mortalidad por cánceres. La línea azul, indica la tendencia de todo el país, y la línea roja, la de la Región de Antofagasta. Se puede observar que hasta el año 2004, la tasa bruta de mortalidad de Antofagasta era mayor que la del país. A partir del año 2010, la tasa se encuentra por debajo de la tendencia nacional. Ambas tasas presentan una tendencia secular al alza.

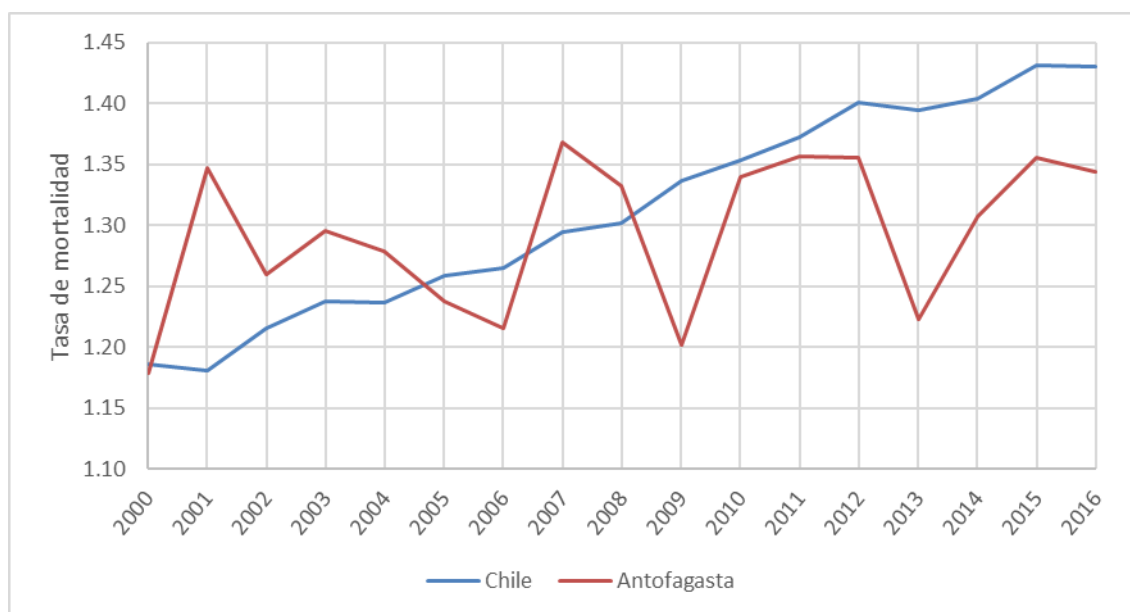


Figura 5.4-196 Tasa General de Mortalidad Bruta por cáncer, Chile y Región de Antofagasta, 2000 a 2016

La situación es distinta si analizamos la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón y bronquios, vejiga urinaria y piel.

Se puede ver en los siguientes gráficos (Figura 5.4-197, Figura 5.4-198 y Figura 5.4-199) que la región de Antofagasta presenta tasas claramente mayores que las del país, para todo el período analizado.

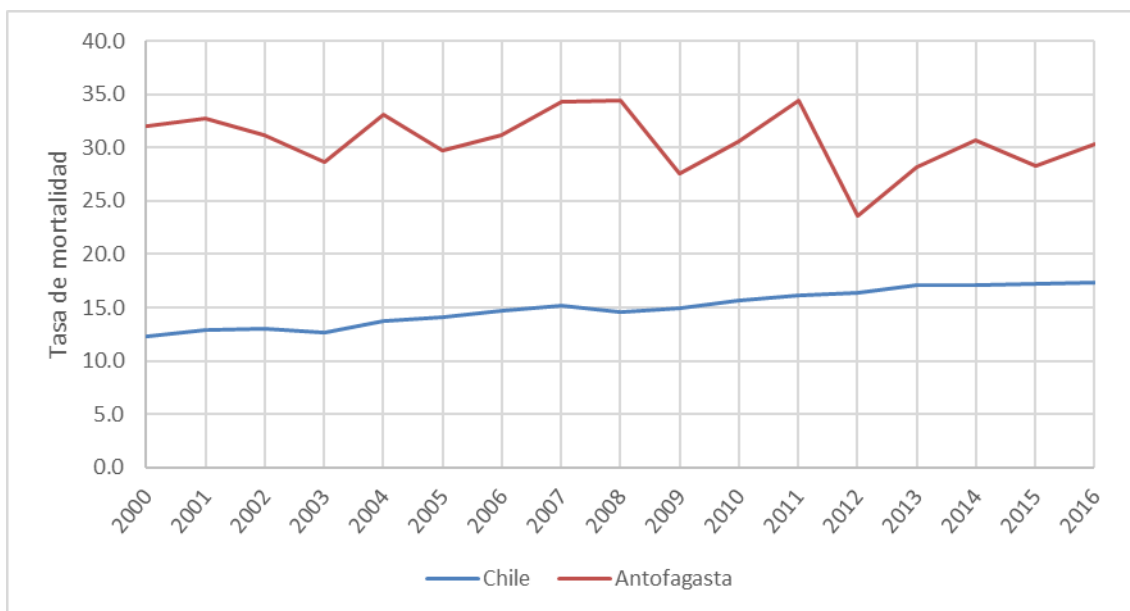


Figura 5.4-197 Tasa de Mortalidad Bruta por cáncer de pulmón y bronquios, Chile Y Región de Antofagasta, 2000 a 2016

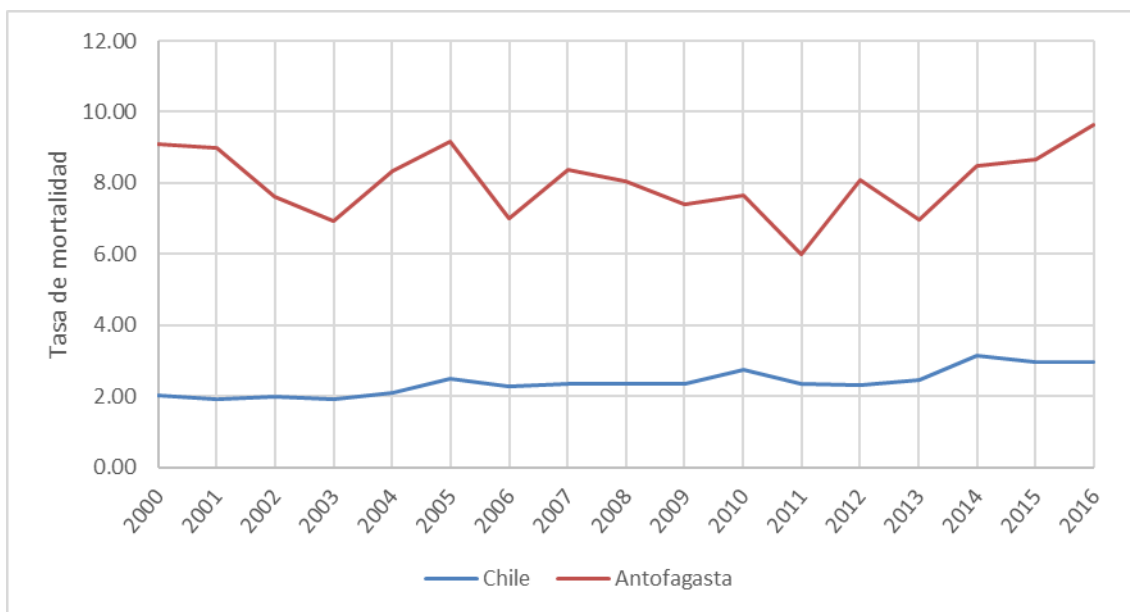


Figura 5.4-198 Tasa de Mortalidad Bruta por cáncer de vejiga urinaria, Chile Y Región de Antofagasta, 2000 a 2016

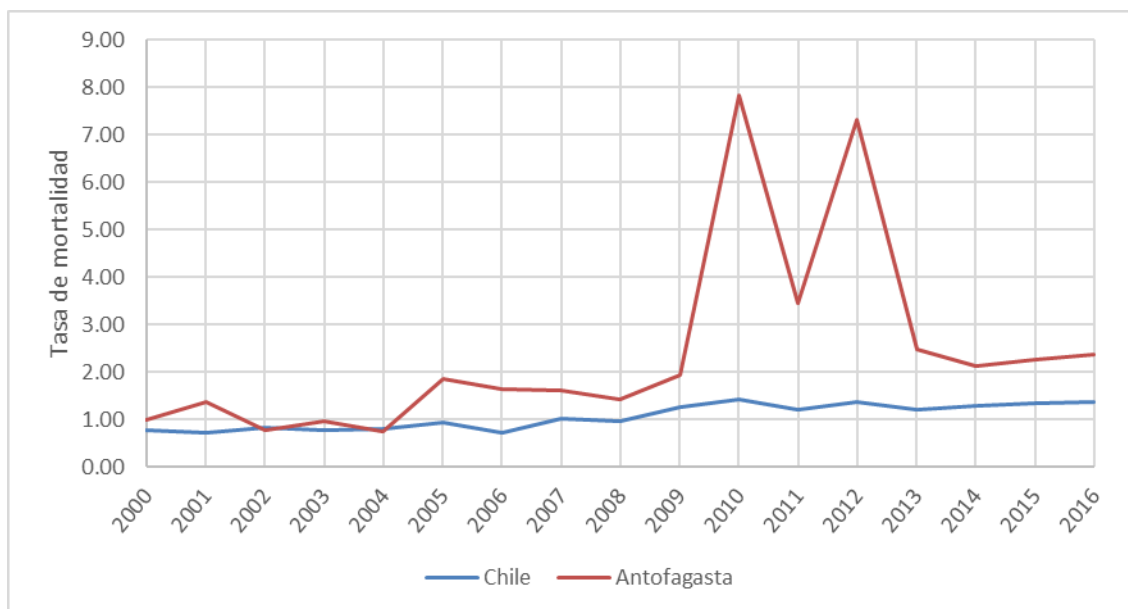


Figura 5.4-199 Tasa de Mortalidad Bruta por cáncer de piel no melanoma, Chile Y Región de Antofagasta, 2000 a 2016

- Tasa de mortalidad ajustada

La Tasa de Mortalidad Ajustada por la distribución de edad de la población, permite comparar realmente los riesgos, pues se deja en un común denominador la proporción de población de mayor edad, que es la que aporta mayor número de defunciones.

Por lo anterior, observando el comportamiento del riesgo en los habitantes de Antofagasta versus todo el país se puede afirmar que Antofagasta presenta mayor riesgo de morir por tumores malignos que el país. También se puede afirmar que el exceso de riesgo ha ido disminuyendo con el tiempo.

Respecto de los cánceres asociados al arsénico (Figura 5.4-201, Figura 5.4-202 y Figura 5.4-203) se puede observar que el diferencial de riesgo es mucho mayor. Es por esta razón que desde un punto de vista epidemiológico y poblacional se habla de que la Región de Antofagasta presenta mayor riesgo que el resto del país debido a cánceres asociados al arsénico. En el ítem próximo se compararán los distintos riesgos. Evaluando el comportamiento del Riesgo Relativo (RR), tomando como base de comparación el riesgo nacional.

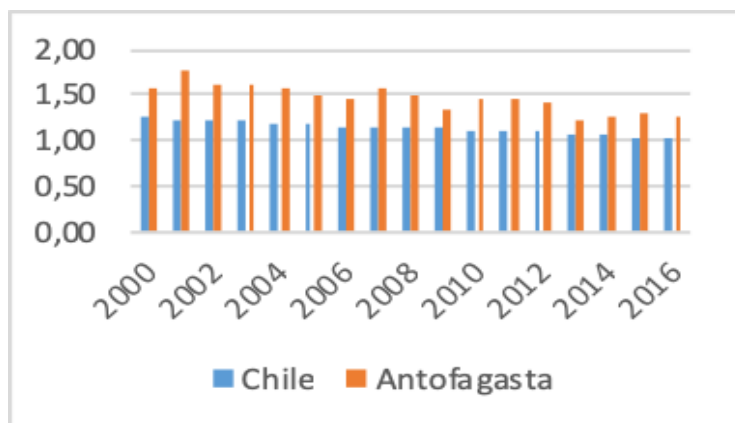


Figura 5.4-200 Tasa General de Mortalidad Ajustada por cáncer, Chile y Región de Antofagasta, 2000 a 2016

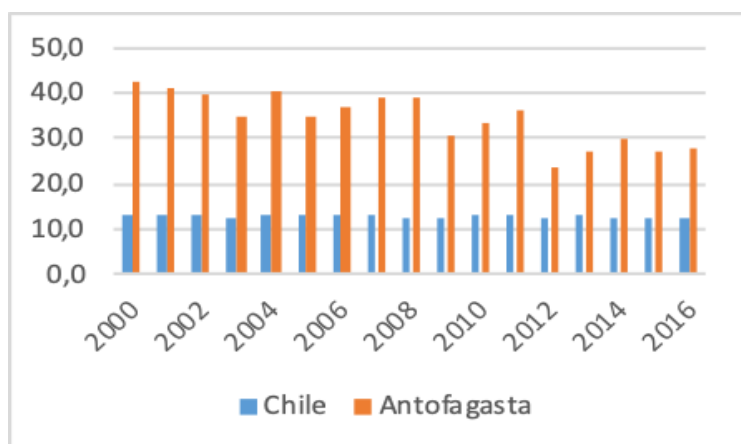


Figura 5.4-201 Tasa de Mortalidad General Ajustada por Cáncer de Pulmón y Bronquios, Chile y Región de Antofagasta, 2000-2016

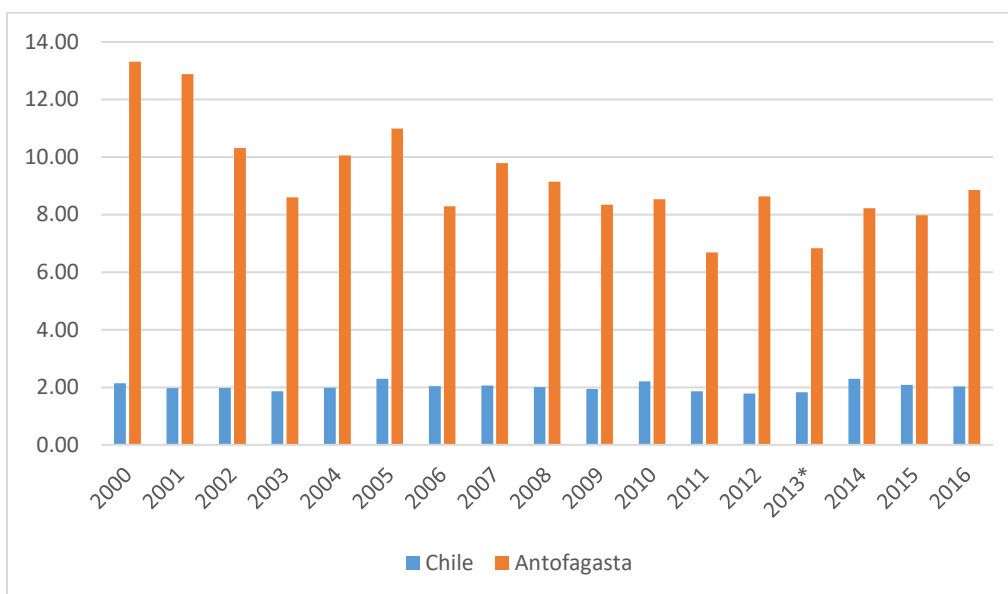


Figura 5.4-202 Tasa de Mortalidad General Ajustada por Cáncer de Vejiga Urinaria, Chile y Región de Antofagasta, 2000-2016

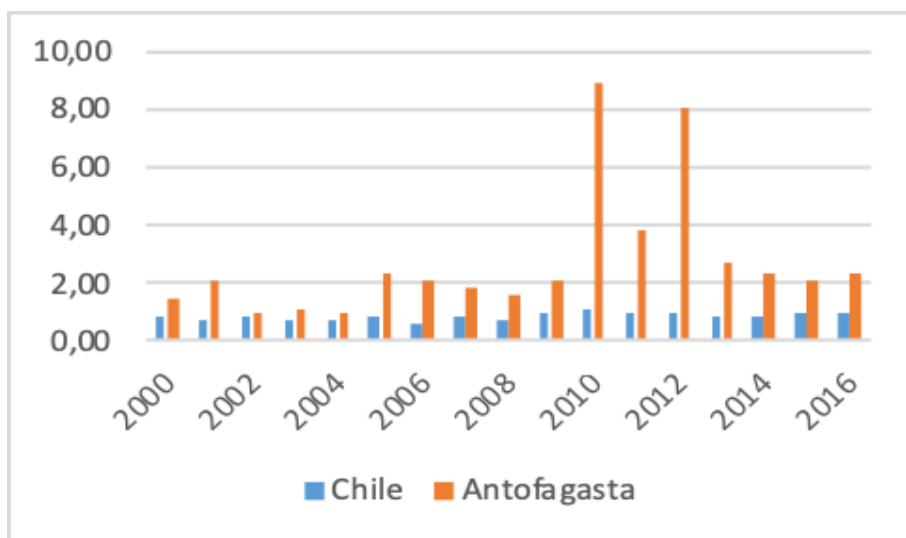


Figura 5.4-203 Tasa de Mortalidad General Ajustada por Cáncer de piel no melanoma, Chile y Región de Antofagasta, 2000-2016

- Riesgo de morir por tumores malignos

El riesgo, corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un daño en la salud poblacional. En este caso estamos analizando la probabilidad de morir a causa de un tumor maligno en las regiones de Chile.

La Figura 5.4-204 muestra el riesgo de las regiones del norte del país. Podemos observar que Antofagasta muestra un exceso de riesgo, y las otras regiones están alrededor del 1, es decir el nivel de riesgo del país.

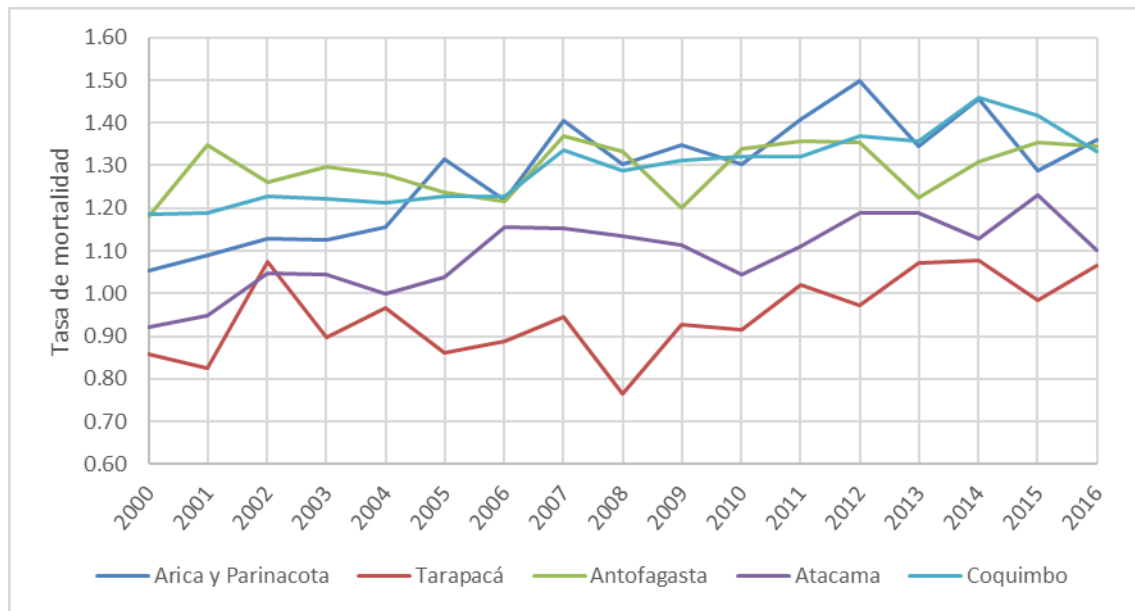


Figura 5.4-204 Riesgo de Morir por Cáncer, zona norte

Revisando el riesgo en otras zonas de Chile, Figura 5.4-205 y Figura 5.4-206, en las zonas central y sur respectivamente, observamos que la zona central se comporta como el país, también alrededor del 1 y la zona sur las regiones de Biobío y de Magallanes muestran también exceso de riesgo.

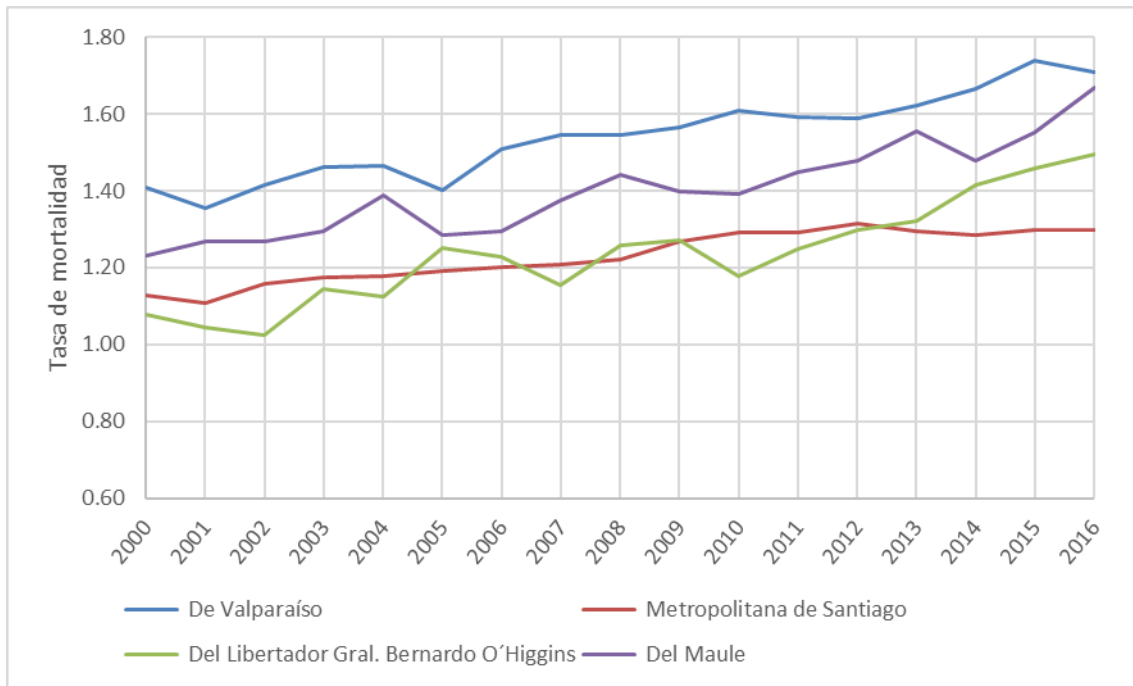


Figura 5.4-205 Riesgo de morir por cáncer, zona central

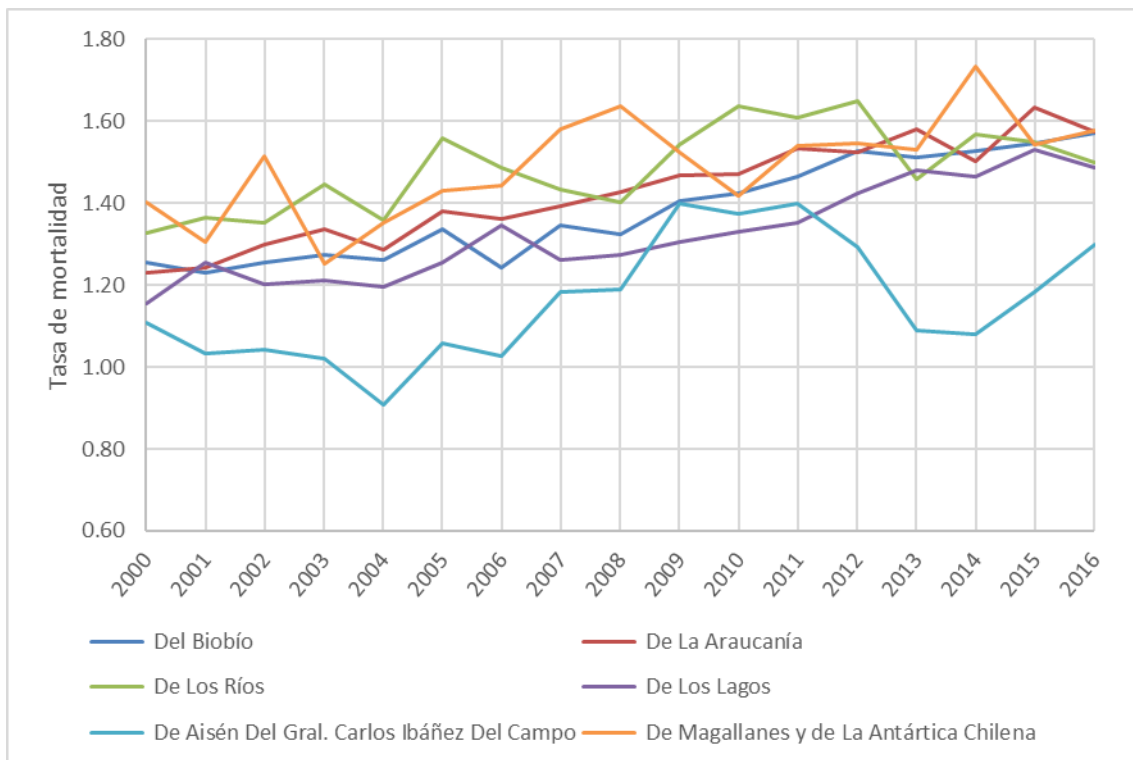


Figura 5.4-206 Riesgo de morir por cáncer zona sur

En anexo digital 04_OE3/6_Riesgo_salud se muestran los valores de riesgo para cánceres asociados a arsénico. Se puede observar que la región de Antofagasta presenta el año 2016, 2,3 veces más riesgo que el país de morir por cáncer de pulmón, tráquea y bronquios; 4,3 veces más de morir por cáncer de vejiga y 2,5 veces más riesgo de morir por cáncer de piel no melanoma. Todos estos cánceres presentan los mayores riesgos en Antofagasta.

Respecto de los otros tipos de cánceres, más frecuentes en el país como son los de próstata, estómago, vesícula y mama, el riesgo en Antofagasta es menor, que en otras regiones del país.

b) Egresos Hospitalarios

El estudio de las hospitalizaciones permite tener una idea respecto de las patologías de mayor gravedad, que requieren hospitalización para 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, 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.

Tabla 5.4-80: Procedimientos por los cuales se hospitalizó individuos en la región de Antofagasta.

	2011	2012	2013	2014	2015
Total	66.599	61.872	59.038	58.977	60.060
Ciertas enfermedades infecciosas y parasitarias	1.347	1.261	1.105	1.248	1.374
Tumores [Neoplasias]	4.104	3.466	3.265	3.359	3.598
Enfermedades de la sangre y de los órganos hematopoyéticos, y trastornos que afectan el mecanismo de la inmunidad	334	322	297	409	457
Enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas	1.760	1.772	1.875	1.791	1.731
Trastornos mentales y del comportamiento	1.255	978	858	850	966
Enfermedades del sistema nervioso central	832	638	590	631	748
Enfermedades del ojo y sus anexos	469	388	496	251	193
Enfermedades del oído y de la apófisis mastoides	181	159	171	133	153
Enfermedades del sistema circulatorio	4.686	4.032	3.804	4.075	3.915
Enfermedades del sistema respiratorio	5.595	5.091	5.221	4.978	5.042
Enfermedades del sistema digestivo	8.656	8.172	7.306	7.486	7.995
Enfermedades de la piel y del tejido subcutáneo	987	1.039	931	940	926
Enfermedades del sistema osteomuscular y del tejido conjuntivo	3.025	2.933	3.174	3.045	3.049
Enfermedades del sistema genitourinario	6.183	5.834	5.399	5.499	5.658
Embarazo, parto y puerperio	13.657	12.775	12.930	12.621	12.665
Ciertas afecciones originadas en el período perinatal	1.844	1.823	1.750	1.588	1.483
Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	881	743	711	794	867
Síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte	2.033	1.918	1.741	1.724	1.792
Traumatismos, envenenamientos y algunas otras consecuencias de causas externas	5.961	5.777	5.213	5.422	5.295

Fuente: Departamento de estadísticas e información de salud (www.deis.cl).

En la tabla anterior, es posible apreciar los principales procedimientos por los cuales se hospitalizó en la región. Es llamativo ver el descenso sostenido que tuvieron las

hospitalizaciones hasta el 2014, con un leve repunte en el 2015. Similar comportamiento ocurre en algunas de las patologías como enfermedades infecciosas, digestivas y genitourinarias. Es importante también señalar el descenso sostenido que sostuvieron el parto y puerperio, similar a lo ocurrido en total país en estas materias.

c) Atenciones de Urgencia

La cantidad y causas de consultas en los servicios de urgencia son muy variadas y permiten identificar problemas de salud que no provocan muertes ni hospitalizaciones, pero si demandan por servicios de atención médica. En particular entregan información sobre las enfermedades respiratorias y cuadros de instalación aguda.

Chile cuenta con un registro de las consultas del Sistema Público de atención de salud que entrega información diaria del número de consultas por comuna, servicio de salud o región. Respecto de las causas de consultas predominan las causas externas (Traumatismos y Envenenamientos) y la siguen las causas respiratorias.

Dentro de las enfermedades respiratorias, las más importantes las Infecciones Respiratorias Altas (IRA alta) y Bronquitis. Las crisis obstructivas tienen menor frecuencia.

Tabla 5.4-81: Atenciones de urgencia con causa de afecciones al sistema respiratorio en región de Antofagasta.

ATENCIONES URGENCIA	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
IRA Alta	11.279	18.753	18.591	17.799	26.387	32.337	26.473
Influenza	95	111	62	34	54	77	305
Neumonía	1.390	1.679	1.321	1.112	1.781	1.604	1.404
Bronquitis/bronquiolitis aguda	3.302	3.764	4.354	3.571	4.673	4.894	5.328
Crisis obstructiva bronquial	3.382	2.639	4.421	3.086	7.855	3.285	3.513
Otra causa respiratoria	6.420	3.960	2.526	2.838	4.433	6.149	6.691
TOTAL CAUSAS SISTEMA RESPIRATORIO	25.868	30.906	31.275	28.440	45.183	48.346	43.714

Tabla 5.4-82: Atenciones de urgencia con causa de afecciones al sistema circulatorio en región de Antofagasta.

ATENCIONES URGENCIA	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Infarto agudo miocardio	69	116	51	86	85	74	108
Accidente vascular encefálico	125	115	104	133	221	145	99
Crisis hipertensiva	1.182	1.674	1.835	2.353	2.270	2.944	2.768
Arritmia grave	576	519	370	256	290	44	31
Otras causas circulatorias	962	829	881	1.871	2.327	2.552	2.527
TOTAL CAUSAS SISTEMA CIRCULATORIO	2.914	3.253	3.241	4.699	5.193	5.759	5.533

Tabla 5.4-83: Atenciones de urgencia con causa de traumatismos y envenenamientos en región de Antofagasta.

ATENCIONES URGENCIA	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Accidentes del tránsito	2.621	3.311	3.320	3.874	4.166	4.446	3.942
Otras causas externas	12.245	11.185	10.650	9.615	14.386	23.505	22.965
DIARREA AGUDA	8.245	11.369	13.753	13.987	12.134	13.640	14.271
TOTAL TRAUMATISMOS Y ENVENENAMIENTO	14.866	14.496	13.970	13.489	18.552	27.951	26.907

Tabla 5.4-84: Total de atenciones de urgencia con causa de afecciones al sistema respiratorio, circulatorio y por traumatismos y envenenamientos en región de Antofagasta.

ATENCIONES URGENCIA	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TOTAL	184.218	202.123	213.626	209.086	245.051	278.595	278.122

Tabla 5.4-85: Hospitalizaciones por distintas causales en región de Antofagasta.

Hospitalizaciones	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
S. Respiratorio	1.687	1.705	1.296	956	1.229	1.237	1.314
S. Circulatorio	642	664	474	428	450	492	458
Traumatismos y Envenenamientos	419	447	242	268	258	341	272
Otras Causas	15.836	15.446	13.364	12.345	12.816	14552	11.782
Cirugías de Urgencia	1562	1.812	1.634	1.625	1.464	1.100	1.271

Fuente: Departamento de estadísticas e información de salud (www.deis.cl).

Se observa que existe un aumento prácticamente al doble en el período comprendido desde el año 2011 hasta el 2017 de todas las atenciones de urgencia y sus causas, esto probablemente atribuible a la dinámica poblacional de la región de Antofagasta, con una población que va en aumento, lo cual pudiese explicarse por la inmigración importante que ha tenido la región en este período, fundamentalmente de Colombia y en menor medida Ecuador y Venezuela. La causa de atención más frecuente es por enfermedades del sistema respiratorio (las infecciones respiratorias altas predominan de forma dramática). Le siguen en orden decreciente: traumatismos y envenenamientos, enfermedades del sistema digestivo (diarrea aguda), y finalmente enfermedades del sistema circulatorio. En forma particular, las 3 afecciones más frecuentemente atendidas en urgencia son: IRA alta, traumatismos y envenenamiento, y diarrea aguda. En cuanto a las hospitalizaciones y las cirugías de urgencia, la tendencia global es a la disminución, a pesar de ser una disminución poco marcada, salvo el caso de las hospitalizaciones por traumatismo y envenenamiento que han caído casi al 50%.

iii. Búsqueda sistemática de información

a) *Peligro asociado a contaminantes estudiados*

La Tabla 5.4-86 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 disponible¹⁸.

¹⁸ Organización Mundial de la Salud http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chap12.pdf?ua=1

Tabla 5.4-86: Compuestos estudiados en bahía San Jorge 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.

b) Revisión sistemática de literatura científica

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 5.4-87 resume los hallazgos.

En general se estudió la presencia de metales y se estimó el riesgo para la población.

Tabla 5.4-87: Publicaciones científicas sobre los efectos de metales e hidrocarburos en agua de mar.

Autor	Efecto estudiado	Resultados
Yang-Guang Gu ¹⁹	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 ²⁰	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.

¹⁹ 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

²⁰ 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 ²¹	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 Ig L \ alpha 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 ²²	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 ²³	Evaluación de Riesgo	Propone un bioensayo para evaluar la eco toxicidad de los hidrocarburos provenientes de los derrames de petróleo en el mar.

²¹Salgueiro-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

²² Helena A.Kehrig, Selenium and mercury in widely consumed seafood from South Atlantic Ocean. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 93(2013)156–162

²³ 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 ²⁴	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 ²⁵ ,	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

²⁴German 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

²⁵SeaYang-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
		<p>presentar riesgos para la salud. Sin embargo, los cálculos de los riesgos 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.</p>
Alina Mohamad ²⁶	Efecto neuroconductual	<p>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</p>

²⁶ 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 ²⁷ .	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.

²⁷Gu 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 ²⁸	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 cancerígenos para la salud humana.</p>

²⁸ 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 ²⁹ 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 ³⁰	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

²⁹ 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

³⁰ 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
		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 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 ³¹	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 ³² .	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

³¹Ke 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.

³² 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>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 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>

Elaboración propia

c) 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 5.4-88)

Tabla 5.4-88: Niveles de referencia de sustancias de interés estudiadas en bahía San Jorge, Antofagasta.

Compuestos	Duración de la exposición	MRL/Rfd	Fuente
Aluminio	Crónica	1 mg/Kg/día	ATSDR
Arsénico	Crónica	0,0003 mg/Kg/día	ATSDR
Cadmio	Crónica	0,0001 mg/Kg/día	ATSDR
Cobre	Intermedia	0,01 mg/Kg/día	ATSDR
Cromo	Crónica	0,0009 mg/Kg/día	ATSDR
Hierro	Crónica	0,8 mg/Kg/día	JECFA/WHO
Litio	Crónica	0,002mg/Kg/día	EPA,2008
Magnesio	Crónica	6mg/Kg/día	Linus Pauling Institute
Manganeso	Crónica	0,03mg/Kg/día	Linus Pauling Institute
Mercurio	Crónica	0,006 mg/l	WHO/WQG
Molibdeno	Intermedia	0,008 mg/Kg/día	ATSDR
Níquel	Crónica	0,007 mg/l	WHO/WQG
Plomo	Crónica	0,01 mg/l	WHO/WQG
Selenio	Crónica	0,005 mg/Kg/día	ATSDR
Estroncio	Intermedia	2 mg/Kg/día	ATSDR
Vanadio	Intermedia	0,01 mg/Kg/día	ATSDR
Zinc	Crónica	0,3 mg/Kg/día	ATSDR
Hidrocarburos (Benceno)	Crónica	0,0005 mg/Kg/día	ATSDR

Fuente: CIAMA Ltda.

5.4.2.3.2 Identificación del Peligro

La Tabla 5.4-89 resume información general sobre 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 definido por la última versión disponible³³.

El **arsénico, cadmio y cromo hexavalente** son sustancias que provocan efectos sistémicos y son cancerígenos clasificados como tales por todas las instituciones que elaboran listado sobre la toxicidad de compuestos (EPA-OMS-IARC-ATSDR).

El **arsénico** está catalogado como promotor del cáncer, es decir que, asociado a otros cancerígenos, como suele ocurrir con el tabaco, aumenta en forma sinérgica el riesgo de tener cáncer de pulmón, vejiga y vías urinarias, entre otros.

El **cadmio y cromo hexavalente** son cancerígenos de la vía respiratoria (produciendo cáncer pulmonar y del septum paranasal). No se ha descrito efecto carcinogénico por vía digestiva, como sí ocurre con el arsénico.

El **chromo trivalente** no es un compuesto que produzca efectos adversos por su presencia. Todo lo contrario, al ser un elemento esencial debe consumirse en una cantidad establecida, como ingesta diaria (50-200 µg/día), para el buen funcionamiento del organismo. Su deficiencia genera un deterioro del metabolismo de la glucosa por la mala eficiencia de la insulina³⁴.

El **cloro libre residual**, es un indicador de emisiones provenientes de sanitarias. El cloro es un elemento corrosivo por lo que su ingesta e inhalación, puede provocar daño en los epitelios digestivo y respiratorio. También provoca dermatitis aguda en la piel expuesta al elemento.

Los Coliformes fecales son indicadores de presencia microbiana y parasitaria, provienen de las emisiones del emisario sanitario. La exposición a estas bacterias puede provocar todo tipo de infecciones, dependiendo de la vía. En forma dérmica, pústulas, impétigos etc. A nivel digestivo, infecciones y diarrea, la aspiración de agua contaminada puede provocar neumonías y /o bronconeumonías.

Sobre los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs):

Los HAPs pueden entrar al cuerpo a través de los pulmones, al respirar aire que los contiene (generalmente se encuentran adheridos a las partículas o al polvo). El humo del cigarrillo, de la madera, del carbón y el humo proveniente de muchos lugares industriales pueden contener HAPs. Sin embargo, no se sabe qué tan rápida o cuanto absorben los pulmones. Tomar agua e ingerir alimentos, tierra o partículas de polvo que

³³ Organización Mundial de la Salud http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chap12.pdf?ua=1

³⁴ Ana Alvarado-Gámez, Rigoberto Blanco-Sáenz y Erick Mora-Morales. El cromo como elemento esencial en los humanos. Rev. costarric. cienc. méd vol.23 n.1-2 San José Jun. 2002

contienen HAPs son otras de las rutas por las cuales estas sustancias químicas entran al cuerpo, pero generalmente la absorción es lenta por esta vía.

En condiciones normales de exposición ambiental, los HAPs podrían llegar a entrar a través de la piel si se entra en contacto con partículas de suelo/arena/agua que contengan altos niveles de HAPs (esto podría presentarse cerca de sitios con presencia de desechos peligrosos) o si entra en contacto con aceite de cárter u otros productos (como creosota) que contienen HAPs. La rapidez con la cual entran los HAPs al cuerpo mediante el consumo, la bebida o el contacto con la piel puede ser influenciada por la presencia de otros compuestos. Los HAPs pueden entrar a todos los tejidos del cuerpo que contienen grasa y tienden a almacenarse principalmente en los riñones, el hígado y la grasa. En el bazo, las glándulas suprarrenales y los ovarios se acumulan cantidades más pequeñas.

Los tejidos del cuerpo transforman los HAPs en muchas sustancias diferentes. Algunas de estas sustancias son más dañinas y algunas de ellas menos dañinas que los HAPs originales. Los resultados de estudios realizados en animales demuestran que los HAPs no tienden a acumularse en el cuerpo durante largo tiempo. La mayor parte de los HAPs que entran al cuerpo salen del mismo en unos cuantos días, principalmente en las heces y en la orina.

En algunas circunstancias, los HAPs pueden ser dañinos para la salud. Varios HAPs, entre los que se incluyen el benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenzo[a,h]antraceno e indeno[1,2,3-c,d]pireno, han causado tumores en los animales de laboratorio que han respirado estas sustancias del aire, que las han consumido o que han entrado en contacto con las mismas a través de la piel durante largos períodos de tiempo.

Los estudios realizados en los seres humanos demuestran que las personas expuestas a través de la respiración o el contacto de la piel durante largos períodos de tiempo con mezclas que contienen HAPs y otros compuestos también pueden contraer cáncer. En general esta condición de exposición ocurre en el ámbito laboral, pues los trabajadores se exponen por varias vías a concentraciones más elevadas de lo que ocurre en la población general.

Las ratonas que se alimentaron con altos niveles de benzo[a]pireno durante el embarazo tuvieron problemas reproductivos, así como los tuvieron sus crías. Las crías de las ratonas embarazadas que se alimentaron con benzo[a]pireno también mostraron otros efectos dañinos, como defectos congénitos y disminución del peso corporal. En los seres humanos se podrían presentar efectos similares, pero no se dispone de información para demostrar que estos efectos ocurren.

Los estudios realizados en animales han demostrado que los HAPs pueden causar efectos dañinos en la piel, los fluidos corporales y el sistema que utiliza el cuerpo para combatir las enfermedades después de exposiciones tanto a corto como a largo plazo. Estos efectos no se han observado en los seres humanos.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha determinado que: el benzo[a]antraceno y el benzo[a]pireno son probables carcinógenos humanos; el benzo[b]fluoranteno, el benzo[j]fluoranteno, el benzo[k]fluoranteno y el indeno[1,2,3-c,d]pireno son posibles carcinógenos humanos; y el antraceno, el benzo[g,h,i]perileno, el benzo[e]pireno, el criseno, el fluoranteno, el fluoreno, el fenantreno y el pireno no son clasificables como carcinógenos en los seres humanos.

La EPA ha determinado que el benzo[a]antraceno, el benzo[a]pireno, el benzo[b]fluoranteno, el benzo[k]fluoranteno, el criseno, el dibenzo[a,h]antraceno y el indeno[1,2,3-c,d]pireno son probables carcinógenos humanos y que el acenaftileno, el antraceno, el benzo[g,h,i]perileno, el fluoranteno, el fluoreno, el fenantreno y el pireno no son clasificables como carcinógenos en los seres humanos. El acenafteno no sido clasificado según sus efectos cancerígenos por el DHHS, la IARC o la EPA.

El mercurio es un tóxico sistémico, es decir afecta varios sistemas de los organismos humanos, entre los más importantes el sistema nervioso, central y periférico, y renal. La gravedad del daño depende de la dosis de exposición, es decir la cantidad de mercurio ingerido. También determinan la gravedad el estado químico del mercurio (valencia) y algunas características del huésped. Especialmente peligrosa resulta la exposición a mercurio por parte de mujeres embarazadas, pues el mercurio atraviesa la barrera placentaria dando origen a una enfermedad congénita: Enfermedad de Minamata. También para los niños pequeños el mercurio, al igual que el plomo resulta ser un tóxico que a bajas dosis, y dependiendo de la cronicidad de la exposición produce daño en el desarrollo neurocognitivo, muchas veces irreversible.

Otras personas expuestas son los trabajadores que manipulan sustancias o productos con mercurio (mineros, trabajador agrícola, industrial, manipuladores de basura y recicladores).

La población general que consume agua o alimentos con el tóxico también se encuentra en riesgo.

El efecto adverso más común de la exposición al níquel en seres humanos es una reacción alérgica. Aproximadamente entre un 10% y 15% de la población es sensible al níquel. Las personas pueden sensibilizarse al níquel cuando hay contacto directo prolongado de la piel con joyas u otros artículos que contienen níquel. Una vez que una persona se ha sensibilizado al níquel, el contacto adicional con el metal producirá una reacción. La reacción más común es un salpullido en el área de contacto. El salpullido también puede aparecer en un área lejos del sitio de contacto. Con menor frecuencia, algunas personas que son sensibles al níquel sufren ataques de asma luego de

exposición al níquel. Algunas personas sensibilizadas reaccionan cuando ingieren níquel en los alimentos o el agua o cuando respiran polvo que contiene níquel³⁵.

Algunas personas que trabajan en refinerías de níquel o plantas que procesan níquel han sufrido bronquitis crónica y alteraciones del pulmón. Estas personas inhalan cantidades de níquel mucho más altas que los niveles que se encuentran normalmente en el ambiente. Algunos trabajadores que tomaron agua que contenía altos niveles de níquel sufrieron dolores de estómago y efectos adversos en la sangre y los riñones.

En ratas y ratones que respiraron compuestos de níquel se han observado daño de los pulmones y de la cavidad nasal. Comer o beber grandes cantidades de níquel ha producido enfermedad del pulmón en perros y ratas y ha afectado el estómago, la sangre, el hígado, los riñones y el sistema inmunitario en ratas y ratones, como también la reproducción y el desarrollo.

Los efectos del plomo son los mismos si se ingiere o inhala. El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición prolongada de adultos puede causar un deterioro en el resultado de algunas pruebas que miden funciones del sistema nervioso. También puede producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo también produce un pequeño aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo. En hombres, la exposición a altos niveles puede alterar la producción de espermatozoides³⁶.

³⁵ ASDR https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts15.html

³⁶ ATSDR https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html

Tabla 5.4-89: Compuestos estudiados en bahía de San Jorge de Antofagasta, y su potencial peligro para la salud pública.

Compuestos y parámetros (*)	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.
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.
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.

Compuestos y parámetros (*)	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.
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 parámetros (*)	Medio	Tipo de efecto	Peligro
Aluminio	agua	neurotoxicidad potencial	Hay pocos indicios de que el aluminio ingerido por vía oral sea extremadamente tóxico para los humanos. a pesar de la presencia generalizada del elemento en los alimentos, el agua potable (coagulante en el tratamiento de aguas) y muchas preparaciones antiácidas. Se ha planteado la hipótesis de que la exposición al aluminio es un factor de riesgo para el desarrollo o la aceleración de la aparición de la enfermedad de Alzheimer en humanos. El riesgo no puede calcularse con precisión. Sin embargo, tales predicciones imprecisas pueden ser útiles para tomar decisiones sobre la necesidad de controlar las exposiciones al aluminio en general, sobre todo frente a su neurotoxicidad potencial ³⁷ .

³⁷ https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chap12.pdf?ua=1

5.4.2.3.3 Factores de exposición

i. Modelo Conceptual

El análisis de riesgo se desarrolla sobre un conjunto de escenarios, cada uno de los cuales está referido a una situación temporal (situación actual o situaciones futuras previsibles). El modelo conceptual (MC) es un esquema descriptivo de los elementos presentes en el emplazamiento que se desea evaluar y que constituyen una cadena de riesgo.

La cadena está definida por el foco o fuente (causa de la exposición), las rutas de exposición y los individuos representativos de grupos de población expuestos a la contaminación procedente del foco denominado: receptor.

Las rutas de exposición: relaciona el foco o fuente de la exposición con los receptores finales a través del medio o componente (suelo-aire-agua- alimento), mecanismos de migración de los contaminantes y vías de exposición (respiratoria – dérmica – digestiva).

EL MC debe ser por lo tanto *“la mejor representación esquemática del problema que pueda confeccionarse a partir de datos disponibles. Considerando las limitaciones e incertidumbres, inherentes a tales datos”*³⁸.

La Figura 5.4-207 muestra el Modelo Conceptual teórico del estudio, identificando como puntos de contacto el baño en la playa, caminatas por el borde costero y la alimentación de productos del mar, a través de las rutas de exposición dérmica, inhalación y oral.

La vía de exposición inhalación escapa de los alcances del presente estudio, por lo que, las principales vías de exposición corresponden a la ingesta de alimentos, a la ingesta de agua cuando se está nadando y al contacto dérmico con los sedimentos de playa y cuerpo de agua.

³⁸ EFTA Guía de Análisis de Riesgos para la Salud Humana y los Ecosistemas, 2004.

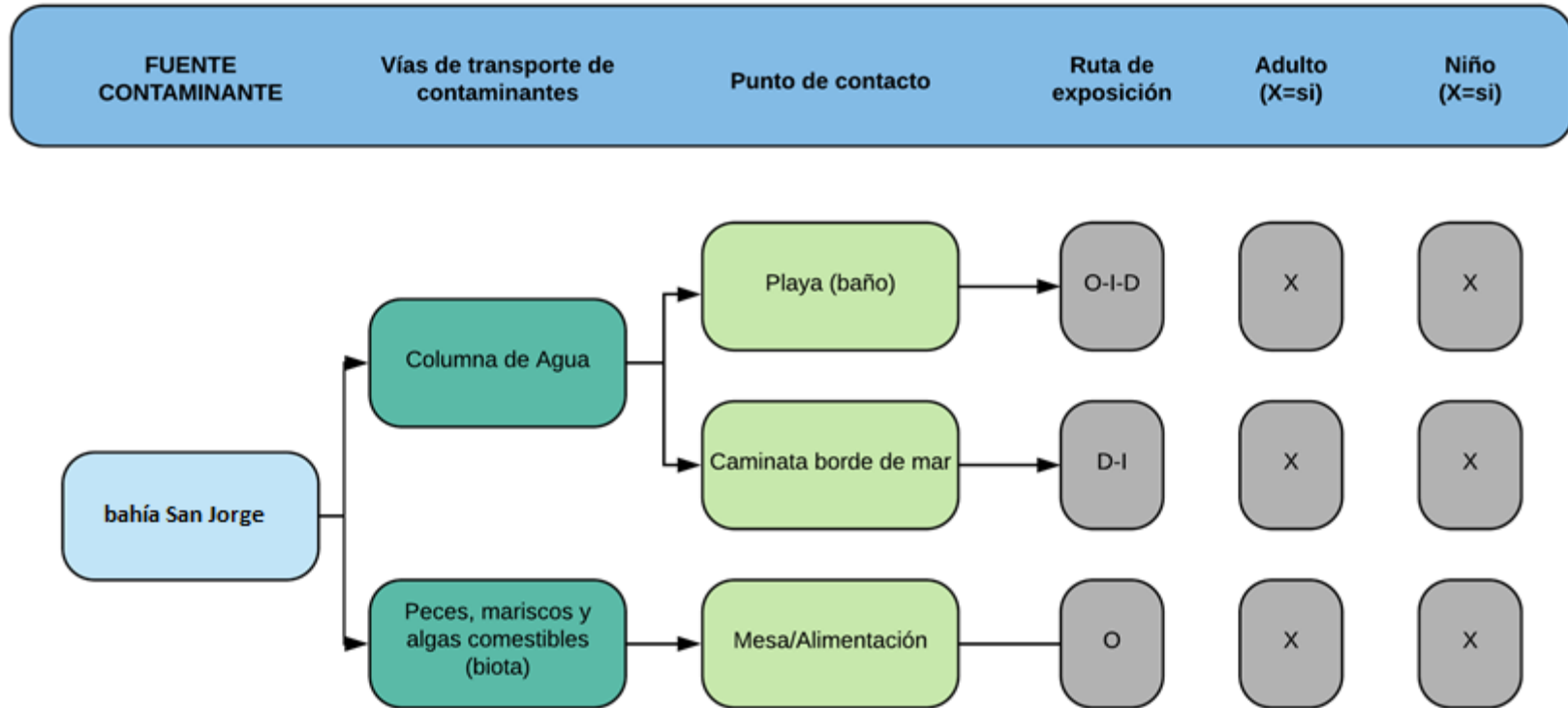


Figura 5.4-207: Modelo Conceptual teórico de exposición en bahía San Jorge (O=Oral, I=Inhalación, D=Dérmico).

A continuación, se describen los distintos componentes de la cadena de riesgo, resumida en el MC propuesto para el análisis.

a) Fuente de contaminantes ambientales

La fuente estudiada es la bahía de San Jorge de Antofagasta. La presencia de contaminantes en sus distintas matrices (sedimento – agua y biota) depende de mecanismos naturales, interacción del mar con la costa y las descargas provenientes de quebradas.

b) Mecanismos de liberación

Los mecanismos de destino ambiental incluyen las transformaciones físico – químicas del contaminante en el medio ambiental. Estos mecanismos conllevan a cambios en la concentración y/o naturaleza de los contaminantes presentes en la Bahía. Los mecanismos de destino ambiental más importantes son la atenuación, la activación, la bioacumulación y biomagnificación.

La atenuación consiste en la transformación del arsénico inorgánico en arsénico orgánico producto de la acción de microorganismos acuáticos y peces. El arsénico orgánico presenta menor toxicidad que el inorgánico, teniendo los compuestos metilados arsénico menor acción tóxica.

La activación se podría observar con el aumento de la valencia del cromo, que de estado (III) pase a estado (VI). El cromo hexavalente a diferencia del trivalente, que es un elemento esencial requerido por el organismo humano, es un cancerígeno.

La bioacumulación de los metales se puede dar al traspasar desde biota a la cadena alimenticia (peces- mariscos y algas comestibles).

c) Vías de exposición

Una vía de exposición es el camino ambiental recorrido por el contaminante desde la fuente o foco hasta el punto del contacto físico con el receptor humano. En este caso se distinguen (Figura 5.4-207) varias vías de exposición posibles.

Vía completa de exposición y puntos de contacto: Una vía de exposición se considera completa y el receptor expuesto, cuando existe evidencia de la presencia de todos los elementos de la vía de exposición, y estos están conectados entre ellos:

- Concentración del contaminante en la vía de transporte
- Presencia de playas públicas en donde los adultos y niños pueden entrar en contacto directo con la columna de agua; y
- Pesca y venta de peces – mariscos y algas comestibles provenientes de la Bahía de San Jorge.

La piel desempeña funciones fundamentales de protección, de aislamiento y de relación respecto al medio externo. Protege mecánicamente frente a los agentes externos debido a su resistencia y elasticidad, frente a los agentes físicos y a las agresiones microbianas y químicas. Aísla el medio interno del exterior, manteniendo constante su composición, y evita las pérdidas de agua, de proteínas, de iones y de temperatura. Además, mantiene la relación con el exterior a través del tacto, de la presión, del dolor, etc. Las sustancias químicas que entran en contacto con la piel pueden tener un efecto local a nivel cutáneo o, por absorción a través de la piel, pueden penetrar en el organismo y llegar a otros órganos internos provocando su efecto a ese nivel. **Cuando un agente químico tiene esa capacidad de penetración cutánea se tiene que considerar la vía dérmica como fuente de exposición laboral y/ o ambiental con posible efecto a nivel general de otros órganos.** Podrá tener mayor o menor importancia dependiendo de cada sustancia. Los agentes químicos que tiene capacidad de penetración de la piel son los plaguicidas, herbicidas, hidrocarburos, compuestos clorados, y compuesto descritos en la Tabla 5.4-90. A nivel laboral se han visto exposiciones dérmicas por metales solo en trabajadores expuestos en industria electroquímica y electromecánica(mercurio) y en la construcción (cromo hexavalente) e industria del pulido (cobalto). También es conocido el efecto del níquel (presente en joyas y cosméticos) que da alergia dérmica, en este caso es solo por el contacto y no se da absorción del metal.

Tabla 5.4-90 Compuestos químicos no ocupacionales que penetran por la piel

Compuestos o actividad
Pesticidas y repelentes
Solventes orgánicos (hidrocarburos)
Productos de aseo y limpieza personal: jabón – crema – Shampoo- perfumes – desodorantes – cosméticos etc.
Detergentes de ropa y lavado de loza
Limpiadores de superficie y vidrios
Compuestos clorados en piscinas

Fuente: CIAMA Ltda. a partir de Tabla Nº 9 Sources of dermal exposure of consumers, de OMS, IPCS Environmental Health Criteria 242 DERMAL EXPOSURE

El punto de contacto, también llamado punto de exposición es un componente crítico de la cadena causal. La exposición sólo puede ocurrir cuando en el punto de contacto concurren simultáneamente el contaminante en una concentración cuantificable (sobre el límite de detección), en un matriz identificable (agua, aire, suelo, alimento) y un receptor humano. Además, debe haber una probabilidad cierta de ocurrencia temporal y espacial de ambos eventos.

Finalizado el estudio, los puntos de contacto estudiados fueron la playa y las mesas de las casas en donde se consumen alimentos del mar provenientes de la Bahía, pues los registros de hidrocarburos obtenidos en los sedimentos de playa han arrojado valores bajo el límite

de detección, lo que implica que el riesgo obtenido por contacto dérmico con sedimentos y columna de agua no sea considerado.

d) Concentración del contaminante en el receptor

Una vez que ocurre el contacto (exposición), el contaminante puede ingresar al organismo por una ruta de exposición y es absorbido a través de una membrana de intercambio. La exposición sólo ocurre cuando el contaminante ha sido absorbido y para establecer una dosis interna en el organismo.

Esta dosis interna se puede calcular a través de modelos farmacocinéticos (absorción/excreción), o medir por medio de biomarcadores de exposición o de efectos. Los biomarcadores de exposición corresponden a la medición en tejidos: sangre, tejido graso, hígado, hueso, orina, leche materna, aire expirado, pelo, uñas, etc. Los biomarcadores de efecto corresponden a la medición de cambios en la actividad enzimática, cambios en los niveles de metabolitos intermedios, etc. Estas mediciones son invasivas y requieren consentimiento informado, análisis ético y patrones de referencia para su adecuado uso.

· Escenarios de exposición ambiental

En el presente informe se evaluará un escenario hipotético relacionado con los receptores de interés, los que incluyen a la población de residentes de la zona.

Exposición de niños de 6 a 11 años residentes: Considera una exposición de 120 días por año (4 meses de verano), sin equipos de protección y considera la vía digestiva, tragar agua.

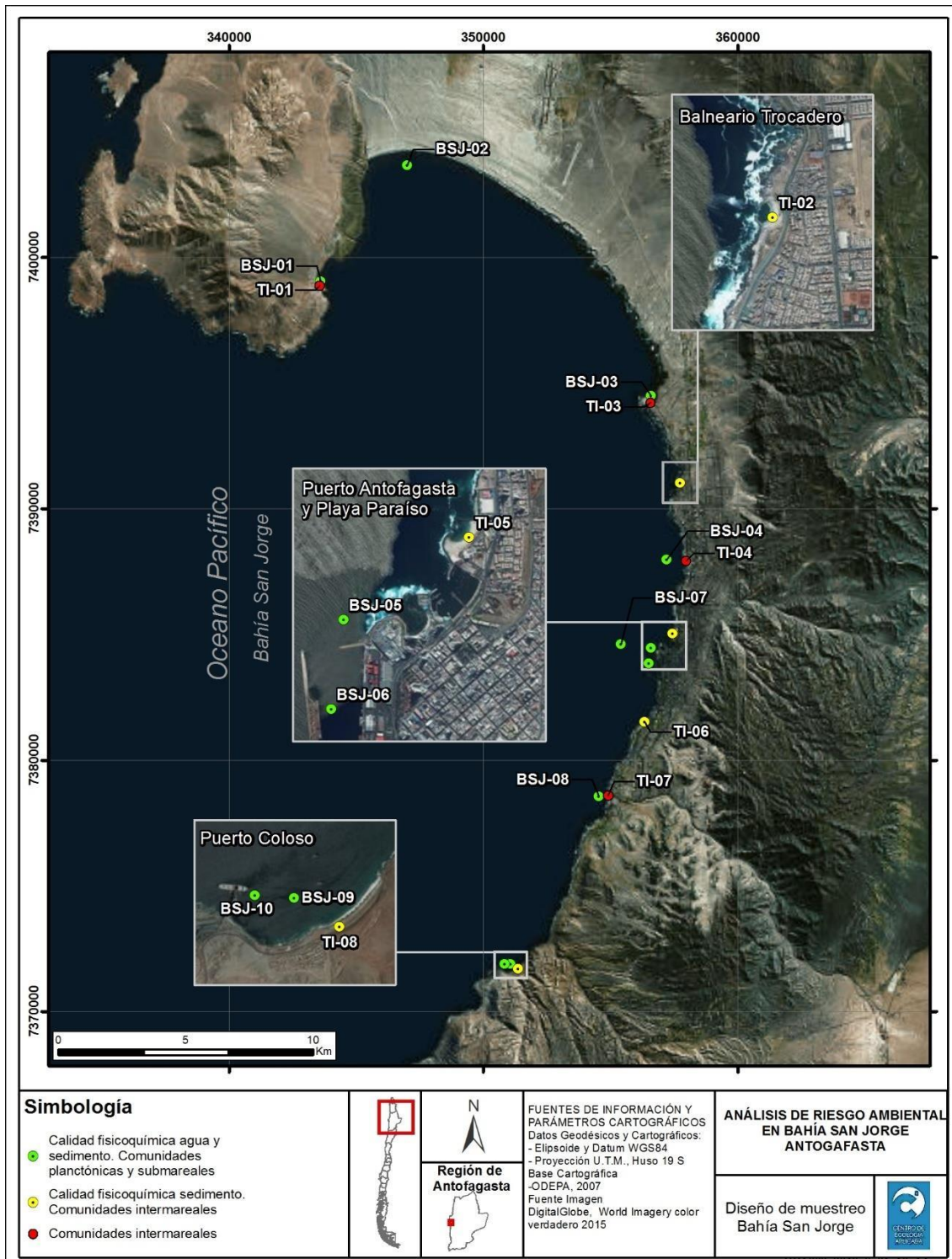
· Escenario de ingesta alimentaria

Se identificó el patrón de consumo de productos del mar por medio de una encuesta, cuyos resultados se desarrollan en el acápite ii del presente informe.

ii. Evaluación de la exposición total

a) Niveles ambientales actuales

Por parte del Centro de Ecología Aplicada, se realizaron los muestreos correspondientes a la calidad fisicoquímica y biológica en la Bahía de San Jorge de Antofagasta, la Figura 5.4-208 muestra la ubicación geográfica de las estaciones de muestreo. En esta sección se analizan los resultados de interés para la evaluación de riesgo en la población, que son la calidad de la columna de agua y la presencia de contaminantes en el sedimento.



GOA003_2019_TI_01_TI_A4

Figura 5.4-208 Muestreo Ambiental, Bahía de San Jorge

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, verano 2019, invierno 2019 y verano 2020 por el Centro de Ecología Aplicada se muestra que las aguas presentaron conductividades homogéneas a modo general, registrándose los mayores valores de conductividad en el estrato fondo y superficial, respectivamente. Además, las aguas de la bahía fueron clasificadas, como moderadamente alcalinas, ya que los puntos de medición se encontraron dentro de los rangos establecidos en la normativa internacional EPA (2009) mayoritariamente, siendo la excepción los puntos BSJ-02, del estrato fondo con un pH de 5,75 y BSJ-09 del estrato superficial con un pH de 5,52 (Tabla 5.4-91), cuyos valores fueron menores al límite mínimo, indicando aguas ácidas.

Tabla 5.4-91: Promedio de Parámetros medidos in-situ, bahía San Jorge. Fuente: CIAMA Ltda.

Punto de muestreo	Promedio campañas invierno			Promedio campañas verano		
	Conductividad (uS/cm)	pH (unidad)	Turbidez (NTU)	Conductividad (uS/cm)	pH (unidad)	Turbidez (NTU)
BSJ-01-S	53200	8,00	0,78	47114	8,20	-
BSJ-01-F	52900	7,87	0,58	46551	8,15	-
BSJ-02-S	52600	7,74	1,03	49498	8,30	-
BSJ-02-F	52300	5,75	0,57	47102	8,22	-
BSJ-03-S	53300	8,20	1,13	45826	8,09	1,07
BSJ-03-F	53050	7,83	1,11	42955	7,90	0,57
BSJ-04-S	52950	7,42	1,78	45813	8,15	1,03
BSJ-04-F	52650	7,62	0,74	44888	8,03	0,57
BSJ-05-S	52850	7,99	0,60	42761	7,81	1,83
BSJ-05-F	53000	7,80	0,86	46605	7,99	2,14
BSJ-06-S	52650	8,06	0,87	45613	7,68	2,18
BSJ-06-F	52750	7,36	5,97	42439	7,75	2,06
BSJ-07-S	52700	8,05	1,15	45991	7,84	2,05
BSJ-07-F	52800	7,63	0,59	43369	7,86	1,07
BSJ-08-S	52700	8,01	1,75	44989	7,73	1,51
BSJ-08-F	52800	7,80	1,24	42223	7,76	1,26
BSJ-09-S	53150	6,70	1,25	47105	7,37	1,50
BSJ-09-F	52950	7,72	1,19	42329	7,81	1,47
BSJ-10-S	52950	7,78	1,23	46331	7,96	1,33
BSJ-10-F	53150	7,62	0,84	42623	7,85	1,34

Respecto de los metales en sedimento de las campañas de invierno 2018 y 2019, y verano 2019 y 2020 (Tabla 5.4-92), destacan el Aluminio, el Cobre, el Vanadio y el plomo en relación en sus valores promedios.

Tabla 5.4-92: Concentración promedio de metales en los sedimentos de bahía San Jorge Antofagasta, verano 2019. Fuente: Elaboración propia.

Variable	N	Promedio campañas invierno				Promedio campañas verano				
		Promedio	D.E	MIN	MAX	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Aluminio	28	6955.4	4147.1	1883.0	18619.0	14	5940.8	4497.1	44.1	17491.0
Arsénico	28	7.2	12.5	0.9	65.0	14	4.1	5.8	0.7	22.4
Cadmio	28	1.6	5.7	0.1	29.8	14	0.7	1.7	0.1	6.7
Cobre	28	212.0	528.4	9.9	2654.7	14	185.2	423.4	12.2	1573.6
Cromo	28	8.6	4.3	3.2	26.5	14	10.1	2.3	6.7	14.3
Mercurio	28	0.2	0.5	0.0	2.0	14	0.2	0.4	0.0	1.3
Níquel	28	5.4	5.8	1.7	33.7	14	3.3	1.8	1.5	8.2
Plomo	28	51.1	126.2	0.5	660.0	14	31.8	63.4	1.1	244.5
Vanadio	28	41.6	23.0	20.0	137.9	14	36.2	14.4	20.6	69.9
Zinc	28	129.3	268.8	12.0	1400.0	14	136.8	328.4	12.0	1309.0

La Tabla 5.4-93 muestra los resultados de la calidad de agua, medidos en la bahía de Antofagasta, en las campañas de invierno 2018 y 2019, y verano 2019 y 2020, de ellos se presentan los valores de límite de detección y la media del valor criterio obtenidos en dicha medición.

Tabla 5.4-93: Resultados de calidad de agua, parámetros seleccionados, bahía San Jorge, Antofagasta. Fuente: CIAMA Ltda.

AÑO	CAMPAÑA	PARÁMETRO	LABORATORIO	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE DE DETECCIÓN	N	MEDIA	MAX
2018	Invierno	Arsénico disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,005	20	0,007	0,021
2018	Invierno	Cadmio disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,001	20	0,001	0,001
2018	Invierno	Coliformes Totales	HIDROLAB	NMP/100 ml	1,8	20	1,8	1,8
2018	Invierno	Cromo disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,002	20	0,002	0,002
2018	Invierno	Mercurio disuelto	HIDROLAB	mg/L	0,001	20	0,001	0,001
2018	Invierno	Plomo disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,008	20	0,008	0,008
2019	Verano	Arsénico disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,005	20	0,0054	0,012
2019	Verano	Cadmio disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,001	20	0,001	0,001
2019	Verano	Coliformes Totales	HIDROLAB	NMP/100 ml	1,8	20	4,16	49
2019	Verano	Cromo disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,002	20	0,002	0,002
2019	Verano	Mercurio disuelto	HIDROLAB	mg/L	0,0005	20	0,0005	0,0005
2019	Verano	Plomo disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,008	20	0,008	0,008
2019	Invierno	Arsénico disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,005	18	0,0086	0,0320
2019	Invierno	Cadmio disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,001	18	0,001	0,001
2019	Invierno	Coliformes Totales	HIDROLAB	NMP/100 ml	1,8	18	3,1556	14
2019	Invierno	Cromo disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,002	18	0,002	0,002
2019	Invierno	Mercurio disuelto	HIDROLAB	mg/L	0,0005	18	0,001	0,001
2019	Invierno	Plomo disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,008	18	0,008	0,008
2020	Verano	Arsénico disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,005	18	0,005	0,005
2020	Verano	Cadmio disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,001	18	0,001	0,001
2020	Verano	Coliformes Totales	HIDROLAB	NMP/100 ml	1,8	18	4,18	23,00
2020	Verano	Cromo disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,002	18	0,002	0,002
2020	Verano	Mercurio disuelto	HIDROLAB	mg/L	0,0005	18	0,001	0,001
2020	Verano	Plomo disuelto	Laboratorio CEA	mg/L	0,008	18	0,008	0,008

Tabla 5.4-94: Valores de concentración de metales en tejido para pescados de bahía San Jorge, Antofagasta.

Parámetro	Cabrilla	Congrio	Jurel	Lenguado	Sardina Española	Sargo	Tomoyo	Vieja Colorada
Aluminio (Al)								
Mín.	0.20	0.20	0.20	1.35	0.20	0.20	0.91	0.20
Máx.	0.41	0.71	0.50	1.35	0.41	0.44	0.91	0.41
Promedio	0.24	0.34	0.30	1.35	0.24	0.26	0.91	0.25
Arsenico (As)								
Mín.	0.16	0.30	0.35	0.81	0.62	0.87	0.84	0.57
Máx.	0.18	0.38	0.54	0.81	1.53	4.28	0.84	0.61
Promedio	0.17	0.34	0.43	0.81	0.98	2.58	0.84	0.59
Cadmio (Cd)								
Mín.	0.002	0.005	0.008	0.018	0.022	0.017	0.011	0.008
Máx.	0.005	0.011	0.051	0.018	0.191	0.038	0.011	0.014
Promedio	0.003	0.008	0.019	0.018	0.065	0.025	0.011	0.011
Cobre (Cu)								
Mín.	0.248	0.285	1.010	0.470	1.450	0.541	0.311	0.283
Máx.	0.399	0.622	1.530	0.470	2.320	0.749	0.311	0.355
Promedio	0.335	0.421	1.288	0.470	1.860	0.674	0.311	0.315
Cromo (Cr)								
Mín.	0.005	0.017	0.005	0.017	0.005	0.005	0.014	0.005
Máx.	0.032	0.795	0.222	0.017	0.111	0.024	0.014	0.013
Promedio	0.013	0.187	0.050	0.017	0.031	0.014	0.014	0.009
Hierro (Fe)								
Mín.	4.04	1.09	8.00	7.06	25.60	7.84	5.01	3.90
Máx.	6.94	5.89	13.70	7.06	34.50	10.70	5.01	5.51
Promedio	4.69	2.95	10.87	7.06	29.78	9.36	5.01	4.77
Litio (Li)								
Mín.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Máx.	0.05	0.16	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Promedio	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Magnesio (Mg)								
Mín.	292.0	269.0	210.0	426.0	318.0	304.0	528.0	326.0
Máx.	354.0	525.0	377.0	426.0	343.0	381.0	528.0	446.0

Parámetro	Cabrilla	Congrio	Jurel	Lenguado	Sardina Española	Sargo	Tomoyo	Vieja Colorada
Promedio	318.2	336.0	317.3	426.0	328.8	329.0	528.0	369.3
Manganeso (Mn)								
Mín.	0.026	0.066	0.072	0.773	0.257	0.070	0.395	0.045
Máx.	0.208	1.140	0.132	0.773	0.681	0.596	0.395	0.172
Promedio	0.073	0.261	0.097	0.773	0.493	0.232	0.395	0.094
Mercurio (Hg)								
Mín.	0.186	0.103	0.008	0.014	0.008	0.037	0.030	0.398
Máx.	0.199	0.139	0.012	0.014	0.010	0.120	0.030	0.455
Promedio	0.193	0.123	0.011	0.014	0.009	0.076	0.030	0.424
Molibdeno (Mo)								
Mín.	0.002	0.002	0.002	0.007	0.002	0.002	0.009	0.002
Máx.	0.002	0.012	0.004	0.007	0.009	0.004	0.009	0.002
Promedio	0.002	0.004	0.003	0.007	0.005	0.003	0.009	0.002
Níquel (Ni)								
Mín.	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
Máx.	0.020	0.425	0.177	0.020	0.066	0.020	0.020	0.020
Promedio	0.020	0.100	0.046	0.020	0.028	0.020	0.020	0.020
Plomo (Pb)								
Mín.	0.002	0.007	0.002	0.026	0.005	0.012	0.011	0.018
Máx.	0.014	0.024	0.015	0.026	0.022	0.018	0.011	0.176
Promedio	0.007	0.016	0.007	0.026	0.012	0.015	0.011	0.077
Selenio (Se)								
Mín.	0.383	0.294	0.336	0.436	0.391	0.326	0.230	0.257
Máx.	0.402	0.374	0.365	0.436	0.509	0.496	0.230	0.294
Promedio	0.397	0.339	0.354	0.436	0.436	0.389	0.230	0.272
Stroncio (Sr)								
Mín.	0.526	1.010	1.270	18.600	1.140	2.240	47.000	1.040
Máx.	10.600	93.300	3.880	18.600	2.140	9.820	47.000	34.100
Promedio	2.804	17.255	2.237	18.600	1.473	4.560	47.000	14.825
Vanadio (V)								
Mín.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Máx.	0.01	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.09

Parámetro	Cabrilla	Congrio	Jurel	Lenguado	Sardina Española	Sargo	Tomoyo	Vieja Colorada
Promedio	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04
Zinc (Zn)								
Mín.	3.23	6.25	4.83	12.60	8.25	5.90	10.40	6.72
Máx.	4.06	19.80	6.79	12.60	20.80	18.10	10.40	13.60
Promedio	3.65	10.02	6.08	12.60	14.96	10.88	10.40	8.78

Tabla 5.4-95: Valores de concentración de metales en tejido para mariscos de bahía San Jorge, Antofagasta.

Parámetro	Almeja	Apretador	Caracol Espiral	Caracol Negro	Caracol Rubio	Cholga	Choro	Choro maltón	Culengue	Erizo Rojo	Estrella Negra
Aluminio (Al)											
Mín.	4.60	1.66	5.38	5.08	6.16	5.50	3.03	2.57	3.88	1.00	2.56
Máx.	21.60	3.42	10.10	13.90	23.30	14.40	3.83	4.62	19.80	17.50	23.80
Promedio	13.10	2.36	6.99	8.11	12.22	9.95	3.43	3.60	8.07	9.25	10.34
Arsenico (As)											
Mín.	1.82	2.91	8.67	3.44	7.94	4.68	2.97	1.26	1.49	0.85	1.01
Máx.	3.39	4.69	9.12	6.08	12.00	4.97	3.38	1.49	2.22	1.86	2.47
Promedio	2.72	3.89	8.96	4.99	9.54	4.83	3.18	1.38	1.66	1.35	1.56
Cadmio (Cd)											
Mín.	0.404	11.000	0.791	1.000	0.854	23.400	1.230	1.490	2.350	0.680	1.860
Máx.	1.780	13.800	0.941	1.810	0.962	29.200	1.700	3.460	4.440	1.080	2.500
Promedio	1.027	12.800	0.847	1.463	0.902	26.300	1.465	2.475	2.963	0.880	2.087
Cobre (Cu)											
Mín.	1.700	9.080	52.500	17.600	55.000	5.500	3.750	2.300	1.820	0.444	1.600
Máx.	14.300	12.600	70.500	27.900	57.400	12.300	4.440	2.420	2.910	3.000	5.230
Promedio	4.624	11.027	62.800	23.600	56.133	8.900	4.095	2.360	2.208	1.722	4.003
Cromo (Cr)											
Mín.	0.075	0.101	0.092	0.133	0.090	1.080	0.146	0.062	0.149	0.097	0.205
Máx.	0.204	0.179	0.096	0.183	0.131	1.080	0.217	0.099	0.195	0.113	0.521
Promedio	0.127	0.147	0.095	0.162	0.113	1.080	0.182	0.081	0.167	0.105	0.358
Hierro (Fe)											
Mín.	17.30	69.30	148.00	334.00	166.00	131.00	24.30	13.60	30.80	8.44	11.30
Máx.	92.30	379.00	198.00	714.00	214.00	368.00	41.00	21.80	59.60	36.40	54.70
Promedio	44.84	252.10	165.00	520.33	195.00	249.50	32.65	17.70	38.22	22.42	27.47
Litio (Li)											
Mín.	0.05	0.10	0.10	0.25	0.05	0.14	0.11	0.10	0.12	0.76	1.02
Máx.	0.11	0.12	0.12	0.27	0.13	0.15	0.13	0.13	0.13	1.18	1.43
Promedio	0.08	0.11	0.11	0.26	0.10	0.15	0.12	0.12	0.13	0.97	1.26
Magnesio (Mg)											

Parámetro	Almeja	Apretador	Caracol Espiral	Caracol Negro	Caracol Rubio	Cholga	Choro	Choro maltón	Culengue	Erizo Rojo	Estrella Negra
Mín.	560.0	992.0	2040.0	688.0	1680.0	874.0	855.0	774.0	788.0	4300.0	6560.0
Máx.	750.0	1490.0	2210.0	1990.0	2110.0	922.0	977.0	956.0	957.0	6200.0	9810.0
Promedio	655.0	1184.0	2126.7	1302.7	1960.0	898.0	916.0	865.0	877.7	5250.0	8336.7
Manganeso (Mn)											
Mín.	0.419	0.886	1.520	1.680	1.410	0.838	1.520	1.110	2.970	0.541	0.519
Máx.	6.170	1.020	1.830	1.980	2.030	2.230	1.570	1.430	5.700	1.170	0.985
Promedio	1.701	0.950	1.650	1.867	1.753	1.534	1.545	1.270	4.712	0.856	0.726
Mercurio (Hg)											
Mín.	0.007	0.004	0.030	0.017	0.034	0.052	0.017	0.017	0.011	0.005	0.022
Máx.	0.027	0.005	0.036	0.028	0.036	0.106	0.025	0.043	0.021	0.012	0.048
Promedio	0.016	0.004	0.033	0.022	0.034	0.079	0.021	0.030	0.014	0.009	0.033
Molibdeno (Mo)											
Mín.	0.067	0.110	0.118	0.145	0.125	0.202	0.102	0.119	0.164	0.168	0.043
Máx.	0.269	0.123	0.144	0.330	0.180	0.314	0.146	0.145	0.242	0.252	0.055
Promedio	0.143	0.116	0.128	0.235	0.147	0.258	0.124	0.132	0.205	0.210	0.048
Níquel (Ni)											
Mín.	0.114	0.680	1.160	0.340	1.110	0.354	0.218	0.223	0.187	0.100	0.275
Máx.	0.778	0.860	1.560	0.468	1.320	0.473	0.328	0.262	0.250	0.106	0.375
Promedio	0.284	0.800	1.300	0.423	1.197	0.414	0.273	0.243	0.214	0.103	0.326
Plomo (Pb)											
Mín.	0.094	0.090	0.301	3.830	0.338	19.500	1.850	0.198	0.107	0.108	0.263
Máx.	3.400	0.247	0.342	4.700	0.432	46.000	2.760	0.228	0.282	0.288	1.800
Promedio	1.340	0.158	0.324	4.133	0.381	32.750	2.305	0.213	0.169	0.198	0.947
Selenio (Se)											
Mín.	0.305	0.240	0.569	0.386	0.685	0.646	0.796	0.246	0.546	0.081	0.213
Máx.	1.160	0.277	0.712	0.582	0.804	1.060	1.140	0.361	1.200	0.117	0.247
Promedio	0.506	0.259	0.658	0.515	0.732	0.853	0.968	0.304	0.994	0.099	0.225
Stroncio (Sr)											
Mín.	25.600	13.300	89.600	260.000	38.900	19.400	12.400	9.760	14.100	334.000	398.000
Máx.	29.200	21.600	171.000	514.000	198.000	51.700	20.000	10.100	50.000	538.000	557.000

Parámetro	Almeja	Apretador	Caracol Espiral	Caracol Negro	Caracol Rubio	Cholga	Choro	Choro maltón	Culengue	Erizo Rojo	Estrella Negra
Promedio	27.400	16.567	138.867	384.667	95.567	35.550	16.200	9.930	25.117	436.000	492.000
Vanadio (V)											
Mín.	0.14	0.11	0.39	0.34	0.38	0.66	0.13	0.07	0.34	0.42	0.57
Máx.	0.22	0.19	0.44	0.72	0.48	1.45	0.18	0.14	0.72	0.62	1.27
Promedio	0.18	0.15	0.41	0.57	0.44	1.05	0.16	0.10	0.45	0.52	0.95
Zinc (Zn)											
Mín.	12.30	16.60	198.00	20.50	157.00	111.00	57.20	12.70	9.34	11.20	32.50
Máx.	21.00	22.90	244.00	28.10	261.00	193.00	58.10	14.90	15.80	12.00	73.40
Promedio	15.54	20.13	219.67	25.50	202.67	152.00	57.65	13.80	12.87	11.60	52.43

Tabla 5.4-96: Valores de concentración de metales en tejido para mariscos de bahía San Jorge, Antofagasta.

Parámetro	Huiro	Jaiba	Lapa	Locate	Loco	Navajuela	Ostión	Piure Invasor	Pulpo	Sol de mar	Turritella
Aluminio (Al)											
Mín.	3.44	1.49	1.06	8.11	0.46	8.40	3.51	1.16	1.19	0.98	3.97
Máx.	14.00	2.16	1.06	8.11	14.10	8.40	31.00	2.75	3.65	19.40	9.02
Promedio	8.08	1.83	1.06	8.11	4.18	8.40	11.46	2.04	2.42	10.46	5.69
Arsenico (As)											
Mín.	7.61	7.61	1.54	9.27	3.51	2.59	2.27	0.68	5.08	1.27	7.70
Máx.	9.50	12.40	2.73	70.00	22.20	2.59	3.21	1.55	5.36	5.76	11.40
Promedio	8.79	9.60	1.97	23.80	6.78	2.59	2.73	1.22	5.22	2.84	9.65
Cadmio (Cd)											
Mín.	0.183	0.384	2.620	0.533	1.850	1.610	6.790	0.100	0.026	1.550	0.929
Máx.	0.461	1.030	9.980	83.600	11.000	1.610	15.800	0.532	0.048	3.080	1.090
Promedio	0.353	0.708	6.230	21.861	5.430	1.610	10.873	0.335	0.037	2.143	1.003
Cobre (Cu)											
Mín.	0.754	6.670	16.200	6.920	7.950	6.730	6.360	1.240	4.050	8.660	54.200
Máx.	2.310	22.900	52.500	771.000	17.500	6.730	17.700	17.200	5.370	23.200	89.700
Promedio	1.668	15.643	33.675	171.424	11.112	6.730	10.335	5.427	4.710	14.020	71.867
Cromo (Cr)											
Mín.	0.107	0.015	0.161	0.056	0.034	0.190	0.139	0.023	0.014	0.147	0.081
Máx.	0.401	0.042	0.242	0.104	0.096	0.190	0.270	0.071	0.015	0.462	0.105
Promedio	0.294	0.028	0.193	0.072	0.063	0.190	0.179	0.034	0.015	0.291	0.093
Hierro (Fe)											
Mín.	15.50	4.98	37.30	26.90	13.60	195.00	186.00	8.61	2.83	15.90	126.00
Máx.	117.00	11.80	228.00	104.00	61.20	195.00	343.00	41.60	6.26	82.30	261.00
Promedio	74.43	9.06	127.58	49.10	26.30	195.00	243.00	23.87	4.55	40.87	207.67
Litio (Li)											
Mín.	0.11	0.17	0.12	0.05	0.05	0.05	0.10	0.11	0.05	0.69	0.05
Máx.	0.17	0.20	0.12	0.05	0.11	0.05	0.15	0.16	0.05	1.38	0.05
Promedio	0.14	0.18	0.12	0.05	0.06	0.05	0.12	0.13	0.05	1.12	0.05
Magnesio (Mg)											
Mín.	1360.0	1180.0	979.0	3310.0	1310.0	562.0	850.0	1010.0	895.0	4750.0	1840.0

Parámetro	Huiro	Jaiba	Lapa	Locate	Loco	Navajuela	Ostión	Piure Invasor	Pulpo	Sol de mar	Turritella
Máx.	1660.0	1380.0	979.0	3310.0	1720.0	562.0	935.0	1210.0	1020.0	9230.0	2330.0
Promedio	1473.3	1272.5	979.0	3310.0	1555.0	562.0	894.3	1102.5	957.5	7716.7	2063.3
Manganeso (Mn)											
Mín.	0.724	0.146	0.661	1.370	0.526	1.580	7.790	0.247	0.345	1.260	1.050
Máx.	0.928	0.286	2.220	1.840	0.983	1.580	10.600	0.706	0.401	1.930	2.720
Promedio	0.819	0.202	1.623	1.668	0.686	1.580	8.560	0.379	0.373	1.563	1.710
Mercurio (Hg)											
Mín.	0.001	0.047	0.004	0.021	0.026	0.024	0.016	0.003	0.018	0.038	0.033
Máx.	0.003	0.062	0.037	0.109	0.051	0.024	0.022	0.011	0.033	0.088	0.042
Promedio	0.003	0.056	0.016	0.051	0.038	0.024	0.019	0.007	0.026	0.056	0.038
Molibdeno (Mo)											
Mín.	0.067	0.033	0.059	0.082	0.056	0.160	0.098	0.020	0.019	0.058	0.113
Máx.	0.085	0.046	0.163	0.171	0.106	0.160	0.119	0.085	0.023	0.066	0.162
Promedio	0.078	0.039	0.101	0.109	0.082	0.160	0.108	0.042	0.021	0.063	0.139
Níquel (Ni)											
Mín.	0.120	0.053	0.173	0.020	0.044	0.159	0.171	0.070	0.020	0.130	0.995
Máx.	0.204	0.118	0.274	0.470	0.098	0.159	0.329	0.110	0.020	0.236	2.130
Promedio	0.169	0.077	0.229	0.158	0.070	0.159	0.230	0.093	0.020	0.175	1.692
Plomo (Pb)											
Mín.	0.110	0.017	0.086	0.064	0.301	1.930	10.800	0.029	0.047	0.611	0.286
Máx.	1.630	0.045	0.646	4.300	0.698	1.930	24.900	1.180	0.050	3.650	0.440
Promedio	0.799	0.032	0.352	1.100	0.424	1.930	15.550	0.438	0.048	1.884	0.378
Selenio (Se)											
Mín.	0.043	0.480	0.138	0.274	0.304	0.781	0.476	0.264	0.230	0.250	0.599
Máx.	0.165	0.671	0.668	0.684	0.465	0.781	0.707	0.535	0.236	0.349	0.877
Promedio	0.090	0.557	0.396	0.428	0.384	0.781	0.612	0.400	0.233	0.298	0.747
Stroncio (Sr)											
Mín.	152.000	64.800	8.850	18.000	7.300	8.840	6.700	37.700	4.210	246.000	15.400
Máx.	227.000	95.600	8.850	18.000	9.360	8.840	38.800	74.300	4.380	509.000	74.000
Promedio	183.000	86.600	8.850	18.000	8.250	8.840	16.820	55.625	4.295	418.333	50.833
Vanadio (V)											

Parámetro	Huiro	Jaiba	Lapa	Locate	Loco	Navajuela	Ostión	Piure Invasor	Pulpo	Sol de mar	Turritella
Mín.	0.11	0.01	0.50	0.11	0.04	0.25	0.51	0.04	0.01	0.24	0.27
Máx.	0.39	0.04	0.50	0.11	0.09	0.25	0.89	0.08	0.03	0.44	0.59
Promedio	0.26	0.03	0.50	0.11	0.06	0.25	0.64	0.06	0.02	0.32	0.48
Zinc (Zn)											
Mín.	2.36	54.10	6.40	19.90	61.60	41.70	79.30	4.37	14.80	37.30	165.00
Máx.	6.14	65.80	19.10	150.00	128.00	41.70	189.00	40.50	16.50	40.90	196.00
Promedio	4.60	59.40	13.73	64.00	96.37	41.70	110.55	20.70	15.65	39.67	178.67

Tabla 5.4-97: Valores de concentración de hidrocarburos en tejido para mariscos de bahía San Jorge, Antofagasta.

Parámetro	Choro Maltón	Erizo Rojo	Jaiba	Lapa	Loco	Navajuela	Ostión	Piure Invasor	Pulpo
2 Metilnaftaleno									
Mín.	0.68	0.44	0.5	0.185	2.3	3	2.3	0.88	0.42
Máx.	0.76	0.44	0.5	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.52
Promedio	0.72	0.44	0.50	1.56	2.32	3.00	2.35	1.71	0.47
Acenafteno									
Mín.	0.15	0.88	0.15	0.58	2.3	3	2.3	0.52	0.15
Máx.	0.94	0.89	0.15	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.15
Promedio	0.55	0.89	0.15	1.69	2.32	3.00	2.35	1.26	0.15
Acenaftileno									
Mín.	0.14	0.14	0.14	0.14	2.3	3	2.3	0.14	0.14
Máx.	0.14	0.155	0.14	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.14
Promedio	0.14	0.15	0.14	1.55	2.32	3.00	2.35	0.95	0.14
Antraceno									
Mín.	0.145	0.145	0.145	0.145	2.3	3	2.3	0.145	0.145
Máx.	0.145	0.16	0.145	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.145
Promedio	0.15	0.15	0.15	1.55	2.32	3.00	2.35	1.01	0.15
Benzeno (a) antraceno									
Mín.	0.115	0.115	0.43	0.38	2.3	3	2.3	0.115	0.115
Máx.	1.25	0.125	0.53	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.47
Promedio	0.68	0.12	0.48	1.63	2.32	3.00	2.35	1.26	0.29
Benzo (a) pireno									
Mín.	0.19	0.19	0.19	0.19	2.3	3	2.3	0.19	0.19
Máx.	0.19	0.205	0.19	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.19
Promedio	0.19	0.20	0.19	1.56	2.32	3.00	2.35	0.91	0.19
Benzo (b) fluoranteno									
Mín.	0.145	0.145	0.145	0.145	2.3	3	2.3	0.145	0.145
Máx.	0.145	0.16	0.145	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.145
Promedio	0.15	0.15	0.15	1.55	2.32	3.00	2.35	0.88	0.15
Benzo (g,h,i) perileno									
Mín.	0.2	0.2	0.2	0.2	2.3	3	2.3	0.2	0.2

Parámetro	Choro Maltón	Erizo Rojo	Jaiba	Lapa	Loco	Navajuela	Ostión	Piure Invasor	Pulpo
Máx.	0.2	0.215	0.2	2.3	2.35	3	2.4	6.7	0.2
Promedio	0.20	0.21	0.20	1.57	2.32	3.00	2.35	2.80	0.20
Benzo (k) fluoranteno									
Mín.	0.12	0.12	0.12	0.12	2.3	3	2.3	0.12	0.12
Máx.	0.12	0.13	0.12	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.12
Promedio	0.12	0.13	0.12	1.54	2.32	3.00	2.35	0.86	0.12
Criseno									
Mín.	0.155	0.155	0.155	0.155	2.3	3	2.3	0.155	0.155
Máx.	0.155	0.17	0.155	2.3	2.35	3	2.4	3.1	0.155
Promedio	0.16	0.16	0.16	1.55	2.32	3.00	2.35	1.87	0.16
Dibenzo (a,h) antraceno									
Mín.	0.115	0.115	0.115	0.115	2.3	3	2.3	0.115	0.115
Máx.	0.115	0.125	0.115	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.115
Promedio	0.12	0.12	0.12	1.54	2.32	3.00	2.35	0.86	0.12
Dibenzofurano									
Mín.	0.3	0.3	0.3	0.3	2.3	3	2.3	0.3	0.3
Máx.	0.3	0.325	0.3	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.3
Promedio	0.30	0.31	0.30	1.60	2.32	3.00	2.35	1.15	0.30
Fenantreno									
Mín.	1.2	1	0.78	0.295	2.3	3	2.3	0.8	0.65
Máx.	2	4.2	0.79	2.3	6.9	3	2.4	2.4	2.1
Promedio	1.60	2.60	0.79	1.60	3.85	3.00	2.35	1.85	1.38
Fluoranteno									
Mín.	0.315	0.34	0.315	0.315	2.3	3	2.4	0.315	0.315
Máx.	0.88	1.4	0.315	2.3	2.35	3	6.1	2.35	0.9
Promedio	0.60	0.87	0.32	1.61	2.32	3.00	4.25	1.17	0.61
Fluoreno									
Mín.	0.285	0.31	0.285	0.285	2.3	3	2.3	1.3	0.285
Máx.	0.285	0.71	0.285	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.285
Promedio	0.29	0.51	0.29	1.60	2.32	3.00	2.35	1.75	0.29
Indeno (123-cd) pireno									

Parámetro	Choro Maltón	Erizo Rojo	Jaiba	Lapa	Loco	Navajuela	Ostión	Piure Invasor	Pulpo
Mín.	0.18	0.18	0.18	0.18	2.3	3	2.3	0.18	0.18
Máx.	0.18	0.195	0.18	2.3	2.35	3	2.4	2.35	0.18
Promedio	0.18	0.19	0.18	1.56	2.32	3.00	2.35	0.90	0.18
Naftaleno									
Mín.	0.9	0.59	0.71	0.53	2.3	3	2.3	0.99	0.62
Máx.	0.91	0.71	0.82	2.3	2.35	3	2.4	2.35	1.1
Promedio	0.91	0.65	0.77	1.68	2.32	3.00	2.35	1.71	0.86
Pireno									
Mín.	0.16	0.42	0.35	0.16	2.3	3	2.4	0.32	0.16
Máx.	0.64	1	0.45	2.3	2.35	3	8.7	2.35	0.47
Promedio	0.40	0.71	0.40	1.55	2.32	3.00	5.55	1.32	0.32

b) *Normativa Nacional*

Los valores referidos de la normativa nacional se adjuntan en la Tabla 5.4-98 y en la Tabla 5.4-99 respectivamente.

Tabla 5.4-98: Decreto Supremo 144/2009. Establece NCP para la protección de aguas marinas y estuarinas aptas para actividad de recreación con contacto directo.

Compuesto o Elemento	Unidad	Percentil	Valor Máximo
Color	Escala Pt-Co	80	100
pH	Unidad de pH	95	6,0 -8,5
Cianuro	mg/L	95	0,77
Arsénico	mg/L	95	0,11
Cadmio	mg/L	95	0,033
Cromo	mg/L	95	0,55
Mercurio	mg/L	95	0,011
Plomo	mg/L	95	0,11
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	95	1000

Tabla 5.4-99: Mariscos y pescados frescos. Límites máximos permitidos. Reglamento Sanitario de los Alimentos (DTO N° 977/96).

Compuesto	Unidad	Límite máximo
Arsénico inorgánico (moluscos)	mg/Kg de producto final	2,0
Arsénico total (pescado fresco)	mg/Kg de producto final	1
Cobre	mg/Kg de producto final	10
Mercurio	mg/Kg de producto final	0,5 - 1,5
Plomo	mg/Kg de producto final	2,0
Selenio	mg/Kg de producto final	0,30
Zinc	mg/Kg de producto final	100
Dioxinas	pg EQT/OMS/g de grasa)	2,0
Radio nucleótidos	Bq/Kg	35 – 3500

c) *Evaluación poblacional*

- Adultos

Durante los meses de agosto y septiembre de 2019, se realizó la encuesta poblacional en la Bahía de San Jorge Antofagasta. Con una población total de 361.873 habitantes (39) como universo, se efectuó un cálculo de muestra considerando un 95% de nivel de confianza y un 5% de error, determinando un número total de 384 hogares por encuestar, realizado el terreno se logró obtener una muestra de 406 participantes, quienes libremente firmaron consentimiento informado y accedieron a participar. A continuación, se detalla la información referida por la población participante:

El promedio de edad reportado por los evaluados fue de 33 años con una desviación típica de $\pm 14,96$ años, el tiempo medio de residencia en la comuna es de 21 años, y 12 años de tiempo de residencia en la vivienda actual donde se realizó la entrevista (Tabla 5.4-100). Respecto a la representación por grupo etario, el 48,02% de los evaluados tenía entre 21 y 29 años de edad siendo el grupo con participación mayoritaria (Tabla 5.4-101). En tanto en la participación por sexo es más menos equitativa con una participación de un 51,36% de sexo femenino y un 48,64% masculino (Tabla 5.4-101).

Tabla 5.4-100: Características de edad y tiempo de residencia de la población evaluada. Fuente: CIAMA Ltda.

Variable	N	Media	Ds
Edad	406	33,82	$\pm 14,96$
Tiempo de residencia en Antofagasta (en años)	405	21,35	$\pm 15,94$
Tiempo de residencia vivienda actual	404	11,83	$\pm 12,33$

Tabla 5.4-101: Población evaluada según grupo etaria en años.

Grupo etario en años	Frecuencia absoluta	Porcentaje %	Porcentaje acumulado %
18-20	38	9,41	9,41
21-29	194	48,02	57,43
30-39	56	13,86	71,29
40-49	45	11,14	82,43
50-59	34	8,42	90,84
60 o más	37	9,16	100
Total	404	100	

³⁹ Instituto nacional de Estadística Censo de Población y vivienda 2002 y 2017.

Tabla 5.4-102: Evaluados según sexo.

Sexo	Frecuencia absoluta	Porcentaje %
Femenino	208	51,36
Masculino	197	48,64
Total	405	100

Respecto del reporte de consumo de especies (Tabla 5.4-103) destacan en mayor porcentaje los enlatados (Atún y Jurel en conserva), seguidos del Salmón, Congrio y Jurel fresco. Los mencionados como menos consumidos son la jerguilla y la pulga de mar. Cuando se les solicito a los encuestados mencionar algún otro pescado o alimento del mar que consumió durante el último mes y que no se encontraba en el listado la mayoritariamente mencionada, fue la Reineta (Tabla 5.4-104).

Tabla 5.4-103: Frecuencia de consumo según tipo de pescado o alimento del mar.

Ha consumido algunos de los siguientes pescados o alimentos del mar, el último mes.	n total	Frecuencia Absoluta No	Frecuencia Absoluta Si	Porcentaje % No	Porcentaje % Si
Pulga de mar	406	404	2	99,51	0,49
Erizo	405	377	28	93,09	6,91
Erizo rojo	403	382	21	94,79	5,21
Bilagay	406	402	4	99,01	0,99
Pejerrey	406	368	38	90,64	9,36
Jerguilla	406	404	2	99,51	0,49
Congrio	406	331	75	81,53	18,47
Castañeta	405	401	4	99,01	0,99
Lenguado	406	370	36	91,13	8,87
Cabina	405	392	13	96,79	3,21
Lisa	406	400	6	98,52	1,48
Jaiba	406	359	47	88,42	11,58
Caballa	404	396	8	98,02	1,98
Jurel en conserva	406	298	108	73,40	26,60
Atún en conserva	404	140	264	34,65	65,35
Sardinias en conserva	406	378	28	93,10	6,90
Salmón	405	311	94	76,79	23,21
Piure	405	369	36	91,11	8,89
Sargo	406	400	6	98,52	1,48
Cabrilla	405	384	21	94,81	5,19
Tomoyo	406	388	18	95,57	4,43
Jurel	406	352	54	86,70	13,30
Sardina Española	406	401	5	98,77	1,23
Vieja Colorada	405	401	4	99,01	0,99
Otro	403	228	175	56,58	43,42

Tabla 5.4-104: Frecuencia de otros pescados mencionados como consumidos el último mes.

Otros pescados	Frecuencia Absoluta	Porcentaje%
Albacora	19	9,41
Atún	2	0,99
Bonito	1	0,55
Cabinza	1	0,0
Tilapia	1	0,50
Blanquillo	1	0,50
Dorado	7	3,47
Merluza	23	11,39
Pez luna	1	0,50
Reineta	145	71,78
Rollizo	1	0,50
Total	202	100

Respecto a la frecuencia de consumo (Tabla 5.4-105), en general no hay una tendencia marcada, pero los mayores porcentajes están en el consumo de una vez por semana y dos veces al mes. En cuanto a la cantidad de consumo en gramos el 53,35% refirió consumir 50 gramos según la imagen de referencia de porciones de pescados.

Tabla 5.4-105: Frecuencia de consumo de pescado al mes.

Frecuencia de consumo de pescado	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
1 sola vez al mes	87	21,43
1 vez por semana	111	27,34
2 veces al mes	97	23,89
3 veces por semana	36	8,87
5 veces por semana	3	0,74
Todos los días almuerzo y cena	1	0,25
Todos los días almuerzo o cena	1	0,25
unas pocas veces al año	70	17,24
Total	406	100

Tabla 5.4-106: Frecuencia relativa, respecto al consumo según cantidad en gramos de pescado.

Respecto de la cantidad de consumo de pescados	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
No consume	47	11,66
Figura 1 (50 gramos)	215	53,35
Figura 2 (entre 50 a 150 gramos)	107	26,55
Figura 3 (sobre 150 gramos)	34	8,44
Total	403	100

Tabla 5.4-107: Ingesta diaria estimada de pescado, Antofagasta 2019.

Frecuencia de consumo de pescado	Frecuencia Absoluta	Gramos por día
1 sola vez al mes	87	3,47
1 vez por semana	111	15,89
2 veces al mes	97	7,2
3 veces por semana	36	40,48
5 veces por semana	3	107,1
Todos los días almuerzo y cena	1	200
Todos los días almuerzo o cena	1	150
unas pocas veces al año	70	0,25
Total	406	12,7

Al preguntar a los encuestados por el consumo de mariscos (Tabla 5.4-108), ellos reportaron haber consumido el último mes, mayoritariamente loco, pulpo y choro. En tanto dentro de las especies del listado todos quienes respondieron dijeron no haber consumido pelillo, turritella y estrella negra. Cuando se les solicito mencionar otro que no estuviera en el listado el mayormente mencionado fue el camarón (Tabla 5.4-109). Los encuestados refirieron mayoritariamente consumir mariscos solo unas pocas veces al año (Tabla 5.4-110), y en su mayoría entre 100 y 150 gramos según la imagen de referencia (Tabla 5.4-111).

Tabla 5.4-108: Frecuencia de consumo de mariscos según tipo.

Ha consumido alguno de los siguientes Mariscos el último mes.	n Total	Frecuencia Absoluta No	Frecuencia Absoluta Si	Porcentaje % No	Porcentaje % Si
Lapa	405	336	69	82,96	17,04
Piure	405	352	53	86,91	13,09
Loco	406	282	125	69,21	30,79
Clueque	406	404	2	99,51	0,49
Ostión	406	355	51	87,44	12,56
Pulpo	404	282	122	69,80	30,20
Locate	402	392	10	97,51	2,49
Mariscos en conserva	406	321	85	79,06	20,94
Huiro	404	398	6	98,51	1,49
Pelillo	405	405	0	100	0
Almeja	405	369	36	91,11	8,89
Navajuela	406	403	3	99,26	0,74
Choro Maltón	406	390	16	96,06	3,94
Choro	406	304	102	74,88	25,12
Cholga	405	364	41	89,88	10,12
Culengue	405	401	4	99,01	0,99
Apretador	405	403	2	99,51	0,49
Caracol tritón	406	404	2	99,51	0,49
Caracol rubio	406	404	2	99,51	0,49
Caracol negro	406	405	1	99,75	0,25
Caracol espiral	404	403	1	99,75	0,25
Turritella	404	405	0	100	0
Estrella negra	405	405	0	100	0
Sol de mar	406	405	1	99,75	0,25
Otro	406	351	55	86,45	13,55

Tabla 5.4-109: Muestra la frecuencia de otros mariscos u otros productos del mar, mencionados como consumidos el último mes.

Otros Mariscos u otros	Frecuencia Absoluta	Porcentaje%
Camarón	52	80
Cochayuyo	4	6,15
Langostino	2	3,08
Calamar	1	1,54
Kanikama	2	3,08
Luche	2	3,08
Nori	2	3,08
Total	202	100

Tabla 5.4-110: Frecuencia relativa, respecto de la frecuencia de consumo de mariscos y algas.

Frecuencia del consumo de mariscos y algas	Frecuencia Absoluta	Porcentaje%
1 sola vez al mes	94	23,27
1 vez por semana	52	12,87
2 veces al mes	68	16,83
3 veces por semana	15	3,71
5 veces por semana	1	0,25
unas pocas veces al año o menos	174	43,07
Total	404	100

Tabla 5.4-111: Frecuencia relativa, respecto al consumo, según cantidad en gramos de mariscos.

Respecto de la cantidad del consumo de mariscos y algas	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
No consume	105	26,05
Figura 1 (50 gr.)	104	25,81
Figura 2 (100 gr a 150 gramos)	142	35,24
Figura 3 (mayor a 150 gramos)	52	12,90
Total	403	100

En relación a las conductas de exposición de contacto al agua marina, los encuestados (Tabla 5.4-112) refirieron asistir solo los fines de semana en el verano (70,12%) y que un 68% de ellos si nadaban en la playa (Tabla 5.4-113), en tanto al preguntar por los niños del hogar un 68% de los encuestados refirió que no había niños en su hogar y quienes si tenían, mencionaron que asistían a la playa principalmente en el verano cuando se encontraban de vacaciones (Tabla 5.4-114) y que estos nadan en la playa o se mojan los pies o juegan en la orilla (Tabla 5.4-115).

Tabla 5.4-112 Frecuencia con que los encuestados refirieron asistir a la playa

Con que frecuencia usted va a la playa	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
1 vez a la semana	68	16,79
3 veces a la semana	41	10,12
5 veces a la semana	2	0,49
Todos los días	10	2,47
solo fin de semana en verano	284	70,12
Total	405	100

Tabla 5.4-113: Frecuencia con que los niños que residen en el hogar asisten a la playa.

Con que frecuencia van los niños de la casa a la playa	Frecuencia absoluta	Porcentaje %
Todos los días	1	0,25
Sólo los días fines de semana	24	5,91
cuando están en vacaciones, todos los días	9	2,22
cuando están en vacaciones, los fines de semana	68	16,75
Rara vez van a la playa	26	6,40
No hay niños en este hogar	278	68,47
Total	406	100

Tabla 5.4-114: Frecuencia con que los encuestados nadan en la playa.

En la playa Usted nada	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa %
No	53	13,09
Si	276	68,15
solo se mojan los pies	76	18,77
Total	405	100

Tabla 5.4-115: Frecuencia con que los niños nadan en la playa, referida por el encuestado.

Nadan los niños en la playa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa %
No	15	3,71
Si	71	17,57
Solo se mojan los pies y juegan en la orilla	44	10,89
No hay niños en este hogar	274	67,82
Total	404	100

· Niños

Durante los meses de agosto y septiembre de 2019, se realizó la encuesta poblacional en la Bahía de San Jorge Antofagasta en donde se incluyó la encuesta a niños reportada por un apoderado o padre del menor. Con una población total de 76.260 habitantes (En base a población de entre 0 y 14 años según Censo 2017)⁴⁰ como universo, se efectuó un cálculo de muestra considerando un 90% de nivel de confianza y un 10% de error, determinando un total de 68 menores a incluir mediante el reporte de un representante, realizado el terreno se logró obtener una muestra de 57 participantes, quienes libremente firmaron consentimiento informado y accedieron a participar entregando la información respecto a los hábitos de consumo de especies marina y exposición. A continuación, se detalla la información referida por la población participante:

Respecto a la edad de los menores de los cuales se reportó su información, ellos tenían en promedio 9 años de edad, residían en la comuna alrededor de 8 años y en la vivienda actual 6 años en promedio (Tabla 5.4-116), respecto a la representación por nivel escolar esta era relativamente equitativa entre segundo y quinto básico, el mayor porcentaje era de primero básicos y los más bajos de, sexto, séptimo y octavo básico (Tabla 5.4-117). La distribución por sexo es similar entre los participantes (Tabla 5.4-118).

Tabla 5.4-116: Características de edad y tiempo de residencia de la muestra de niños evaluada.

Variable	n	Media	Ds
Edad	57	9,05	± 2,17
Tiempo de residencia en Antofagasta (en años)	49	8,28	± 3,08
Tiempo de residencia vivienda actual	50	5,92	± 3,65

Tabla 5.4-117: Caracterización según nivel escolar actual de la muestra incluida.

Nivel escolar actual	Frecuencia absoluta	Porcentaje %
Primero básico	13	22,81
Segundo básico	7	12,28
Tercero básico	9	15,79
Cuarto básico	9	15,79
Quinto básico	7	12,28
Sexto básico	4	7,02
Septimo básico	4	7,02
Octavo básico	4	7,02
Total	57	100

⁴⁰ Instituto nacional de Estadística Censo de Población y vivienda 2002 y 2017.

Tabla 5.4-118: Niños/as evaluados según sexo.

Sexo	Frecuencia absoluta	Porcentaje %
Femenino	29	50,88
Masculino	28	49,12
Total	57	100

Elaboración propia

Respecto del consumo de especies como pescados o alimentos del mar los encuestados refirieron que sus niños consumieron el último mes jurel y atún en conserva, en tanto la pulga de mar, la jerguilla, el bilagay y otra gran variedad de especies detalladas en la tabla 4, no fueron consumidas por los menores. Al preguntar por otras especies, la reineta fue mencionada en un 95% de quienes refirieron haber consumido otra especie que no se encontraba en el listado (Tabla 5.4-119 y Tabla 5.4-120).

Tabla 5.4-119: Frecuencia de consumo según tipo de pescados o alimentos del mar.

Ha consumido su hijo algunos de los siguientes pescados o alimentos del mar, el último mes.	n total	Frecuencia Absoluta No	Frecuencia Absoluta Si	% No	% Si
Pulga de mar	57	57	0	100	0
Erizo	57	55	2	96,49	3,51
Erizo rojo	57	57	0	100	0
Bilagay	57	57	0	100	0
Pejerrey	57	55	2	96,49	3,51
Jerguilla	57	57	0	100	0
Congrio	57	50	7	87,72	12,28
Castañeta	57	57	0	100	0
Lenguado	57	56	1	98,25	1,75
Cabina	56	55	1	98,21	1,79
Lisa	57	57	0	100	0
Jaiba	57	57	0	100	0
Caballa	57	57	0	100	0
Jurel en conserva	57	44	13	77,19	22,81
Atún en conserva	57	17	40	29,82	70,18
Sardinas en conserva	57	57	0	100	0
Salmón	57	54	3	94,74	5,26
Sargo	57	57	0	100	0
Cabrilla	57	57	0	100	0
Tomoyo	57	57	0	100	0
Jurel	57	50	7	87,72	12,28
Sardina Española	57	57	0	100	0
Vieja Colorada	57	57	0	100	0
Otro	57	34	23	59,65	40,35

Tabla 5.4-120: Frecuencia de otros pescados mencionados como consumidos el último mes.

Otros pescados	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
Albacora	1	4,34
Reineta	22	95,65
Total	23	100

La Tabla 5.4-121 muestra la frecuencia de consumo reportada que en un 40% se refirió que los menores consumían 1 vez por semana y en un 28% 2 veces por semana, como principales frecuencias reportadas. Respecto de la cantidad consumida se refirió que principalmente consumían entre 50 a 150 gramos de pescados al mes según la imagen de referencia.

Tabla 5.4-121: Frecuencia de consumo de pescado al mes.

Frecuencia de consumo de pescado	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
1 sola vez al mes	7	12,28
1 vez por semana	23	40,35
2 veces al mes	16	28,07
3 veces por semana	1	1,75
5 veces por semana	0	0
Todos los días almuerzo y cena	0	0
Todos los días almuerzo o cena	0	0
unas pocas veces al año	10	17,54
Total	57	100

Tabla 5.4-122: Frecuencia relativa, respecto a la cantidad de consumo según cantidad en gramos de pescado.

Respecto de la cantidad de consumo de pescados	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
No consume	2	3,57
Figura 1 (50 gramos)	15	26,79
Figura 2 (entre 50 a 150 gramos)	30	53,57
Figura 3 (sobre 150 gramos)	9	16,07
Total	56	100

Tabla 5.4-123: Ingesta diaria estimada de pescado, niños Antofagasta2019.

Frecuencia de consumo de pescado	Frecuencia Absoluta	Gramos por día
1 sola vez al mes	7	3,33
1 vez por semana	23	13,97
2 veces al mes	16	6,66
3 veces por semana	1	42,9
5 veces por semana	0	0
Todos los días en el almuerzo y la cena	0	0
Todos los días en el almuerzo o la cena	0	0
Unas pocas veces al año	10	0,3
Total	57	8,72

La Tabla 5.4-124, muestra la frecuencia de consumo del listado de especies propuestas, según lo referido por los adultos, los menores el último mes principalmente consumieron Pulpo, loco, en menor medida lapa y choro. En tanto una gran cantidad de especies como el locate, el huiro, la almeja entre otros fueron reportados como no consumidos. Al referir otra especie no mencionada por el encuestador se mencionó el camarón como consumido el último mes por los menores (Tabla 5.4-125). Respecto a la frecuencia del consumo en su mayoría (62%) se refirió los consume unas pocas veces al año o menos (Tabla 5.4-126), al preguntar por la cantidad se refirió que el 50% no los consumía y quienes si lo hacían era en general alrededor de 50 gramos según la imagen de referencia (Tabla 5.4-127).

Tabla 5.4-124: Frecuencia de consumo de mariscos según tipo.

Ha consumido alguno de los siguientes Mariscos el último mes.	n Total	Frecuencia Absoluta No	Frecuencia Absoluta Si	Porcenta je % No	Porcenta je % Si
Lapa	57	53	4	92,98	7,02
Piure	57	56	1	98,25	1,75
Loco	57	51	6	89,47	10,53
Clueque	57	57	0	100	0
Ostión	57	55	2	96,49	3,51
Pulpo	57	51	6	89,47	10,53
Locate	57	57	0	100	0
Mariscos en conserva	57	55	2	96,49	3,51
Huiro	57	57	0	100	0
Pelillo	57	57	0	100	0
Almeja	57	57	0	100	0
Navajuela	57	57	0	100	0
Choro Maltón	57	57	0	100	0
Choro	57	53	4	92,98	7,02

Ha consumido alguno de los siguientes Mariscos el último mes.	n Total	Frecuencia Absoluta No	Frecuencia Absoluta Si	Porcentaje % No	Porcentaje % Si
Cholga	57	56	1	98,25	1,75
Culengue	57	57	0	100	0
Apretador	57	57	0	100	0
Caracol tritón	57	57	0	100	0
Caracol rubio	57	57	0	100	0
Caracol negro	57	57	0	100	0
Caracol espiral	57	57	0	100	0
Turritella	57	57	0	100	0
Estrella negra	57	57	0	100	0
Sol de mar	57	57	0	100	0
Otro	57	52	5	91,23	8,77

Tabla 5.4-125: Frecuencia de otros mariscos u otros productos del mar, mencionados como consumidos el último mes.

Otros Mariscos u otros	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
Camarón	4	100
Total	4	100

Tabla 5.4-126: Frecuencia relativa, respecto a la frecuencia de consumo de mariscos y algas.

Frecuencia del consumo de mariscos y algas	Frecuencia Absoluta	Porcentaje%
1 sola vez al mes	9	16,07
1 vez por semana	1	1,79
2 veces al mes	11	19,64
3 veces por semana	0	0
5 veces por semana	0	0
unas pocas veces al año o menos	35	62,50
Total	56	100

Tabla 5.4-127: Frecuencia relativa, respecto al consumo según cantidad en gramos de mariscos.

Respecto de la cantidad del consumo de mariscos y algas	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
No consume	29	50,88
Figura 1 (50 gr.)	16	28,07
Figura 2 (100 gr a 150 gramos)	9	15,79
Figura 3 (mayor a 150 gramos)	3	5,26
Total	57	100

Al preguntar respecto de las prácticas de exposición, se refirió que el 61,40% de los niños (Tabla 5.4-128) solo asistía los fines de semana cuando se encontraban de vacaciones y que mayoritariamente (70%) se bañaban en la playa (Tabla 5.4-129).

Tabla 5.4-128: Frecuencia con que los encuestados refirieron que su hijo asiste a la playa

Con que frecuencia va su hijo a la playa	Frecuencia Absoluta	Porcentaje%
Solo cuando está de vacaciones, los fines de semana	35	61,40
Solo cuando está de vacaciones, todos los días	5	8,77
Solo los fines de semana	13	22,81
Rara vez va a la playa	4	7,02
Total	57	100

Tabla 5.4-129: Frecuencia con que los hijos de los encuestados nadan en la playa.

En la playa su hijo nada	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa %
No	3	5,26
Si	40	70,18
solo se mojan los pies y juegan al borde del agua	14	24,56
Total	57	100

- Estimación de la dosis de exposición

Tomando en consideración los resultados obtenidos tanto de la evaluación ambiental (calidad del agua, Tabla 5.4-93), su comparación con la norma de contacto para baño de mar (Tabla 5.4-98) y los resultados de las encuestas que muestran baja frecuencia de exposición al agua de mar (Tabla 5.4-113), no es posible generalizar la vía de exposición ingesta de agua, por lo tanto los cálculos de exposición total se hicieron contemplando solo la vía digestiva. En otras palabras, se estudió el escenario de contacto directo en playa (se midió la calidad del agua, y la frecuencia de exposición), pero los resultados obtenidos muestran que dicha vía NO es significativa por lo que el cálculo de dosis de exposición total no lo incorpora al análisis.

Las Tablas siguientes muestran los resultados de las estimaciones realizadas, considerando una exposición subcrónica en niños entre 6 y 11 años y adultos de la bahía San Jorge de Antofagasta. Se contempló **solo la exposición producto ingesta de productos del mar provenientes de la bahía de San Jorge**⁴¹. La Tabla 5.4-130 resume los supuestos utilizados para el cálculo de las exposiciones. Respecto a la ingesta accidental de agua, está se descarta debido a que su frecuencia se consideró nula.

Tabla 5.4-130: Valores utilizados para el cálculo de la Exposición.

Símbolo	Sentido (unidad)	Matriz	Valor utilizado	Referencia (Fuente, año)
C	Concentración (mg/g)	Biota	Congrio; Tabla 5.4-94	CEA, 2019
	Concentración (mg/g)		Loco; Tabla 5.4-96	CEA, 2019
TI	Tasa Ingesta Alimento (gr/día)	Peces	Adultos = 17	CIAMA, P90
			Niños= 11	
		Mariscos	Adultos= 11	
			Niños= 2	
FE	Frecuencia de Exposición (día/año) al alimento	Peces	Adultos = 52	
		Mariscos	Niños=37	
DE	Duración de Exposición (años)	-	Adultos:35	
		-	Niños= 12	
PC	Peso Corporal (Kg)	-	5 años en niños	Grupo de estudio 6 a 11 años
		-	65 años en adultos	CIAMA, P90
TP	Tiempo ponderado(días) ⁴²	-	35 Kg (Niño)	Rev Chil Nutr Vol 43, N° 2, 2016
		-	70 Kg (Adulto)	Referencia N° 17
TP	Tiempo ponderado(días) ⁴²	Alimento	1825 días en niños	Yang-Guang Gu et al., 2016 ⁴³
			20805 días en adultos	

⁴¹ La exposición por contacto directo al agua de mar en la playa no constituye riesgo debido a que los resultados analíticos mostraron agua apta para el baño y las personas no se exponen a los sedimentos estudiados, que si contaminan la biota comestible. Para mayor información ver punto c) Vías de exposición en modelo conceptual páginas 564-566.

⁴² El TP está relacionado a los años de vida en exposición, independiente del parámetro analizado.

⁴³ Yang-Guang Gu et al., Heavy metals in fish tissues/stomach contents in four marine wild commercially valuable fish species from the western continental shelf of South China Sea.

Tabla 5.4-131: Estimación de Dosis de Exposición por ingesta de peces (congrío), niños bahía San Jorge de Antofagasta.

Parámetro	C (mg/gr)	TI (gr/día)	FE (días/año)	DE (años)	PC (Kg)	TP (días)	Dosis (mg/kg/día)
Aluminio	0,00071	11	37	5	35	1825	2,26E-05
Arsénico(*)	0,0000114	11	37	5	35	1825	3,63E-07
Cadmio	0,00001	11	37	5	35	1825	3,19E-07
Cobre	0,00062	11	37	5	35	1825	1,98E-05
Cromo	0,0008	11	37	5	35	1825	2,55E-05
Hierro	0,00589	11	37	5	35	1825	1,88E-04
Litio	0,00016	11	37	5	35	1825	5,10E-06
Magnesio	0,525	11	37	5	35	1825	1,67E-02
Manganeso	0,00114	11	37	5	35	1825	3,63E-05
Mercurio	0,00014	11	37	5	35	1825	4,46E-06
Molibdeno	0,00001	11	37	5	35	1825	3,19E-07
Níquel	0,00043	11	37	5	35	1825	1,37E-05
Plomo	0,00002	11	37	5	35	1825	6,37E-07
Selenio	0,00037	11	37	5	35	1825	1,18E-05
Estroncio	0,0933	11	37	5	35	1825	2,97E-03
Vanadio	0,00005	11	37	5	35	1825	1,59E-06
Zinc	0,0198	11	37	5	35	1825	6,31E-04

(*) Concentración observada *3% = As inorgánico

Tabla 5.4-132: Estimación de dosis de exposición por ingesta de peces (congrío), adultos bahía San Jorge de Antofagasta.

Parámetro	C (mg/gr)	TI (gr/día)	FE (días/año)	DE (años)	PC (Kg)	TP (días)	Dosis (mg/kg/día)
Aluminio	0,00071	17	52	65	70	20805	2,80E-05
Arsénico(*)	0,0000114	17	52	65	70	20805	4,50E-07
Cadmio	0,00001	17	52	65	70	20805	3,95E-07
Cobre	0,00062	17	52	65	70	20805	2,45E-05
Cromo	0,0008	17	52	65	70	20805	3,16E-05
Hierro	0,00589	17	52	65	70	20805	2,32E-04
Litio	0,00016	17	52	65	70	20805	6,31E-06
Magnesio	0,525	17	52	65	70	20805	2,07E-02
Manganeso	0,00114	17	52	65	70	20805	4,50E-05
Mercurio	0,00014	17	52	65	70	20805	5,52E-06
Molibdeno	0,00001	17	52	65	70	20805	3,95E-07
Níquel	0,00043	17	52	65	70	20805	1,70E-05
Plomo	0,00002	17	52	65	70	20805	7,89E-07
Selenio	0,00037	17	52	65	70	20805	1,46E-05
Estroncio	0,0933	17	52	65	70	20805	3,68E-03
Vanadio	0,00005	17	52	65	70	20805	1,97E-06
Zinc	0,0198	17	52	65	70	20805	7,81E-04

(*) Concentración observada *3% = As inorgánico

Tabla 5.4-133: Estimación de Dosis de Exposición por Ingesta de mariscos(loco), niños bahía San Jorge de Antofagasta.

Parámetro	C (mg/gr)	TI (gr/día)	FE (días/año)	DE (años)	PC (Kg)	TP (días)	Dosis (mg/kg/día)
Aluminio	0,0141	2	12	5	35	1825	2,65E-05
Arsénico (*)	0,000666	2	12	5	35	1825	1,25E-06
Cadmio	0,011	2	12	5	35	1825	2,07E-05
Cobre	0,0175	2	12	5	35	1825	3,29E-05
Cromo	0,000096	2	12	5	35	1825	1,80E-07
Hierro	0,0612	2	12	5	35	1825	1,15E-04
Litio	0,00011	2	12	5	35	1825	2,07E-07
Magnesio	1,72	2	12	5	35	1825	3,23E-03
Manganeso	0,000983	2	12	5	35	1825	1,85E-06
Mercurio	0,0000514	2	12	5	35	1825	9,66E-08
Molibdeno	0,000106	2	12	5	35	1825	1,99E-07
Níquel	0,000098	2	12	5	35	1825	1,84E-07
Plomo	0,000698	2	12	5	35	1825	1,31E-06
Selenio	0,000465	2	12	5	35	1825	8,74E-07
Estroncio	0,00936	2	12	5	35	1825	1,76E-05
Vanadio	0,000094	2	12	5	35	1825	1,77E-07
Zinc	0,128	2	12	5	35	1825	2,40E-04
Hidrocarburo (Benceno)	0,0069	2	12	5	35	1825	1,30E-05

(*) Concentración observada *3% = As inorgánico

Tabla 5.4-134: Estimación de Dosis de Exposición por Ingesta de mariscos (loco), adultos Bahía San Jorge de Antofagasta.

Parámetro	C (mg/gr)	TI (gr/día)	FE (días/año)	DE (años)	PC (Kg)	TP (días)	Dosis (mg/kg/día)
Aluminio	0,0141	11	35	65	70	20805	2,42E-04
Arsénico(*)	0,000666	11	35	65	70	20805	1,14E-05
Cadmio	0,011	11	35	65	70	20805	1,89E-04
Cobre	0,0175	11	35	65	70	20805	3,01E-04
Cromo	0,000096	11	35	65	70	20805	1,65E-06
Hierro	0,0612	11	35	65	70	20805	1,05E-03
Litio	0,00011	11	35	65	70	20805	1,89E-06
Magnesio	1,72	11	35	65	70	20805	2,96E-02
Manganeso	0,000983	11	35	65	70	20805	1,69E-05
Mercurio	0,0000514	11	35	65	70	20805	8,83E-07
Molibdeno	0,000106	11	35	65	70	20805	1,82E-06
Níquel	0,000098	11	35	65	70	20805	1,68E-06
Plomo	0,000698	11	35	65	70	20805	1,20E-05
Selenio	0,000465	11	35	65	70	20805	7,99E-06
Estroncio	0,00936	11	35	65	70	20805	1,61E-04
Vanadio	0,000094	11	35	65	70	20805	1,62E-06
Zinc	0,128	11	35	65	70	20805	2,20E-03
Hidrocarburo (Benceno)	0,0069	11	35	65	70	20805	1,19E-04

(*) Concentración observada *3% = As inorgánico

5.4.2.3.4 Caracterización y evaluación del riesgo para la Salud Humana

Para valorar el riesgo del consumo de alimentos provenientes de la Bahía de San Jorge, se estimó a partir de los alimentos más frecuentemente consumidos por los adultos y niños. Se seleccionó un pescado (Congrio) y un marisco (Loco) y bajo el supuesto conservador de que ambos se consumen juntos se adicionaron las dosis de ingesta estimada de contaminantes para cada uno de ellos. Se calcularon los índices de peligro de efectos sistémicos (IP) para todos los contaminantes, aunque estuvieran por debajo de los límites aceptables por el Reglamento Sanitario de los Alimentos y el riesgo incremental de cáncer para arsénico e hidrocarburos (benceno). Ambos contaminantes con efecto conocido cancerígeno, es importante establecer que sólo se identificó presencia de hidrocarburos en el molusco Loco, dicho contaminante no fue identificado (bajo límite de detección) en pescados. El otro cancerígeno corresponde al cromo hexavalente, que no se midió, siendo el cromo trivalente un micronutriente, no se contempló analizar como cancerígeno al cromo total. El níquel vía inhalatoria es cancerígeno. Ninguno de los otros contaminantes medidos está catalogado como carcinogénico humano por la IARC .

Las dosis ingeridas por niños y adultos, tomando en cuenta el percentil 90 de tasa de ingesta y de frecuencia de la ingesta, en general mostraron valores de IP menores a 1, por lo que de dicho consumo no se espera tener efectos negativos sobre la población. Para los adultos, se obtuvo un valor del índice de peligro mayor a 1 para el Cadmio, por lo que los habitantes de la Comuna de Antofagasta presentan riesgo de tener efectos crónicos asociados a la ingesta de dicho parámetro.

Tabla 5.4-135: Tabla Índice de Peligro exposición por metales bahía San Jorge (niños). Escenario de exposición Congrio y loco.

Parámetro	Dosis Total (mg/kg/día)	Dosis Referencia (mg/kg/día)	IP
Aluminio	4,91E-05	1,00E+00	0,00
Arsénico (*)	1,61E-05	3,00E-04	0,05
Cadmio	2,10E-05	1,00E-04	0,21
Cobre	5,26E-05	1,00E-02	0,01
Cromo	2,57E-05	9,00E-04	0,03
Hierro	3,03E-04	8,00E-01	0,00
Litio	5,30E-06	2,00E-03	0,00
Magnesio	2,00E-02	6,00E+00	0,00
Manganeso	3,82E-05	3,00E-02	0,00
Mercurio	4,56E-06	6,00E-03	0,00
Molibdeno	5,18E-07	8,00E-03	0,00
Níquel	1,39E-05	7,00E-03	0,00
Plomo	1,95E-06	1,00E-02	0,00
Selenio	1,27E-05	5,00E-03	0,00
Estroncio	2,99E-03	2,00E+00	0,00
Vanadio	1,77E-06	1,00E-02	0,00
Zinc	8,71E-04	3,00E-01	0,00
Hidrocarburo	1,30E-05	5,00E-04	0,03

(*) Concentración observada *3% = As inorgánico

Tabla 5.4-136: Tabla Índice de Peligro exposición por metales bahía San Jorge (adultos). Escenario de exposición Congrio y loco.

Parámetro	Dosis Total (mg/kg/día)	Dosis Referencia (mg/kg/día)	IP
Aluminio	2,70E-04	1,00E+00	0,00
Arsénico (*)	1,19E-04	3,00E-04	0,40
Cadmio	1,89E-04	1,00E-04	1,89
Cobre	3,25E-04	1,00E-02	0,03
Cromo	3,32E-05	9,00E-04	0,04
Hierro	1,28E-03	8,00E-01	0,00
Litio	8,20E-06	2,00E-03	0,00
Magnesio	5,03E-02	6,00E+00	0,01
Manganeso	6,19E-05	3,00E-02	0,00
Mercurio	6,41E-06	6,00E-03	0,00
Molibdeno	2,22E-06	8,00E-03	0,00
Níquel	1,86E-05	7,00E-03	0,00
Plomo	1,28E-05	1,00E-02	0,00
Selenio	2,26E-05	5,00E-03	0,00
Estroncio	3,84E-03	2,00E+00	0,00
Vanadio	3,59E-06	1,00E-02	0,00
Zinc	2,98E-03	3,00E-01	0,01
Hidrocarburo	1,19E-04	5,00E-04	0,24

(*) Concentración observada *3% = As inorgánico

El riesgo incremental de cáncer para arsénico y benceno fue del orden de 2 casos por cada diez mil expuestos para el primero y de 2 casos por cada millón de expuesto en el segundo, siendo este último catalogado como poco significativo, tomando en consideración la población de la Comuna de Antofagasta es de 361.873 habitantes⁴⁴.

Tabla 5.4-137: Riesgo incremental de Cáncer por ingesta Arsénico e Hidrocarburo (benceno) en biota proveniente de la Bahía de San Jorge, Antofagasta

Parámetro	Dosis (mg/kg/día)	Cáncer Slope Factor	ILCR
Arsénico (*)	1,19E-04	1,5**	1,78E-04
Hidrocarburo	1,19E-04	0,015***	1,78E-06

(*) Concentración observada *3% = As inorgánico

(**) EPA IRIS cancer slope factor of 1,5 mg/kg/day

(***) Hidrocarburo (benceno): Tabla 9 de <https://cfpub.epa.gov/ncea/pprtv/documents/TotalPetroleumHydrocarbonsAromaticLow.pdf://cfpub.epa.gov/ncea/pprtv/documents/TotalPetroleumHydrocarbonsAromaticLow.pdf>

⁴⁴ Resultados CENSO 2017, INE. <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R02>

5.4.2.3.5 Análisis de incertidumbre

La evaluación de riesgo tiene incertidumbres inherentes al grado de avance del conocimiento científico, información toxicológica y epidemiológica de los efectos de los contaminantes sobre el organismo humano; incertidumbre a causa de las dificultades en la estimación de la exposición (limitación en el conocimiento de los factores que determinan la exposición), así como a las limitaciones de la caracterización del riesgo (conocimiento del riesgo basal de la localidad en donde se realiza la evaluación de riesgo).

Respecto del conocimiento científico sobre los efectos de los contaminantes evaluados, metales pesados, existe amplia información pública, y para los compuestos detectados en la principal ruta de exposición, que está relacionada con el contacto con agua, el conocimiento acumulado es suficiente y de larga data. Por este motivo la incertidumbre que pudiera existir frente a la exposición a metales e hidrocarburos se minimiza bastante pues existen estudios toxicológicos y epidemiológicos que describen los principales efectos sobre la salud humana de su exposición.

La estimación de la exposición también suele ser una fuente de incertidumbre importante. En este caso se utilizaron tasas de ingesta observadas por medio de encuesta, en la población en estudio. Las encuestas tienen distinto grado de robustez. La aplicada en Antofagasta, corresponde a una muestra representativa, tanto por el tamaño muestral como por la selección al azar de viviendas. Con un poder estadístico de al menos 95% de confianza, sin embargo, la representación de menores no alcanzó dicho nivel de confianza por las dificultades del terreno imperante a fines del año pasado y durante el actual.

Se utilizaron dos factores de ajuste, que reducen la exposición. Uno la creación de un factor de ajuste del consumo sobre la base de la selección de alimentos enlatados referidas por la persona y o un factor de biodisponibilidad del arsénico inorgánico en alimentos de mar publicado en la literatura que disminuyen la absorción, para corregir la ausencia de especiación en el caso del arsénico.

5.4.2.3.6 Conclusiones y discusión

Este estudio tuvo por finalidad dar respuesta a la inquietud de las autoridades, respecto de un posible impacto sobre la salud de la población de Antofagasta frente a la exposición a contaminantes presentes en el agua y los alimentos (peces, crustáceos, mariscos, etc.) producidos por la bahía San Jorge.

Para responder esta pregunta se llevó a cabo un diagnóstico de situación de salud de la población y una estimación del riesgo frente a la exposición de sus habitantes.

Se estimaron las dosis totales de ingesta de metales presentes en el agua y alimentos provenientes de la bahía, por medio de la estimación de ingesta a través de escenarios de

exposición dado por el consumo diario de pescados, mariscos y crustáceos provenientes de la misma bahía.

La situación de salud de la población de Antofagasta se caracteriza por presentar tasas elevadas, en comparación al resto del país de cánceres relacionados con la exposición histórica a agua con presencia de arsénico. Desde el año 1973 que el agua potable de Antofagasta cumple con las normas nacionales e internacionales respecto de la cantidad de arsénico. A pesar de que tasas de incidencia de cáncer han ido disminuyendo con el tiempo, se mantienen entre las más altas del país y su mortalidad supera a las enfermedades cardiovasculares, que es el patrón habitual de Chile

La dieta, especialmente los mariscos, es la principal fuente de exposición al arsénico para los humanos, que no están expuestos habitualmente a agua con presencia de arsénico. El contenido total de arsénico de una dieta ofrece información inadecuada para evaluar las consecuencias toxicológicas de la ingesta de arsénico, lo que ha impedido el progreso en el establecimiento de límites reglamentarios para el arsénico en los alimentos. Las evaluaciones de toxicidad se basan principalmente en arsénico inorgánico, un carcinógeno bien caracterizado, y arsenobetaína, el principal organoarsénico en mariscos. La escasez de datos de toxicidad para los compuestos organoarsénicos, y el predominio de la arsenobetaína como una especie de arsénico orgánico en los mariscos, ha llevado a suponer que no son tóxicos. Sin embargo, estudios toxicocinéticos recientes muestran que algunos compuestos organoarsénicos son bioaccesibles y citotóxicos con toxicidades demostradas como la del arsénico inorgánico trivalente pernicioso, lo que respalda la necesidad de un análisis de especiación. Es evidente la necesidad de investigar y comparar la biodisponibilidad, la transformación metabólica y la eliminación del cuerpo de los compuestos órganos arsenicales (Luvonga, 2020).

El consumo humano de proteínas de pescado, incluido el atún enlatado, está aumentando constantemente en todo el mundo. Sin embargo, existen algunas preocupaciones sobre la posible exposición a concentraciones elevadas de metales en el atún enlatado. Se han realizado varios estudios en Irán con respecto a la concentración de metales en los mariscos, incluido el cobre (Cu), selenio (Se), hierro (Fe), zinc (Zn), mercurio (Hg), plomo (Pb), cromo (Cr), arsénico (As), níquel (Ni), estaño (Sn) y cadmio (Cd) en atún enlatado. Un estudio realizó un metaanálisis de las concentraciones agrupadas de metales para evaluar sus riesgos no cancerígenos y cancerígenos en consumidores de niños y adultos. Se encontró, en orden de clasificación de los metales basado en las concentraciones medias ($\mu\text{g} / \text{g}$ de peso húmedo) fueron Fe (13.17) > Zn (9.31) > Se (2.23) > Al (1.8) > Cr (1.63) > Cu (1.52) > **As (0.38)** > Ni (0.33) > Pb (0.24) > Cd (0.14) > Hg (0.11) > Sn (0.1). Excepto por el Cd y el Se, las concentraciones de otros metales en el atún enlatado fueron inferiores a los límites recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y las Normas Nacionales de Irán Organización (INSO). El cociente de riesgo objetivo mínimo y máximo (THQ) para adultos fue $5.55\text{E}-5$ para Al y

2.23E-08 para Cr. Para los niños, fueron 7.23E-05 para Al y 2.91E-08 para Cr. THQ y el cociente de riesgo objetivo total (TTHQ) fueron ≤ 1.0 para consumidores adultos y niños. El riesgo de cáncer incremental de por vida (ILCR) de As fue 3.21E-5 en adultos y 4.18E-5 en niños. Los adultos y niños que consumen atún enlatado en Irán no corren un riesgo asociado al cancer, pero tienen un riesgo cancerígeno debido al As (Rahmani, 2018).

Los resultados de la evaluación de riesgo en la Bahía San Jorge, en particular el índice de peligro (IP) en distintos elementos, destaca el cadmio, que es el único en poseer un índice de peligro de exposición mayor a 1. Por otro lado, se tiene bajos niveles de riesgo incremental de cáncer atribuible a la ingesta de biota proveniente de la Bahía de San Jorge. Con respecto al arsénico se tuvo un ILCR de 1,78E-04, mientras que para el benceno fue de 1,78E-06, es decir, del orden de 2 casos por cada diez mil expuestos y 2 casos por cada millón de expuesto. Este último es catalogado como poco significativo, tomando en consideración la población de la Comuna de Antofagasta es de 361.873 habitantes. Si todos los casos de cáncer asociados al arsénico fueran fatales, correspondería al 8% de las muertes totales por cáncer en la Región, que corresponden a 849 considerando la estadística del año 2016.

Sin embargo, la evidencia de salud del diagnóstico situacional indica que Antofagasta presenta niveles de cánceres por sobre el estimado nacional, por lo que descartar fehacientemente riesgo proveniente de la alimentación requiere de mayores estudios: tales como:

- Completar la evaluación de riesgo integral, incorporando otros habituales alimentos de la dieta de los antofagastinos y sumar la exposición proveniente del polvo sedimentable y del aire.
- Realizar estudios de especiación de los metales en las principales vías de exposición.
- Estudiar el contenido de metales de los alimentos enlatados consumidos por la población
- Realizar un estudio de la biodisponibilidad de los metales presentes en la biota comestible de la bahía de Antofagasta.
- Establecer Sistema de Diagnóstico precoz de los principales cánceres presentes en Antofagasta: pulmón, piel y vejiga urinaria, entre otros.

5.4.3 Integración del ERE y ERSH

Como resultado de la evaluación del riesgo ecológico (ERE), se destacan los altos cocientes de riesgo para los sedimentos según todos los criterios considerados (Tabla 5.4-71), teniéndose que para los metales analizados: arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc, las probabilidades de que exista un riesgo sobre los organismos sensibles para la matriz sedimento son mayores al 50%. Sin embargo, esta probabilidad para los mismos metales en la matriz agua, tiene valores mucho menores sin superar el 34%.

Por otro lado, a partir de los resultados de la evaluación de riesgo para la salud humana (ERSH), según los resultados tabulados en la Tabla 5.4-136 y Tabla 5.4-137, se destacan dos elementos en los que se debe tener un cuidado especial. El primero corresponde al cadmio, que es el único en poseer un índice de peligro de exposición mayor a 1, y el segundo elemento corresponde al arsénico, el cual presenta un riesgo incremental de cáncer.

De estos resultados, poniendo especial atención en el cadmio y arsénico como riesgo para la salud, y considerando los altos cocientes de riesgo ecológico en sedimentos, surge la necesidad de estudiar la dinámica fuente-sumidero de los sedimentos respecto a la columna de agua.

Los sedimentos marinos son el depósito final de las sustancias producidas en las aguas superficiales y de aquellas introducidas al mar por procesos naturales y antrópicos. Dependiendo de las variaciones físicas y químicas del ambiente de depositación, estos sedimentos pueden actuar como sumidero o fuente de una serie de sustancias que modifican las propiedades naturales de la columna de aguas y la trama trófica marina. Por tal motivo, el conocimiento de las propiedades y composición de los sedimentos de fondo permite evaluar la condición de los ambientes marinos y reconocer eventuales perturbaciones derivadas de la acumulación de sustancias antropogénicas y naturales que puedan constituir riesgos para la salud del ecosistema (Valdés & Siffedine, 2009).

En la columna de agua las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio y plomo disuelto se presentan en general, bajo los límites de detección o en concentraciones muy pequeñas, las cuales no superan los niveles de calidad. Mientras que las concentraciones de zinc disuelto presentan valores cuantificables, pero igualmente bajo los criterios. Con lo anterior, se espera que estos elementos no generen efectos funcionales negativos debido a las bajas concentraciones en la columna de agua, lo cual representaría un bajo riesgo para organismos sensibles.

No ocurre lo mismo para el caso de la matriz sedimentaria, por cuanto las concentraciones dan cuenta de superaciones en las normas evaluadas destacándose el cobre, plomo y zinc, por sobre el arsénico, vanadio y mercurio. El cobre, plomo y zinc constituyen los principales productos de la actividad minera que son almacenados y exportados, como concentrado y otras formas, a través de los dos puertos existentes en la bahía (Valdés et al. 2012), por lo que es de esperar encontrar concentraciones más altas en relación con otros metales. De

acuerdo con estudios previos, las concentraciones promedio de cobre, plomo y zinc en este estudio son superiores a lo reportado en Valdés et al. 2012, lo cual sugiere un aumento en las concentraciones de estos metales en los sedimentos de la Bahía San Jorge durante los últimos años.

La distribución de las concentraciones de metales en la bahía de San Jorge registra los máximos valores en los puntos de muestreo BSJ-04, BSJ-05, BSJ-06 y BSJ-07, los cuales se encuentran ubicados en los sectores con mayores tasas de retención. Debido a la orientación hacia el Sur, las corrientes y forzante de vientos sur y suroeste, se generan zonas de baja energía (Valdés et al. 2012) y alta tasa de retención que favorecen las condiciones para la sedimentación y depositación de material suspendido en el fondo, para luego estar disponible en el sistema dependiendo de las condiciones de óxido-reducción. Con lo anterior, los sedimentos en bahía San Jorge podrían actuar como posibles fuentes temporales de contaminantes hacia la columna de agua, ya que los metales no quedarían permanentemente cautivos en los sedimentos y podrían ser liberados por cambios en las condiciones de pH, potencial Redox y oxígeno disuelto.

5.5. Objetivo Específico 4 (OE-4)

OE-4: Proponer medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo

Como resultado de la evaluación del riesgo ecológico (ERE), se destaca un alto contenido de metales pesados en sedimentos, mientras que a partir de los resultados de la evaluación de riesgo para la salud humana (ERSH), se destacan dos elementos en los que se debe tener un cuidado especial. El primero corresponde al cadmio, que es el único en poseer un índice de peligro de exposición mayor a 1, y el segundo elemento corresponde al arsénico, el cual presenta un riesgo incremental de cáncer.

Muchos de estos elementos tienen su origen en las descargas de contaminantes en la bahía a lo largo del desarrollo de la región, por lo cual surge la necesidad de crear medidas de mitigación y evitar que los riesgos identificados se mantengan o aumenten. A continuación, se proponen medidas de solución y una cartera de proyectos propuesta, donde se especifican sus alcances técnicos y costos de inversión asociado.

5.5.1. Identificación de medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo.

De acuerdo con los resultados relacionados al funcionamiento ecosistémico, uno de los factores fundamentales de las condiciones del estado de los ecosistemas litorales es la concentración de metales en la columna de agua y en los sedimentos. En el caso de la bahía San Jorge, esta alta concentración es consecuencia de la actividad industrial desarrollada en la zona, la cual en algunos casos se desarrolla con bajo estándar ambiental y promueve la acumulación de sedimentos con alta concentración de sedimento en el fondo marino. Para atenuar este riesgo, se identifican las siguientes medidas de gestión:

- i) Respecto de los metales debe mantenerse un seguimiento estricto en los procesos industriales. En la Bahía, dada las condiciones actuales en el sedimento, se deben ahondar esfuerzos en evitar que la industria genere aportes de metales a los ecosistemas marinos, ya que, dada las características del sedimento, rico en metales en bahía San Jorge.
- ii) Una medida inmediata puede ser de tipo mecánico, como sería realizar un dragado de las zonas más afectadas y descargar los sedimentos fuera bahía San Jorge. Esto evitaría mantener niveles altos de metales en los sedimentos. Desde la misma mirada, también existe el proceso inverso que consiste en encapsular los sedimentos (capping), incorporando sobre el lecho marino superficial una capa de sedimento limpio, de modo tal que elimine las posibles vías de exposición con el medio. Sin embargo, ambos procesos si bien poseen un impacto en el corto plazo, no se estaría eliminando los residuos por lo tanto en el mediano a largo plazo el problema volverá a estar presente.

5.5.2. Propuesta de medidas de gestión idóneas.

La Tabla 5.5-1 muestra las ventajas y desventajas de las medidas de gestión propuestas. Estas han sido ordenadas en base a su impacto, costo y complejidad en su ejecución. De esta tabla es importante señalar que las cuatro primeras medidas apuntan a la reducción inmediata de contaminantes en la bahía. La cuarta medida se enfoca en mejorar la normativa actual enfocándose en las tasas de ingreso de masa más que en las concentraciones, pues esto último presupone que el mar posee una dilución infinita, lo cual no es del todo cierto si la circulación es baja, lo cual cualquier residuo tenderá a depositarse en el sedimento, matriz sensible en Bahía San Jorge.

Tabla 5.5-1 Cuadro comparativo de medidas de gestión propuestas en Bahía San Jorge. Fuente: Elaboración propia

Nº	Medida de gestión	Ventajas	Desventajas	Impacto (Efectividad)	Costo	Complejidad
1	Dragado de sedimentos	Se eliminaría en el corto plazo la mala calidad de los sedimentos en Bahía San Jorge, al eliminar el material orgánico fangoso que fija los contaminantes.	Alto costo desde el punto de vista de ejecución, además el problema en el mediano a largo plazo seguiría latente a menos de adoptar una reducción del material orgánico de los RILES.	Bajo	\$\$\$	Baja
2	Encapsulado de sedimentos	Se eliminaría en el corto plazo la mala calidad de los sedimentos en Bahía San Jorge, al tapar la vía de exposición de los organismos bentónicos a la actual materia orgánica con contaminantes.	Alto costo desde el punto de vista de ejecución, además el problema en el mediano a largo plazo seguiría latente a menos de adoptar una reducción del material orgánico de los RILES.	Bajo	\$\$\$	Baja
3	Reducción de emisión metales	La reducción de metales reduciría los potenciales efectos nocivos sobre la materia orgánica en el sedimento.	La materia orgánica ya presenta niveles de metales fijados, por lo cual esta medida por si sola no es efectiva.	Bajo	\$\$\$	Alta

5.5.3. Recomendaciones y conclusiones.

No obstante a lo anterior, y como medidas complementarias que busquen desarrollar una Evaluación de Riesgo Ecológica definitiva enfocada al problema en Bahía San Jorge, se propone lo siguiente:

- **Monitoreo en tiempo real de variables centrales del funcionamiento ecosistémico;** Medir un grupo de variables de valor ecosistémico, en tiempo real, que permita

visualizar las oscilaciones diurnas-nocturnas y estacionales del funcionamiento ecosistémico, entre ellas la clorofila, oxígeno, temperatura, salinidad en perfiles de profundidad. Esto requiere de sensores que puedan medir las variables en varios niveles de profundidad, mediante boyas o sistemas anclados a muelles. Lo anterior es de suma utilidad para mejorar el entendimiento del funcionamiento del ecosistema, lo que permitirá tomar mejores medidas desde el punto de vista del riesgo ecológico, como también ejecutar a tiempo posibles medidas de abatimiento ante potenciales emergencias ambientales que puedan suceder en puertos.

- **Monitoreo sistematizado e integrado aducciones y descargas en la bahía para los flujos de materiales que ingresan a los ecosistemas marinos;** esto significa mejorar la forma en que la industria informa sus emisiones, en lo posible sea en tiempo real, o en su defecto intervalos de tiempo máximo mensual, que permitan detectar las oscilaciones de las descargas y su composición química. Esto debe realizarse para todas las industrias que descargan RILES de acuerdo a la normativa vigente, de manera tal de que toda la industria informe de la misma forma, según una misma estructura sistematizada, de modo tal de generar una base de datos ordenada y oficializada.
- **Plataforma de Información Ambiental Integrada para la Bahía;** Entregar en una plataforma digital la información original, ordenada, correctamente sistematizada, y actualizada a nivel mensual, accesible a la comunidad. Así como los resultados de la información regulada por los sistemas de regulaciones asociados al medio ambiente. Esto permitirá analizar de forma rápida la información, como también detectar a tiempo datos atípicos informados por las empresas.

5.5.4. Elaboración de una cartera de proyectos

5.5.4.1. *Términos de referencia “Implementación de plataforma de gestión ambiental para la Bahía San Jorge, Antofagasta”*

5.5.4.1.1. Antecedentes y justificación

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. En esta región se localiza la Bahía San Jorge entre los sectores de Punta Jorge y Punta Coloso, entre las coordenadas 334.708 E y 7.399.428 N, y 349.927 E y 7.371.645 N.

En la Bahía San Jorge se ubica la ciudad de Antofagasta, asentamiento humano más importante del norte de Chile. Esta ciudad, de 361.873 habitantes tiene como principal actividad económica la carga de productos minerales (principalmente cobre) y el intercambio de otras mercaderías generadas en Chile y los países vecinos. En esta bahía se ubican dos puertos: el puerto Coloso (al sur de la ciudad), propiedad de Minera Escondida Ltda. en donde se almacena y carga concentrado de cobre y donde, además, se encuentran ubicadas dos plantas desalinizadoras de agua de mar utilizadas en los procesos de electro obtención de cátodos de cobre; y el puerto Antofagasta que atiende principalmente a la industria minera y cuya área de influencia tiene alcance en las regiones de Antofagasta y Atacama y parte del noroeste de Argentina y suroeste de Bolivia. Entre las operaciones de mayor riesgo ambiental, está la carga y descarga de graneles, que eventualmente puede ocasionar fugas hacia la matriz acuosa poniendo en riesgo la vida acuática. A pesar que este tipo de operaciones no involucra descargas permanentes en el medio acuático, sus actividades representan riesgos operativos que pueden terminan con derrames de poca magnitud.

Así, Antofagasta y su costa, constituye un sistema ambiental con un fuerte componente antrópico, donde históricamente se ha desarrollado una industria enfocada a la minería y a los procesos de transferencia de agentes potencialmente contaminantes, lo que conlleva a suponer la existencia de pasivos ambientales en el sedimento marino. Por lo anterior, diversos estudios científicos y técnicos han sido desarrollados en la zona como el “Estudio de levantamiento de información para el control ambiental en la bahía de San Jorge” código BIP 30059576 y “Análisis de Riesgo Ambiental en Bahía San Jorge, Antofagasta”, código BIP 30130908-0. A partir de estos y otros estudios, fue posible identificar los elementos contaminantes que exceden los umbrales máximos permitidos por las normas nacionales e internacionales y los sectores de mayor incidencia. Asimismo, como resultado de la evaluación del riesgo ecológico (ERE), se destaca un alto contenido de metales pesados en sedimentos, mientras que a partir de los resultados de la evaluación de riesgo para la salud humana (ERSH), se destacan dos elementos en los que se debe tener un cuidado especial. El primero corresponde al cadmio, que es el único en poseer un índice de peligro de

exposición mayor a 1, y el segundo elemento corresponde al arsénico, el cual presenta un riesgo incremental de cáncer.

Muchos de estos elementos tienen su origen en las descargas de contaminantes en la bahía a lo largo del desarrollo de la región, por lo cual surge la necesidad de crear medidas de mitigación y evitar que los riesgos identificados se mantengan o aumenten.

Debido al riesgo existente y tras la información recopilada, se hace necesario el desarrollo de un programa que permita mantener la obtención de información continua y oportuna sobre el estado ambiental de la bahía y los riesgos provocados por las fuentes contaminantes presentes, de modo de facilitar la toma de decisiones en el ámbito medioambiental. Asimismo, se requiere fortalecer la normativa existente, de modo de controlar de manera eficiente la actividad antrópica desarrollada en la bahía. Todo lo anterior, en un trabajo coordinado entre actores públicos y privados de forma de tal de asegurar la sustentabilidad de la bahía, la calidad de vida de los habitantes de Antofagasta y la sostenibilidad de la actividad minera e industrial, factor clave para la sustentabilidad de la región.

5.5.4.1.2. Políticas sectoriales generales y/o específicas, marco institucional y planes regionales de gobierno

- **Plan de Desarrollo Comunal de Antofagasta (Pladeco) 2013-2022:** dentro de los lineamientos estratégicos de este plan se encuentra *“Crecimiento sustentable con capital humano”*, lineamiento donde se incluyen como objetivos *“El desarrollo productivo de Antofagasta será sustentable, aprovechando los recursos del territorio comunal”* y *“La comuna contará con un borde costero sin contaminación”*. Asimismo, se establece el lineamiento *“Antofagasta conectada e integrada”*, donde se señala como objetivo *“La comunidad ha adquirido hábitos de cuidado ambiental y cuida su ciudad”*. A través de este programa, se generará una normativa que regule la descarga de elementos contaminantes en el territorio, además de apoyar la toma de decisiones informada en el ámbito medioambiental favoreciendo la sustentabilidad y sostenibilidad de las actividades productivas y económicas de la comuna, todo ello complementado con la sensibilización y concientización de la población.
- **Plan Región Antofagasta 2018-2022:** dentro de las prioridades regionales de este plan, se encuentra el desarrollo territorial y calidad de vida de la comuna y la región, incluyendo acciones para la recuperación ambiental y la recreación de la comunidad. La implementación de este programa, permitirá contar con información permanente que sirva de base para el desarrollo de acciones complementarias a las ya definidas, en pro de la calidad ambiental de la comuna y la calidad de vida de sus habitantes.

- **Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020:** en este instrumento, aún vigente, se incluye el “Lineamiento N°3: Región Sustentable” cuyo propósito es “*Asegurar la sustentabilidad ambiental y territorial a través de un sistema regional de planificación de los recursos hídricos y energéticos y de protección de la biodiversidad, acorde con el marco geográfico, socioeconómico y cultural de la Región de Antofagasta*”. Dentro de las acciones definidas para el logro de este propósito se encuentran “*Evaluar las acciones y/o proyectos productivos desde una perspectiva integral, teniendo en consideración su impacto en la biodiversidad, la capacidad de recuperación de los ecosistemas naturales, los asentamientos poblacionales y la actividad productiva existente*”. En este sentido, la contribución de este programa estará dada por la implementación de una red que proveerá de información oportuna para la toma de decisiones considerando una perspectiva medioambiental.
- **Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta (2002) y Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030:** La estrategia regional 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 “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. Respecto de esta estrategia, cabe señalar que si bien fue evaluada en 2015 no cuenta con una versión actualizada. Sin embargo, en 2017 se presenta la “Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030”, de alcance país y cuyos objetivos estratégicos incluyen “*Desarrollar la conciencia, la participación, la información y el conocimiento sobre la biodiversidad, como base del bienestar de la población*”, el cual considera el desarrollo de una red de monitoreo de la biodiversidad terrestre y acuática tanto continental como marina; el desarrollo de mecanismos institucionales para la investigación, monitoreo y evaluación del estado de la biodiversidad marina y costera del país; y la educación y difusión permanente en materias de conservación marina. Asimismo, se define el objetivo “*Promover el uso sustentable de la biodiversidad para el bienestar humano, reduciendo las amenazas sobre ecosistemas y especies*”, el cual considera la aplicación de mecanismos públicos y privados de incentivo a prácticas productivas sustentables en las actividades que afectan a los ecosistemas y las especies en el ámbito marino e islas oceánicas. La contribución a estos objetivos por parte de este programa, estará dada por la implementación de una red de monitoreo de la Bahía cuya información podrá ser utilizada para la toma de decisiones y la generación de instrumentos y políticas para su conservación y uso sustentable. Asimismo, se contempla el desarrollo de capital

humano y social para lo cual se considera capacitación a los usuarios de la información además de difusión a toda la comunidad.

- Ley N° 19.175. Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional, que mandata a los Gobiernos Regionales "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". 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.

5.5.4.1.3. Análisis y/o referencia de la información bibliográfica

Antofagasta y su costa constituyen un sistema ambiental con un fuerte componente antrópico, donde históricamente se ha desarrollado una industria enfocada a la minería y a los procesos de transferencia de agentes potencialmente contaminantes, lo que conlleva a suponer la existencia de pasivos ambientales en el sedimento marino. Si bien en la actualidad se han incorporado nuevas tecnologías que permiten disminuir o eliminar la incorporación de materiales potencialmente contaminantes, siguen existiendo procesos antrópicos que no estarían siendo cuantificados desde el punto de vista del impacto ambiental, como son por ejemplo las descargas puntuales a través de emisarios submarinos.

Así, la bahía San Jorge ha sido ampliamente estudiada a nivel científico y técnico. El estudio "Levantamiento de información para el control ambiental de la bahía de San Jorge, código BIP 30059576 ejecutado entre los años 2007 y 2010, evaluó la calidad ambiental de San Jorge en base al análisis e integración de las tres principales matrices ambientales: sedimentos, agua y comunidades biológicas. Dentro de las conclusiones de este estudio, se establece que las aguas de la bahía San Jorge cumplen con la Norma Primaria vigente a esa fecha en el territorio, de manera que son aptas para uso recreacional con contacto directo.

Puntualmente, se observaron evidencia de niveles de Cu, Zn y Pb en las aguas de la bahía, que, si bien no sobrepasaban la Norma de Calidad Primaria para Aguas Marinas y estuarinas, sugerían un aporte desde los puestos de embarque de minerales. Así, Coloso y Puerto Antofagasta, serían áreas en donde se evidencia el impacto de la actividad industrial dentro de la bahía.

Asimismo, se estableció que los sedimentos de la bahía San Jorge presentaron cargas importantes de metales pesados, siendo una parte de ellos consecuencia de los aportes naturales producidos en el ambiente marino. Sin embargo, existían metales como el Cu, Zn y Pb que evidenciaron un enriquecimiento asociado a la actividad de embarque de minerales que se desarrolla en la bahía. Los sectores que evidenciaron este enriquecimiento corresponden a Coloso Puerto Antofagasta y Petroleras.

Finalmente, el contenido de metales en los organismos bentónicos submareales e intermareales fue muy variable. Sin embargo, al igual que en el caso de los sedimentos, los sectores con concentraciones mas altas correspondieron a Coloso, Puerto Antofagasta y Las Petroleras. Se observó en algunos sectores procesos de biomacumulación de metales en diferentes especies de organismos (algunos de ellos de importancia comercial), lo que sugiere la necesidad de realizar estudios de riesgo ecológico para evaluar el real impacto sobre estas comunidades bentónicas y la salud humana.

Como se puede observar, este y otros estudios entregaron información sobre el estado ambiental de la bahía. Sin embargo, no existía información sobre el impacto que generarían los contaminantes presentes sobre los sistemas ecológicos de la bahía y el efecto en la salud de las personas a través de las vías de exposición (dérmica, consumo de agua e ingestión de recursos de mar). Es así como en 2017 se inicia el proyecto “Análisis de Riesgo Ambiental en Bahía San Jorge, Antofagasta” código BIP 30130908-0 cuyo objetivo fue identificar niveles de impacto ambiental a consecuencia de la existencia de sustancias potencialmente contaminantes en la bahía San Jorge, Antofagasta, para luego realizar una evaluación de riesgo ecológico (ERE) y de riesgo para la salud humana (ERSH).

A partir de este estudio, es posible señalar que la columna de agua de la bahía San Jorge, en términos de los parámetros de condición instantánea tales como DBO5, oxígeno disuelto, pH, Potencial Redox y temperatura no presentaron una variación temporal definida. La totalidad de los registros históricos están dentro de los límites sugeridos por el D.S. N°144/2009, EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration) y CCME/2007 (Canadian Council of Ministers of the Environment).

Entre los parámetros definidos como “otros de interés ambiental”, destacan los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales que presentaron una tendencia a la disminución dentro de los últimos años de monitoreo. Los valores más elevados de concentración se registraron entre Puerto y Centro de Bahía.

Considerando los agentes contaminantes no metálicos, el ion amonio presentó una tendencia de disminución luego de un peak de concentración entre 1997 y 1998, con valores gradualmente menores hasta la actualidad. En el caso de los hidrocarburos totales de petróleo todos los registros están por debajo de diversos límites de detección (<1,0 y <10 mg/L), por lo tanto, no se puede analizar variación temporal. Al igual que los “otros parámetros de interés ambiental”, las mayores concentraciones se registraron entre el sector Puerto y Centro de Bahía.

Por otra parte, en lo que se refiere a los nutrientes, el nitrógeno en su forma oxidada como nitrato no presentó grandes variaciones, manteniéndose constante la concentración con un peak en el año 2004. En el caso del fósforo total se observó un patrón de disminución, con concentraciones más altas durante 1994.

Las concentraciones de bacterias coliformes fecales y coliformes totales no presentaron un patrón definido, solo concentraciones mayores en el período 1995-1996. El 1,76% de los registros históricos superan el valor máximo establecido en la normativa nacional por el D.S. N°144 del 2009 para coliformes fecales en agua marina.

El análisis de la variación temporal histórica de las concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua de la bahía San Jorge arrojó que las fracciones totales de cobre, cromo, plomo y zinc presentaron un patrón de disminución, donde los valores más elevados se registraron entre los años 1993 y 2003. Los registros de cobre disuelto mostraron un aumento de las concentraciones desde el año 2014. Por otro lado la fracción disuelta de zinc presentó un patrón de ciclicidad, donde las concentraciones más elevadas se registraron en 2007 y 2010. En el caso del plomo y cromo disueltos, los valores más elevados se registraron entre 2007 y 2008. Las fracciones totales y disueltas de mercurio se mantienen estables en el tiempo, mientras que las de arsénico y cadmio mostraron que no existe un patrón histórico definido.

En cuanto a la variación espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones de arsénico disuelto y total, cromo disuelto, hierro disuelto y zinc total se presentaron en el sector Puerto. Asimismo, en el caso del cadmio total, cobre disuelto y total, cromo total, mercurio disuelto, plomo total y zinc disuelto los mayores registros se presentaron entre los puntos de referencia 3-Puerto y 4-Centro de Bahía. Finalmente las concentraciones más elevadas de cadmio y plomo disuelto se registraron a lo largo de toda la bahía San Jorge, entre Coloso y La Rinconada.

En relación con los umbrales máximos permitidos por las normas nacionales e internacionales analizadas para metales en la columna de agua, se observó que las fracciones disueltas de cadmio, cobre, mercurio y zinc registran un alto porcentaje de excedencia en algunos de estos umbrales. En el caso de la normativa canadiense CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007) se observó que el 54,1% de los

registros históricos de cadmio superaron el límite máximo. Igualmente se registró que la norma de Australia y Nueva Zelanda (2000) fue sobrepasada por un 92,0% de los registros de cobre y un 3,21% de los valores de zinc. El criterio EPA WQG/2009 CCC (concentración más alta ante la cual en una comunidad acuática puede estar expuesta indefinidamente sin que ello resulte en un efecto inaceptable) fue superado por un 19,0% de los registros de Cobre y un 11,3% de las mediciones de Mercurio. Asimismo un 12,6% de los registros de cobre sobrepasa el criterio EPA WQG/2009 CMC (concentración más alta ante la cual una comunidad acuática puede ser expuesta brevemente sin que ello resulte en un efecto inaceptable). El cobre disuelto es el parámetro que sobrepasa la mayor cantidad de normativas y en mayor proporción. Por otro lado arsénico disuelto, cromo total, plomo disuelto y vanadio total registraron la totalidad de sus valores bajo los límites máximos sugeridos por las normativas.

Los sedimentos submareales de la bahía San Jorge, en términos de parámetros de condición instantánea tales como pH, Potencial Redox y temperatura presentaron un sedimento ligeramente alcalino entre 7,50 y 8,20 unidades. En cuanto a los hidrocarburos totales de petróleo, se observó que la variación temporal muestra una tendencia al aumento dentro de los últimos años de monitoreo.

En lo que se refiere a parámetros de productividad y nutrientes, la concentración de fósforo y nitrógeno total han variado temporalmente según un patrón de disminución, donde las mayores concentraciones se registraron entre 1994 y 1996. Además, considerando la distribución espacial de las concentraciones dentro de los sectores de la bahía, se observó que los valores más altos se presentaron en el sector Puerto. La materia orgánica presentó valores promedios menores al 10% con excepción de un máximo de 31,9% registrado en el punto 110-S-An en el año 2002.

El conocimiento de la distribución de los metales traza en los sedimentos, permite determinar su disponibilidad en el sistema marino (Cosma et al., 1982), ya que su inclusión en esta matriz ambiental representa un importante reservorio de metales desde donde pueden, eventualmente, retornar a la columna de agua por procesos de difusión y mezcla, actividad de los organismos bentónicos y resuspensión (Meyerson et al., 1981). Adicionalmente, la biodisponibilidad de metales en los sedimentos tiene una acción directa sobre algunas especies acuáticas, muchas de las cuales acumulan altas concentraciones con efectos crónicos en sus poblaciones (Acosta et al., 2002).

En general, las concentraciones históricas de los distintos metales y metaloides estudiados en los sedimentos submareales de la bahía San Jorge, indican que existe un patrón de disminución en la variación temporal para el cadmio, cobre, plomo y zinc donde las mayores concentraciones fueron registradas en la década de los 90. Por el contrario, el arsénico y cromo presentaron un patrón de crecimiento para el último período de monitoreo y es en esta etapa donde la mayor cantidad de muestras superaron las normativas nacionales e

internacionales. Por otra parte, el mercurio no ha presentado un patrón claro de evolución y los registros de hierro mostraron las mayores concentraciones entre el 2014 y 2015 evidenciando un patrón de disminución hacia el 2018. En cuanto a la distribución espacial de las concentraciones de todos los metales pesados analizados, se observó que los valores más altos se presentaron en el sector Puerto.

El análisis con respecto a las concentraciones máximas permitidas por los cuerpos normativos analizados mostró que todos los metales superaron el límite máximo permitido por la normativa nacional definido por el MOP (1994), el cual se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de arsénico, cobre, mercurio y plomo. Ordenados de mayor a menor porcentaje, según los registros históricos por sobre la normativa, se tiene que Cu (58,2%) > Zn (49,4%) > Pb (44,3%) > Cd (42,9%) > Hg (39,2%) > Cr (7,39%) > As (4,81%). Por otra parte, el valor más restrictivo es presentado por la norma canadiense de calidad de sedimentos para protección de la vida acuática (CCME, 2002), el valor ISQG (concentración bajo la cual raramente ocurren efectos biológicos adversos en la biota) es superado por todos los metales y ordenados de la misma manera que anteriormente se tiene que Cu (83,5%) > Pb (61,1%) > Zn (51,0%) > Cd (48,9%) > Hg (46,6%) > As (33,2%) > Cr (7,67%). Es necesario señalar que para el caso del hierro no existen valores normados en la legislación revisada.

Cobre, plomo y zinc son los metales que tienen un mayor porcentaje de registros históricos por sobre la normativa (nacional e internacional) en sedimentos. Dichos metales constituyen los principales productos de la actividad minera que son almacenados y exportados, como concentrado y otras formas, a través de los dos puertos existentes en la bahía. En general, la distribución de estos 3 metales dentro de la bahía San Jorge sugiere que las actividades antrópicas desarrolladas en la zona costera tienen un impacto sobre el contenido de metales en los sedimentos marinos, y que los puertos de embarque de mineral revisten un riesgo para las comunidades de organismos bentónicos (Calderón & Valdés, 2012).

Finalmente, considerando todas las variables anteriores, se efectuó una selección de 6 elementos potencialmente contaminantes arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc. En el caso del impacto de estas concentraciones en la componente biótica, hasta la fecha se han registrado 3 fuentes de información que contienen datos de metales en organismos: i) POAL, ii) Castro and Valdés 2012 y iii) Valdés et al. 2014. Todas con énfasis en organismos bentónicos, tanto del ambiente submareal como del ambiente intermareal. El contenido de los metales As, Cu y Pb en tejido de Chorito maico supera los límites establecidos por el DS 977/96, y el Pb además, supera los valores de referencias de La Unión Europea. Esto ocurre en la mayoría de los puntos de muestreo y en la mayoría de las campañas de muestreo. Las mayores magnitudes y varianza del contenido de los metales As, Cd, Cr, Hg y Zn en Chorito maico, ocurren en el punto de muestreo ubicado al sur del Puerto de Antofagasta; del contenido de Cu, en el punto de muestreo ubicado inmediatamente al norte del Puerto de

Antofagasta; y del contenido de Pb, en los puntos de muestreo ubicado al sur e inmediatamente al norte del Puerto de Antofagasta.

Al considerar el contenido de metales en el tejido de la Pulga de mar, en general, las mayores magnitudes de los metales analizados se observaron en los organismos recolectados desde Playa Paraíso. En ambos sectores de muestreo los organismos presentaron mayor contenido de Plomo en comparación con el resto de los metales. El contenido de Plomo en los organismos provenientes de ambos sectores, supera los límites establecidos por la normativa nacional DS. 977/96 (2 mg/Kg) y la referencia de la Unión Europea (1,5 mg/Kg).

Al considerar en análisis de metales en organismos con un enfoque en las redes tróficas, se observó biomagnificación de Cu y Zn en las especies carnívoras *H. helianthus* (Sol de mar), *Octopus* sp. (Pulpo), *L. magallanica* (Estrella negra) y *Concholepas concholepas* (Loco) en La Chimba. La biomagnificación de Pb se observó en *H. helianthus* en Carrizo y La Chimba, y solamente en los carnívoros *Octopus* sp. y *L. magallanica* en La Chimba. En el caso de Carrizo, se observaron elevados valores de biotransferencia de Pb en la secuencia *Fissurella* sp., *Crassilabrum* sp. y *H. helianthus*, lo cual sugiere un proceso de biomagnificación efectivo.

Los procesos de biomagnificación de Cu y Pb registrados en Carrizo, La Chimba y La Rinconada coinciden con las máximas concentraciones de estos metales registradas dentro de la bahía San Jorge, lo cual sugiere una cierta influencia de la carga de metales en los sedimentos donde viven estos organismos bentónicos.

Con respecto a la normativa asociada al consumo humano de recursos marinos, los contenidos de Plomo y Cobre exceden los límites establecidos por la referencia nacional DS. 977/96, en los recursos Loco, Pulpo, Locote, Lapa, Ostión y Navajuela. Lo anterior adquiere mayor relevancia al considerar que estos recursos representan los mayores desembarques de la pesca artesanal, constituyendo una potencial vía de exposición del ser humano a metales por ingesta de éstos, sin embargo, estos resultados se deben tomar con cautela porque provienen de muestreos puntuales que carecen de replicabilidad temporal.

Tomando en consideración los resultados de los análisis de la columna de agua de la Bahía se concluye que los elementos de preocupación para la salud poblacional presentes corresponden a arsénico y coliformes fecales.

Estos contaminantes producen efectos distintos, las coliformes fecales enfermedades gastrointestinales (diarreas) y dérmicas (impétigo) de efecto agudo. El arsénico es un metaloide que no tiene ninguna función en el organismo humano y dependiendo de la dosis puede producir intoxicaciones y enfermedades crónicas, entre las más importantes promover cánceres de piel, pulmón y riñón y vías urinarias.

En relación con los flujos de origen antrópico, a través de los datos del RETC, se identificó que la comuna de Antofagasta presenta ingresos de materiales metálicos a la bahía a través de RILES que no guardan relación a los procesos unitarios de las empresas que los emiten, por cuanto éstas se encuentran asociadas al rubro Eliminación de desperdicios y aguas residuales- saneamiento y actividades similares (plantas de tratamiento de aguas). Los metales y metaloides que más se emiten serían hierro, manganeso, boro, cobre y estaño, pero no tendrían significancia en términos de cantidad al compararlo con otras bahías, a excepción del boro que presenta un aporte constante durante los últimos años. No se aprecia un aporte de nutrientes ni de otros parámetros que afecten la física del medio marino, no ocurre así con el indicador de tensoactivos que muestra aportes mayores en la comuna de Antofagasta en comparación a las demás bahías colindantes, por lo que se debe tener especial atención a este agente, el cual también tiene su origen en los emisarios asociados a la industria de saneamiento de aguas.

5.5.4.1.4. Identificación de los potenciales usuarios de la información y su relación con el o los productos del programa

Los potenciales usuarios de la información generada con este programa son actores públicos y privados. En el caso de los actores públicos, corresponden a aquellos servicios y organismos con pertinencia en temáticas ambientales y que, por tanto, pueden desarrollar acciones para superar brechas que sean identificadas a través de la información levantada. Dentro de este segmento, se encuentran la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, la Armada de Chile, el Servicio Nacional de Pesca, el Servicio de Evaluación Ambiental, la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Tribunales Ambientales y la Superintendencia del Medio Ambiente.

Adicionalmente, son potenciales usuarios aquellos actores que requieren de información para el desarrollo de políticas, planes y acciones públicas como el Gobierno Regional de Antofagasta y la Ilustre Municipalidad de Antofagasta.

Respecto de los actores privados, se encuentran todos aquellos cuyo quehacer se vincula directa o indirectamente con la bahía, como Minera Escondida y otras empresas mineras, el Puerto Antofagasta, Enex, Esmax, SEMBCORP Aguas del Norte, pescadores, Asociaciones gremiales de pescadores artesanales y sus sindicatos (Agrebumar (STI Coloso), Sindicato N°1 Antofagasta, Sindicato N°2 Antofagasta, Agrupación social Caleta Abtao, Sindicato Caleta la Chimba), Organizaciones No Gubernamentales, Universidades y Juntas de Vecinos. Asimismo, a toda la comunidad que se encuentre interesada en la temática ambiental.

5.5.4.1.5. Instituciones que serán contraparte técnica del programa

La contraparte técnica de este programa será la Seremi del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta.

5.5.4.2. *Términos de referencia*

5.5.4.2.1. Identificación y definición del problema

La bahía San Jorge es un recurso esencial para la sostenibilidad económica y social de la comuna y la región de Antofagasta, ya que posibilita el desarrollo de la industria minera y pesquera, principales actividades productivas del territorio. La población de la comuna, asimismo, no sólo realiza el consumo de alimentos provenientes de la actividad pesquera, sino que también realiza un uso recreacional de la bahía.

A partir de los estudios desarrollados, ha sido posible identificar una alta concentración de metales en la columna de agua de la bahía, que puede resultar en efectos tóxicos para las comunidades de organismos marinos y eventualmente para la población humana. Las fracciones disueltas de cadmio, cobre, mercurio y zinc registraron un alto porcentaje de excedencia en algunos de los umbrales máximos permitidos por las normas nacionales e internacionales, donde el cobre disuelto es el parámetro que sobrepasa la mayor cantidad de normativas y en mayor proporción. Respecto de la concentración de metales en los sedimentos submareales, en tanto, el arsénico y cromo presentaron un patrón de crecimiento en los últimos años y todos los metales superaron el límite máximo permitido por la normativa nacional. Respecto del contenido de metales en recursos marinos de consumo humano, los contenidos de plomo y cobre exceden los límites establecidos por la referencia nacional DS. 977/96, en los recursos loco, pulpo, locote, lapa, ostión y navajuela, recursos que representan el mayor desembarque de la pesca artesanal. Finalmente, respecto de los flujos de origen antrópico, la comuna tiene ingresos de materiales metálicos asociadas a las plantas de tratamiento de aguas, donde el indicador de tensoactivos muestra mayores aportes en esta comuna que en las otras bahías colindantes.

Adicionalmente, los resultados de los monitoreos realizados por el Centro de Ecología Aplicada y la definición de grillas para el análisis de concentraciones, indican un patrón espacial de similares características a la información detectada en los datos históricos, lo cual permitiría inferir que existe un sector específico, el puerto de Antofagasta, donde ocurriría una acumulación de metales en el fondo marino. Lo anterior también es consistente con diversos estudios realizados en la bahía, donde se ha detectado las mayores concentraciones de metales en sedimento cercano al Puerto de Antofagasta (Anexos_digitales\04_OE3\8_Grillas_de_concentracion).

Este escenario se complementa además con algunas limitantes presentes en la regulación ambiental ya que, por ejemplo, la normativa chilena es la más permisiva en términos de umbrales máximos permitidos en sedimentos. De acuerdo a Calderón & Valdés, 2012, Chile carece de una normativa de calidad de sedimentos acuáticos y organismos marinos de consumo humano, lo que impide una aplicación eficiente de medidas de control de la actividad antrópica desarrollada en los ambientes costeros.

Finalmente, y a pesar de la existencia de planes y acciones tendientes a educar a la población en la problemática medioambiental, aún se observa un desconocimiento de la comunidad en términos del impacto y consecuencias de la problemática, así como de sus alternativas de solución. Lo anterior, quedó de manifiesto, por ejemplo, en distintos talleres realizados en el marco del estudio “Análisis de Riesgo Ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta” en los cuales participaron pescadores artesanales y sus sindicatos.

A partir de lo anterior, se define como problema central “Vulnerabilidad socio-ambiental de la población de Antofagasta”. 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 una alta carga de metales pesados, producto del desarrollo de la actividad industrial con bajo estándar ambiental y la descarga de residuos líquidos, complementado con una limitada regulación ambiental escenario que, si bien se ha mejorado en los últimos años con la implementación de mejores sistemas de almacenamiento y carga y normas de emisión, entre otros, aún requiere de la implementación de otros instrumentos de gestión ambiental. Complementariamente, el escaso conocimiento de la comunidad sobre el impacto de los contaminantes presentes en la bahía. Ambas líneas causales, generan un riesgo ecológico y para la salud de las personas que origina finalmente, la condición de vulnerabilidad para la población.

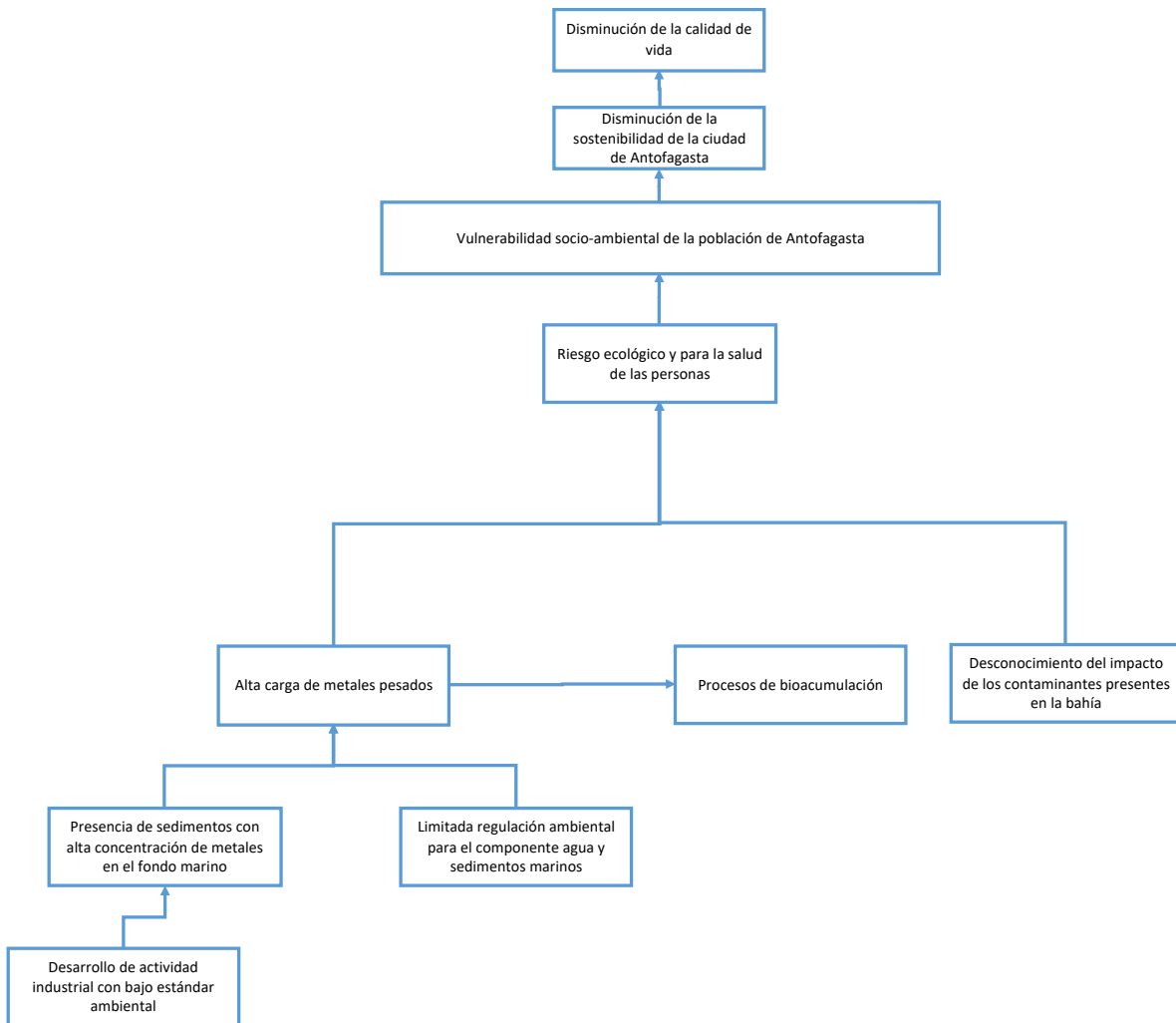


Figura 5.5-1 Árbol de problemas.

A partir de este árbol de problemas, se obtiene el siguiente árbol de objetivos.

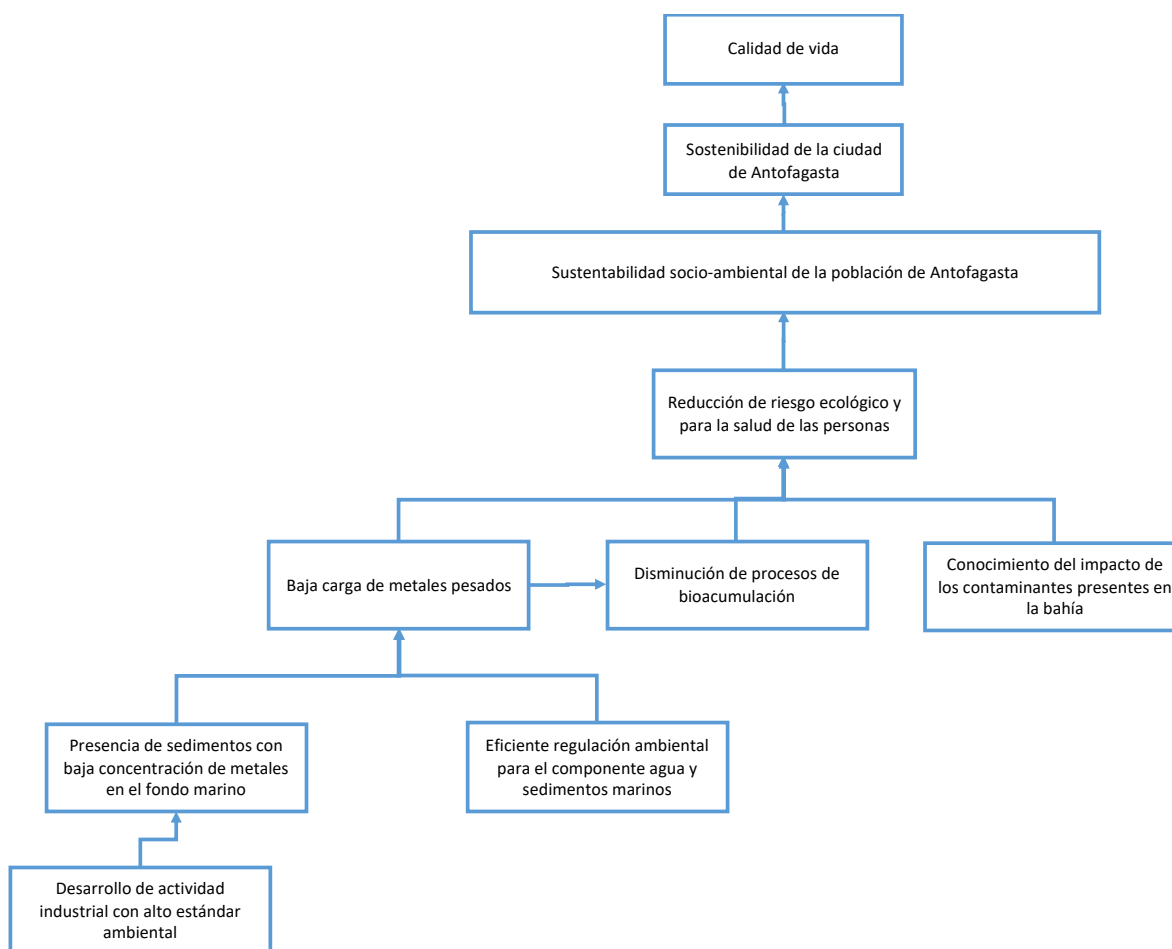


Figura 5.5-2 Árbol de objetivos.

En función de los objetivos definidos, las posibles soluciones a la problemática identificada, son:

Tabla 5.5-2: Alternativas de solución.

Causa	Alternativa de solución
Desarrollo de actividad industrial con bajo estándar ambiental.	Incorporación de tecnologías más sustentables de producción. Dado que es de alcance privado, no se considera su ejecución dentro de este programa. Implementación de redes de monitoreo para conocer de forma permanente el impacto de la actividad industrial en la bahía, de modo de tomar decisiones oportunas para enfrentar impactos negativos.
Limitada regulación ambiental.	Generación de sistema de información para monitoreo y aplicación de la norma. Esta alternativa no será abordada por este programa.
Desconocimiento del impacto de los contaminantes presentes en la bahía.	Esta causa se aborda con programa complementario.

5.5.4.2.2. Objetivos

a) *Objetivo general*

Implementar una plataforma de gestión ambiental público privada, que provea información permanente sobre la condición ambiental de la bahía San Jorge para la toma de decisiones, el desarrollo de regulaciones y difusión de la problemática a actores productivos, sociales y a la comunidad de Antofagasta.

b) *Objetivos específicos*

- OE1. Implementar una red de monitoreo integrado de la bahía, que permita conocer de forma permanente y oportuna el funcionamiento ambiental de la bahía.
- OE2. Disponer de información oportuna y de calidad generada a partir de los datos obtenidos por la red de monitoreo.
- OE3. Promover el desarrollo de capital social en la comuna, en torno al valor de la bahía para el territorio y sus habitantes.

5.5.4.2.3. Localización geográfica y cobertura del estudio

La zona que comprende el estudio se localiza en la comuna de Antofagasta, específicamente en la bahía San Jorge, entre los sectores de Punta Jorge y Punta Coloso, entre las coordenadas 334.708 E y 7.399.428 N, y 349.927 E y 7.371.645 N.

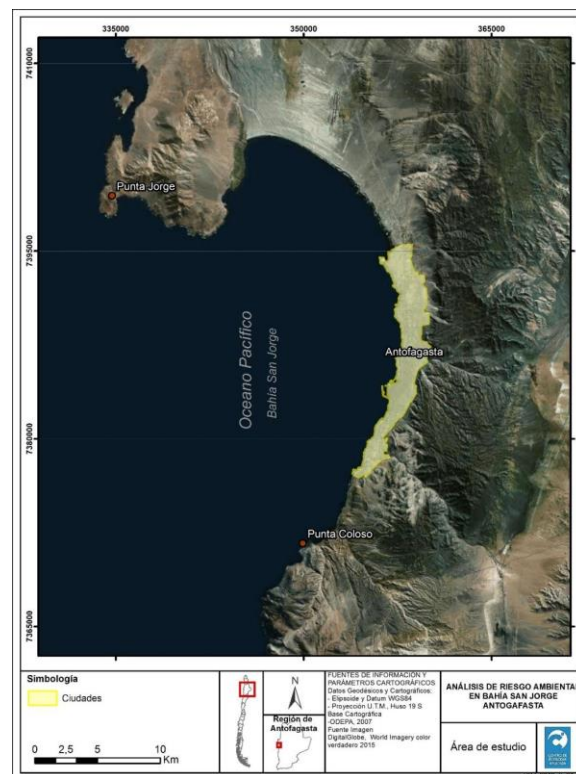


Figura 5.5-3 Área de estudio.

5.5.4.2.4. Identificación y definición de las variables que se van a medir, controlar y/o analizar

El programa considera la medición, control y monitoreo de variables para cada componente del medio marino, en particular:

- **Columna agua de mar:** Carbón Orgánico Disuelto (COD), Hidrocarburos Volátiles C6-C10, Aluminio (Al), Antimonio (Sb), Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Boro (B), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Fósforo (P), Hierro (Fe), Litio (Li), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), Mercurio (Hg), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Potasio (K), Selenio (Se), Silicio (Si), Sodio (Na), Talio (Tl), Titanio (Ti), Uranio (U), Vanadio (V), Zinc (Zn), Hidrocarburos Totales, Benceno, Etilbenceno, o-Xileno, p/m-Xileno, Tolueno, Coliformes Fecales (NMP), Coliformes Totales, Hidrocarburos Fijos, Aluminio Disuelto (Al), Antimonio Disuelto (Sb), Arsénico Disuelto (As), Bario Disuelto (Ba), Berilio Disuelto (Be), Bismuto Disuelto (Bi), Boro Disuelto (B), Cadmio Disuelto (Cd), Calcio Disuelto (Ca), Cobalto Disuelto (Co), Cobre Disuelto (Cu), Cromo Disuelto (Cr), Estaño Disuelto (Sn), Estroncio Disuelto (Sr), Fósforo Disuelto (P), Hierro Disuelto (Fe), Litio Disuelto (Li), Magnesio Disuelto (Mg), Manganeseo Disuelto (Mn), Mercurio Disuelto (Hg), Molibdeno Disuelto (Mo), Níquel Disuelto (Ni), Plata Disuelta (Ag), Plomo Disuelto (Pb), Potasio Disuelto (K), Selenio Disuelto (Se), Silicio Disuelto (Si), Sodio Disuelto (Na), Talio Disuelto (Tl), Titanio Disuelto (Ti), Uranio Disuelto (U), Vanadio Disuelto (V), Zinc Disuelto (Zn), Metilnaftaleno, Acenafteno, Acenaftileno, Acridina, Antraceno, Benzo (a) Pireno, Benzo (b) Fluoranteno, Benzo (k) Fluoranteno, Benzo (a) antraceno, Benzo (g,h,i) Perileno, Criseno, Dibenzo (a) antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno (123-cd) pireno, Naftaleno, Pireno, quinolina, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, DBO5, Grasas y aceites, Clorofila-a, temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, pH, Redox, Clorofila A, Turbidez, Densidad sigma, profundidad (presión).
- **Biota:** Hidrocarburos Fijos, Mercurio (Hg), Aluminio (Al), Antimonio (Sb), Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Boro (B), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Césio (Cs), Circonio (Zr), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Estaño (Sn), Fósforo (P), Hierro (Fe), Litio (Li), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Potasio (K), Rubidio (Rb), Selenio (Se), Sodio (Na), Stroncio (Sr), Talio (Tl), Telúrio (Te), Uranio (U), Vanadio (V), Zinc (Zn), 2 Metilnaftaleno, Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzeno (a) antraceno, Benzo (a) pireno, Benzo (b) fluoranteno, Benzo (g,h,i) perileno, Benzo (k) fluoranteno, Criseno, Dibenzo (a,h) antraceno, Dibenzofurano, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno (123-cd) pireno, Naftaleno, Pireno.
- **Sedimentos:** Materia Orgánica, Benceno, Etilbenceno, o-Xileno, p/m-Xileno, Tolueno, Granulometría % Fino (Muestra < 75 µm), Granulometría Malla N° 10 (2 mm), Granulometría Malla N° 100 (150 µm), Granulometría Malla N° 140 (106 µm),

Granulometría Malla N° 18 (1 mm), Granulometría Malla N° 20 (850 µm), Granulometría Malla N° 200 (75 µm), Granulometría Malla N° 35 (500 µm), Granulometría Malla N° 5 (4 mm), Granulometría Malla N° 60 (250 µm), Aluminio (Al), Antimonio (Sb), Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Fósforo (P), Hierro (Fe), Litio (Li), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Mercurio (Hg), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Potasio (K), Selenio (Se), Sodio (Na), Talio (Tl), Titanio (Ti), Uranio (U), Vanadio (V), Zinc (Zn), 2 Metilnaftaleno, Acenafteno, Acenaftileno, Acridina, Antraceno, Benzeno (a) antraceno, Benzo (a) Pireno, Benzo (b) Fluoranteno, Benzo (ghi) perileno, Benzo (k) Fluoranteno, Criseno, Dibenzo (a) antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno (123-cd) pireno, Naftaleno, Pireno, quinolina, COT (Carbono Orgánico Total), hidrocarburos alifáticos e hidrocarburos aromáticos. Especiación de metales arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc mediante método de extracción secuencial.

Se consideran 3 réplicas por cada punto de monitoreo, considerando al menos 10 puntos de monitoreo.

5.5.4.2.5. Identificación y descripción de las actividades que considera el estudio

Para dar cumplimiento al objetivo específico N°1, “**Implementar una red de monitoreo integrado de la bahía, que permita conocer de forma permanente y oportuna el funcionamiento ambiental de la bahía**”, el consultor deberá:

- a) Implementar una red de seguimiento de los contaminantes presentes en la bahía: a través de la implementación de una boya oceanográfica para el monitoreo de diferentes parámetros para columna de agua, sedimentos y biota.
- b) Ejecutar campañas de monitoreo: al menos, 1 semestral, durante los 24 meses de ejecución del estudio.
- c) Transferir capacidades técnicas de monitoreo: a actores públicos y privados que sean potenciales usuarios de la información. Esta transferencia se realizará a través de capacitaciones teórico prácticas para conocer la operatividad de la red y la interpretación de resultados.

Para dar cumplimiento al objetivo específico N°2, “**Disponer de información oportuna y de calidad generada a partir de los datos obtenidos por la red de monitoreo**”, el consultor deberá.

- a) Implementar una plataforma de información ambiental para la bahía: para asegurar el acceso universal a los datos de monitoreo. La plataforma deberá ser multidispositivo y deberá permitir la realización de consultas dinámicas por parte de los usuarios.
- b) Presentar resultados de monitoreo: a usuarios públicos y privados que sean usuarios de la información. Esta presentación se realizará a través de un informe y una

presentación presencial con el uso de la plataforma desarrollada para el acceso de la información.

- c) Realizar una coordinación público privada: para asegurar la sustentabilidad de la red en el largo plazo, a través de un taller de inducción y una reunión semestral de coordinación.

Para dar cumplimiento al objetivo específico N°3, “**Promover el desarrollo de capital social en la comuna, en torno al valor de la bahía para el territorio y sus habitantes**”, el consultor deberá:

- a) Realizar talleres o conversatorios sobre la problemática ambiental: para el involucramiento de la comunidad.
- b) Realizar actividades de capacitación: referente a la problemática ambiental y al valor entregado por las herramientas desarrolladas.
- c) Desarrollar herramientas educativas y de difusión de la red y plataforma: incluyendo difusión en redes sociales, 4 videos de difusión y 2 webinaros.

Otras actividades:

- a) Elaboración de informes: 3 informes de avance y 1 informe final.

5.5.4.2.6. Metodología a utilizar

Acorde al objetivo específico N°1, “**Implementar una red de monitoreo integrado de la bahía, que permita conocer de forma permanente y oportuna el funcionamiento ambiental de la bahía**”, el consultor deberá:

- **Implementación de red de seguimiento de los contaminantes presentes en la bahía:** Para la implementación de la red, se deberá subcontratar a una entidad certificada que provea el equipamiento y la mantención de éstos, de modo que pueda efectuar campañas semestrales de medición de las variables antes indicadas. Los resultados de cada medición deberán ser sistematizados, documentados y reportados e informados a los usuarios directos o gobernanza mediante reuniones técnicas semestrales.

Las variables a monitorear como parte de este programa, corresponden a las indicadas en el punto 4 para columna de agua, sedimentos y biota, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 5.5-3: Parámetros a monitorear.

Parámetro	Especificación	Límite de detección o cuantificación	Unidad	Metodología
Matriz Agua de Mar				
Carbón Orgánico Disuelto (COD)	Disuelto	0,5	mg/L	APHA 5310 B, 21st Ed. 2005
Hidrocarburos Volátiles C6-C10	Volátil	0,5	mg/L	QWI-ORG-ANA-04, Emisión B, mod. 3. US EPA SW-846. Test methods for Evaluation solid Waste Physically/Chemicals Methods. Versión 2, 1997. Adaptación método US EPA 8260B, 5035A. Cromatografía Gaseosa (CG)
Aluminio (Al)	Total	0,01	mg/L	QWI-IO-ANA-02 Emisión B, Modificación 0. EPA METHOD 6020 A - INDUCTIVELY COUPLED PLASMA – MASS SPECTROMETRY
Antimonio (Sb)	Total	0,0002	mg/L	
Arsenico (As)	Total	0,0003	mg/L	
Bario (Ba)	Total	0,0003	mg/L	
Berilio (Be)	Total	0,00002	mg/L	
Bismuto (Bi)	Total	0,00002	mg/L	
Boro (B)	Total	0,002	mg/L	
Cadmio (Cd)	Total	0,00002	mg/L	
Calcio (Ca)	Total	0,06	mg/L	
Cobalto (Co)	Total	0,0001	mg/L	
Cobre (Cu)	Total	0,0005	mg/L	
Cromo (Cr)	Total	0,0001	mg/L	
Estaño (Sn)	Total	0,0005	mg/L	
Estroncio (Sr)	Total	0,0006	mg/L	
Fosforo (P)	Total	0,005	mg/L	
Hierro (Fe)	Total	0,006	mg/L	
Litio (Li)	Total	0,0003	mg/L	
Magnesio (Mg)	Total	0,005	mg/L	
Manganeso (Mn)	Total	0,0001	mg/L	
Mercurio (Hg)	Total	0,0001	mg/L	
Molibdeno (Mo)	Total	0,0002	mg/L	
Níquel (Ni)	Total	0,0001	mg/L	
Plata (Ag)	Total	0,00002	mg/L	
Plomo (Pb)	Total	0,0004	mg/L	
Potasio (K)	Total	0,009	mg/L	
Selenio (Se)	Total	0,0003	mg/L	
Silicio (Si)	Total	0,03	mg/L	

Parámetro	Especificación	Límite de detección o cuantificación	Unidad	Metodología
Sodio (Na)	Total	0,01	mg/L	
Talio (Tl)	Total	0,0002	mg/L	
Titanio (Ti)	Total	0,0002	mg/L	
Uranio (U)	Total	0,00006	mg/L	
Vanadio (V)	Total	0,0003	mg/L	
Zinc (Zn)	Total	0,0007	mg/L	
Hidrocarburos Totales	Total	2	mg/L		NCh 2313/7 Oficial 1997
Benceno	-	0,005	mg/L	QWI-ORG-ANA-04, Emisión B, mod. 3 US EPA SW-846. Test methods for Evaluation solid Waste Physically/Chemicals Methods. Versión 2, 1997. Adaptación método US EPA 8260B, 5035A. Cromatografía Gaseosa (CG-Masa) y sistema de purga y trampa.
Etilbenceno	-	0,005	mg/L	
o-Xileno	-	0,005	mg/L	
p/m-Xileno	-	0,005	mg/L	
Tolueno	-	0,005	mg/L	
Coliformes Fecales (NMP)	-	1.8 - 1600	NMP/100 mL	Standard Methods - 9221 E
Coliformes Totales	Total	2.0 - 1600	NMP/100 mL	SM 9221 B, 22nd Ed.,2012
Hidrocarburos Fijos	Fijo	2	mg/L	QWI-ORG-HC-01. Emisión B, modificación 1. SM 5520-F, 22st, ed.2012 / US EPA SW- 846, Versión 2, 1997, método 970.
Aluminio Disuelto (Al)	Disuelto	0,01	mg/L	QWI-IO-ANA-02 Emisión B, Modificación 0. EPA METHOD 6020 A - INDUCTIVELY COUPLED PLASMA – MASS SPECTROMETRY
Antimonio Disuelto (Sb)	Disuelto	0,0002	mg/L	
Arsénico Disuelto (As)	Disuelto	0,0003	mg/L	
Bario Disuelto (Ba)	Disuelto	0,0003	mg/L	
Berilio Disuelto (Be)	Disuelto	0,00002	mg/L	
Bismuto Disuelto (Bi)	Disuelto	0,00002	mg/L	
Boro Disuelto (B)	Disuelto	0,002	mg/L	
Cadmio Disuelto (Cd)	Disuelto	0,00002	mg/L	
Calcio Disuelto (Ca)	Disuelto	0,06	mg/L	
Cobalto Disuelto (Co)	Disuelto	0,0001	mg/L	
Cobre Disuelto (Cu)	Disuelto	0,0005	mg/L	
Cromo Disuelto (Cr)	Disuelto	0,0001	mg/L	
Estaño Disuelto (Sn)	Disuelto	0,0005	mg/L	
Estroncio Disuelto (Sr)	Disuelto	0,0006	mg/L	
Fosforo Disuelto (P)	Disuelto	0,005	mg/L	
Hierro Disuelto (Fe)	Disuelto	0,006	mg/L	
Litio Disuelto (Li)	Disuelto	0,0003	mg/L	
Magnesio Disuelto (Mg)	Disuelto	0,005	mg/L	

Parámetro	Especificación	Límite de detección o cuantificación	Unidad	Metodología
Manganeso Disuelto (Mn)	Disuelto	0,0001	mg/L	QWI-ORG-ANA-02. Emisión B, modificación 1. US EPA SW-846. Test methods for Evaluation Solid Waste Physically/Chemicals Methods. Versión 2, 1997. Adaptación Método USEPA 8270D, 3510C. Cromatografía Gaseosa (CG-masa)
Mercurio Disuelto (Hg)	Disuelto	0,0001	mg/L	
Molibdeno Disuelto (Mo)	Disuelto	0,0002	mg/L	
Niquel Disuelto (Ni)	Disuelto	0,0001	mg/L	
Plata Disuelta (Ag)	Disuelto	0,00002	mg/L	
Plomo Disuelto (Pb)	Disuelto	0,0004	mg/L	
Potasio Disuelto (K)	Disuelto	0,009	mg/L	
Selenio Disuelto (Se)	Disuelto	0,0003	mg/L	
Silicio Disuelto (Si)	Disuelto	0,03	mg/L	
Sodio Disuelto (Na)	Disuelto	0,01	mg/L	
Talio Disuelto (Tl)	Disuelto	0,0002	mg/L	
Titanio Disuelto (Ti)	Disuelto	0,0002	mg/L	
Uranio Disuelto (U)	Disuelto	0,00006	mg/L	
Vanadio Disuelto (V)	Disuelto	0,0003	mg/L	
Zinc Disuelto (Zn)	Disuelto	0,0007	mg/L	
2 Metilnaftaleno	-	0,001	mg/L	
Acenafteno	-	0,001	mg/L	
Acenaftileno	-	0,001	mg/L	
Acridina	-	0,001	mg/L	
Antraceno	-	0,001	mg/L	
Benzo (a) Pireno	-	0,001	mg/L	
Benzo (b) Fluoranteno	-	0,001	mg/L	
Benzo (k) Fluoranteno	-	0,001	mg/L	
Benzo(a)antraceno	-	0,001	mg/L	
Benzo(g,h,i)Perileno	-	0,001	mg/L	
Criseno	-	0,001	mg/L	
Dibenzo (a) antraceno	-	0,001	mg/L	
Fenantreno	-	0,001	mg/L	
Fluoranteno	-	0,001	mg/L	
Fluoreno	-	0,001	mg/L	
Indeno (123-cd) pireno	-	0,001	mg/L	
Naftaleno	-	0,001	mg/L	
Pireno	-	0,001	mg/L	
quinolina	-	0,001	mg/L	

Parámetro	Especificación	Límite de detección o cuantificación	Unidad	Metodología
Sólidos Suspendidos Totales	-	3	mg/L	QWI-IO-SST-01. Emisión B, modificación 1. SM 2540 D, 22nd Edition 2012
Sólidos Disueltos Totales	-	10	mg/L	
DBO5	-	2	mg/L	
Grasas y aceites	-	1	mg/L	
Clorofila-a	-	0,3	mg/L	QWI-IO-Clorofila-01. Emisión B, modificación 1. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 10200-H. 22st edition, 2012.
Matriz Agua de mar – parámetros in-situ				
Temperatura	-	-	°C	Medición con sonda CTD
Conductividad eléctrica	-	-	mS/cm	
Salinidad	-	-	PSU	
Saturación de oxígeno	-	-	Porcentaje	
Oxígeno disuelto	-	-	ppm	
Oxígeno disuelto	-	-	mg/L	
pH	-	-	-	
Redox	-	-	mV	
Clorofila A	-	-	µg/L	
Turbidez	-	-	UNT	
Densidad sigma	-	-	kg/m3	
Profundidad (Presión)	-	-	m	
Matriz Biota				
Hidrocarburos Fijos	-	22	mg/kg	QWI-ORG-ANA-14 Emisión B mod. 3 Method for the Canada-Wide Standard for petroleum Hydrocarbons in Soil-Tier 1 Method, Canadian Council of Ministers of the Environment 2001
Mercurio (Hg)	-	0,005	mg/kg wwt	EPA - 6020A
Aluminio (Al)	-	0,4	mg/kg wwt	EPA 200.3/6020A
Antimonio (Sb)	-	0,002	mg/kg wwt	
Arsenico (As)	-	0,004	mg/kg wwt	
Bario (Ba)	-	0,01	mg/kg wwt	
Berilio (Be)	-	0,002	mg/kg wwt	
Bismuto (Bi)	-	0,002	mg/kg wwt	
Boro (B)	-	0,2	mg/kg wwt	
Cadmio (Cd)	-	0,001	mg/kg wwt	
Calcio (Ca)	-	4	mg/kg wwt	

Parámetro	Especificación	Límite de detección o cuantificación	Unidad	Metodología
Cesio (Cs)	-	0,001	mg/kg ww	
Circonio (Zr)	-	0,04	mg/kg ww	
Cobalto (Co)	-	0,004	mg/kg ww	
Cobre (Cu)	-	0,02	mg/kg ww	
Cromo (Cr)	-	0,01	mg/kg ww	
Estaño (Sn)	-	0,02	mg/kg ww	
Fosforo (P)	-	2	mg/kg ww	
Hierro (Fe)	-	0,6	mg/kg ww	
Litio (Li)	-	0,1	mg/kg ww	
Magnesio (Mg)	-	0,4	mg/kg ww	
Manganeso (Mn)	-	0,01	mg/kg ww	
Molibdeno (Mo)	-	0,004	mg/kg ww	
Niquel (Ni)	-	0,04	mg/kg ww	
Plomo (Pb)	-	0,004	mg/kg ww	
Potasio (K)	-	4	mg/kg ww	
Rubidio (Rb)	-	0,01	mg/kg ww	
Selenio (Se)	-	0,01	mg/kg ww	
Sodio (Na)	-	4	mg/kg ww	
Stroncio (Sr)	-	0,01	mg/kg ww	
Talio (Tl)	-	0,0004	mg/kg ww	
Telurio (Te)	-	0,004	mg/kg ww	
Uranio (U)	-	0,0004	mg/kg ww	
Vanadio (V)	-	0,02	mg/kg ww	
Zinc (Zn)	-	0,1	mg/kg ww	
2 Metilnaftaleno	-	5	ug/Kg	EPA 8270D, Rev. 4 Febrero 2007
Acenafteno	-	5	ug/Kg	
Acenaftileno	-	5	ug/Kg	
Antraceno	-	5	ug/Kg	
Benzeno (a) antraceno	-	5	ug/Kg	
Benzo (a) pireno	-	5	ug/Kg	
Benzo (b) fluoranteno	-	5	ug/Kg	
Benzo (g,h,i) perileno	-	5	ug/Kg	
Benzo (k) fluoranteno	-	5	ug/Kg	
Criseno	-	5	ug/Kg	

Parámetro	Especificación	Límite de detección o cuantificación	Unidad	Metodología
Dibenzo (a,h) antraceno	-	5	ug/Kg	
Dibenzofurano	-	5	ug/Kg	
Fenantreno	-	5	ug/Kg	
Fluoranteno	-	5	ug/Kg	
Fluoreno	-	5	ug/Kg	
Indeno (123-cd) pireno	-	5	ug/Kg	
Naftaleno	-	5	ug/Kg	
Pireno	-	5	ug/Kg	
Matriz Sedimentos Marinos				
Materia Orgánica	-	-	%	Método Gravimétrico. Sociedad Chilena de la ciencia del suelo.
Benceno	-	0,4	mg/kg	QWI-ORG-ANA-04, Emisión B, mod. 3 US EPA SW-846. Test methods for Evaluation solid Waste Physically/Chemicals Methods. Versión 2, 1997. Adaptación método US EPA 8260B, 5035A. Cromatografía Gaseosa (CG-Masa) y sistema de purga y trampa.
Etilbenceno	-	0,4	mg/kg	
o-Xileno	-	0,3	mg/kg	
p/m-Xileno	-	0,5	mg/kg	
Tolueno	-	0,4	mg/kg	MLAB-S/02 rev.04. Basado en ASTM C136-06 NCh 3236.of2010 Gravimetría
Granulometría % Fino (Muestra < 75 µm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 10 (2 mm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 100 (150 µm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 140 (106 µm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 18 (1 mm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 20 (850 µm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 200 (75 µm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 35 (500 µm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 5 (4 mm)	%	-	%	
Granulometría Malla N° 60 (250 µm)	%	-	%	
Aluminio (Al)	Total	140	mg/kg	QWI-IO-ANA-02 Emisión B, Modificación 0. EPA METHOD 6020 A - INDUCTIVELY COUPLED PLASMA – MASS SPECTROMETRY
Antimonio (Sb)	Total	1,5	mg/kg	
Arsénico (As)	Total	1	mg/kg	
Bario (Ba)	Total	1	mg/kg	
Berilio (Be)	Total	2	mg/kg	
Bismuto (Bi)	Total	1	mg/kg	
Cadmio (Cd)	Total	0,9	mg/kg	
Calcio (Ca).	Total	25	mg/kg	
Cobalto (Co)	Total	1	mg/kg	

Parámetro	Especificación	Límite de detección o cuantificación	Unidad	Metodología
Cobre (Cu)	Total	1,75	mg/kg	
Cromo (Cr)	Total	7	mg/kg	
Estaño (Sn)	Total	1	mg/kg	
Estroncio (Sr)	Total	12	mg/kg	
Fosforo (P)	Total	2,5	mg/kg	
Hierro (Fe)	Total	140	mg/kg	
Litio (Li)	Total	1,5	mg/kg	
Magnesio (Mg)	Total	13	mg/kg	
Manganeso (Mn)	Total	13	mg/kg	
Mercurio (Hg)	Total	1,3	mg/kg	
Molibdeno (Mo)	Total	1,2	mg/kg	
Níquel (Ni)	Total	2,2	mg/kg	
Plata (Ag)	Total	0,6	mg/kg	
Plomo (Pb)	Total	1	mg/kg	
Potasio (K)	Total	15	mg/kg	
Selenio (Se)	Total	1,5	mg/kg	
Sodio (Na)	Total	15	mg/kg	
Talio (Tl)	Total	1	mg/kg	
Titanio (Ti)	Total	30	mg/kg	
Uranio (U)	Total	1,5	mg/kg	
Vanadio (V)	Total	1,1	mg/kg	
Zinc (Zn)	Total	1,2	mg/kg	
2 Metilnaftaleno	-	0,03	mg/kg	QWI-ORG-ANA-02. Emisión B, modificación 1. US EPA SW-846. Test methods for Evaluation Soil Waste Physically/Chemicals Methods. Versión 2, 1997 y Versión 3, 1995. Adaptación Método USEPA 8270D, 3510C,3570.
Acenafteno	-	0,03	mg/kg	
Acenaftileno	-	0,03	mg/kg	
Acridina	-	0,03	mg/kg	
Antraceno	-	0,03	mg/kg	
Benzeno (a) antraceno	-	0,03	mg/kg	
Benzo (a) Pireno	-	0,03	mg/kg	
Benzo (b) Fluoranteno	-	0,03	mg/kg	
Benzo (ghi) perileno	-	0,03	mg/kg	
Benzo (k) Fluoranteno	-	0,03	mg/kg	
Criseno	-	0,03	mg/kg	
Dibenzo (a) antraceno	-	0,03	mg/kg	

Parámetro	Especificación	Límite de detección o cuantificación	Unidad	Metodología	
Fenantreno	-	0,03	mg/kg		
Fluoranteno	-	0,03	mg/kg		
Fluoreno	-	0,03	mg/kg		
Indeno (123-cd) pireno	-	0,03	mg/kg		
Naftaleno	-	0,03	mg/kg		
Pireno	-	0,03	mg/kg		
quinolina	-	0,03	mg/kg		
COT (Carbono Orgánico Total)	Total	1,5	mg/l		APHA 5310 TOTAL ORGANIC CARBON (TOC)
Hidrocarburo alifático nC6	-	1	mg/kg		TX 1006
Hidrocarburo alifático >nC10 - nC12	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo alifático >nC12-nC16	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo alifático >nC16-nC21	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo alifático >nC21-nC35	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo alifático >nC6-nC8	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo alifático >nC8-nC10	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo alifático distribución relativa	-	-	%		
Hidrocarburo aromático >nC10-nC12	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo aromático >nC12-nC16	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo aromático >nC16-nC21	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo aromático >nC21-nC35	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo aromático >nC7-nC8	-	1	mg/kg		
Hidrocarburo aromático- distribución relativa (%)	-	-	%		
Fracción total de hidrocarburos alifáticos	-	1	mg/kg		
Fracción total de hidrocarburos aromáticos	-	1	mg/kg		
Hidrocarburos totales	-	1	mg/kg		
Especiación de Arsénico	-	-	-	Extracción secuencial BCR NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT 2002)	
Especiación de Cadmio	-	-	-		
Especiación de Cobre	-	-	-		
Especiación de Mercurio	-	-	-		
Especiación de Plomo	-	-	-		
Especiación de Zinc	-	-	-		

En conjunto con la contraparte técnica del programa, se definirá la frecuencia de medición de estas variables y las distintas escalas espacio temporales, focalizándose en los problemas existentes para un monitoreo asociado a las actividades productivas y los potenciales impactos de la industria y en la salud de las personas.

Preliminarmente, se espera la realización de al menos **1 campaña semestral de medición**, durante los 24 meses de duración del programa. El muestreo realizado deberá estar acorde al Reglamento ETFA. Para la medición, se propone la instalación de una boya oceanográfica con capacidad telemétrica de registrar y transmitir datos en tiempo real a un servidor, el cual tiene a su vez, la capacidad de presentar la información de manera pública.

En el Anexo 5.5.4.3.1 que se encuentra en el cuerpo de este informe, se presenta como referencia las especificaciones técnicas de la boya elaborada por el Centro de Ecología Aplicada en estudio para el Gobierno Regional de Antofagasta “Diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía Mejillones del sur” (código bip 30126368). En este anexo se incluyen características y alcances de la boya, así como los requerimientos estructurales y funcionales: sistema de fondeo, anclaje, mecanismo de calibración, almacenamiento, transmisión, procesamiento, presentación y visualización de datos, entre otras características. Además, en anexos digitales se incluye este anexo incluyendo algunos ejemplos de visualización de los datos (Anexos Digitales/05_OE4/Caracteristicas_referenciales_boya.docx).

En cuanto a la mantención de la boya, se requiere una limpieza semestral de los sensores, que consta de remover algas adheridas al equipo. Esta actividad está considerada dentro de los monitoreos semestrales y no considera gastos adicionales.

El oferente deberá hacerse cargo de tramitar con la autoridad sectorial que corresponda, los permisos para la importación, instalación y funcionamiento de la boya. Además, debe hacerse cargo de la mantención, reparación y reemplazo de las partes y piezas de la boya como, además de la vigilancia de ésta.

Para el desarrollo de estas labores operativas, el oferente deberá considerar la contratación de pescadores artesanales de la comuna de Antofagasta.

Se deberá considerar un punto de muestreo en el centro de la Bahía (como referencia el punto BSJ-07 según anexo). Se mide temperatura mediante una cadena de termistores distribuidos en toda la profundidad de la columna de agua y además se mide a nivel superficial el resto de los parámetros ya indicados en la Tabla 5.5-3 (Conductividad eléctrica, Salinidad, Saturación de oxígeno, Oxígeno disuelto, Oxígeno disuelto, pH, Redox, Clorofila A, Turbidez, Densidad sigma, Profundidad).

Respecto a la ubicación geográfica de los puntos de medición y con el objetivo de dar continuidad al plan piloto de monitoreo integrado, se considerarán como base los puntos

de medición descritos en el proyecto FNDR "Análisis de Riesgo Ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta".

Preliminarmente, se proponen los siguientes puntos de muestreo que deberán ser posteriormente validados con la contraparte técnica. Además, se pueden utilizar los resultados del modelo de dispersión realizado en el presente estudio, para evaluar las nuevas propuestas de puntos de monitoreo.

Tabla 5.5-4: Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de calidad fisicoquímica y biológica en bahía San Jorge, actualizada en base a los alcances del terreno

UTM WGS 84 Zona 19K		Punto	Descripción	Sector asociado
Este (m)	Norte (m)			
343.604	7.399.051	BSJ-01	Calidad fisicoquímica agua y sedimento. Comunidades planctónicas y submareales	Juan López
347.002	7.403.653	BSJ-02		La Rinconada
356.597	7.394.491	BSJ-03		La Chimba
357.200	7.387.975	BSJ-04		Las Petroleras
356.583	7.384.462	BSJ-05		Puerto Antofagasta
356.501	7.383.847	BSJ-06*		Puerto Antofagasta
355.405	7.384.622	BSJ-07		Centro de la bahía
354.544	7.378.567	BSJ-08		Quebrada Carrizo
351.072	7.371.887	BSJ-09		Puerto Coloso
350.825	7.371.902	BSJ-10**		Puerto Coloso
357.733	7.391.014	TI-02	Calidad fisicoquímica sedimento. Comunidades intermareales	Playa Trocadero
357.438	7.385.029	TI-05		playa Paraíso
356.326	7.381.518	TI-06		Balneario municipal
351.355	7.371.702	TI-08	Comunidades intermareales	Puerto Coloso (Playa Amarilla)
343.556	7.398.876	TI-01		Juan López
356.574	7.394.223	TI-03		La Chimba
357.975	7.387.930	TI-04		Las Petroleras
354.902	7.378.605	TI-07		Quebrada Carrizo

*: Ubicación estación ATI-2 de PVA Antofagasta Terminal Internacional

** : Ubicación estación SM-12 de PVA Puerto de Minería Escondida (Coloso)

La Figura 5.5-4 muestra la ubicación geográfica del muestreo de calidad ambiental de la bahía realizado en San Jorge.

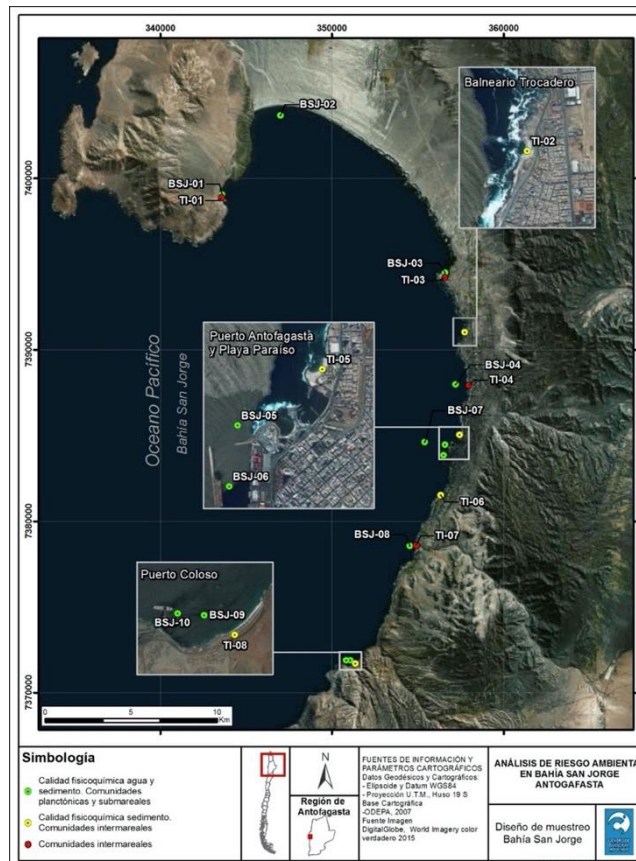


Figura 5.5-4 Ubicación geográfica de estaciones de muestreo de calidad fisicoquímica y biológica ejecutado por CEA en bahía San Jorge.

- **Ejecución de campañas de monitoreo.** En función de la frecuencia definida con la contraparte técnica y los parámetros y metodología indicada en la Tabla 5.5-3: “Parámetros a monitorear”, se ejecutará al menos 1 campaña semestral para captura y procesamiento de datos que den cuenta de forma permanente del estado ambiental de la bahía.
- **Transferencia de capacidades técnicas de monitoreo:** Se deberá realizar un ciclo de capacitaciones a los actores públicos y privados que sean potenciales usuarios de la información, de manera tal que les permita conocer la operatividad de la red implementada, y principalmente la utilidad e interpretación de los resultados para la toma de decisiones.

Esta capacitación será de carácter teórico práctico y se estructurará en al menos 1 taller bimestral durante los primeros 12 meses de ejecución del programa de al menos 3 horas cronológicas de duración cada uno. Los costos de cada actividad (arriendo de salas, café, materiales fungibles, arriendo de equipos audiovisuales y otros) serán a cargo del estudio.

La programación de contenidos, así como el material que sea entregado en cada taller deberá ser previamente acordado y visado por la contraparte técnica.

Se espera que en cada taller participen al menos 20 personas, con un total de 120 personas capacitadas al término del ciclo. El perfil de los participantes debe incluir a representantes de los usuarios directos de la información, de modo que se utilizada como base para el desarrollo de acciones concretas.

Acorde al objetivo específico N°2, “**Disponer de información oportuna y de calidad generada a partir de los datos obtenidos por la red de monitoreo**”, el consultor deberá.

- **Implementación de plataforma de información ambiental para la bahía:** Para acceder a los resultados de cada monitoreo realizado, se deberá implementar una plataforma en línea que permita el acceso universal a dichos resultados. Esta plataforma deberá ser multidispositivo, es decir, compatible con computador, Smartphone y Tablet y deberá permitir consultas dinámicas para distintos parámetros y períodos de tiempo además de la descarga de reportes en formatos CSV y XLSX. En esta plataforma, deberá integrarse además de la información que sea recopilada en las campañas de monitoreo, información histórica disponible que permita conocer la evolución histórica de diferentes parámetros. El diseño gráfico y de funcionalidades específicas de esta plataforma, deberá ser acordado previamente con la contraparte técnica. Esta actividad podrá ser subcontratada a una empresa especializada en este tipo de desarrollos y deberá considerar al menos las etapas de diseño, desarrollo, marcha blanca, depuración y puesta en marcha definitiva.
- **Presentación de resultados de monitoreo:** La información que sea obtenida tras el procesamiento de los datos recopilados, deberá ser documentada y presentada semestralmente en terreno a la contraparte técnica y en reuniones de difusión con potenciales usuarios públicos y privados de esta información. En estas presentaciones deberán, además mostrarse los resultados en línea a través de la plataforma antes implementada. Los costos de estas reuniones (arriendo de sala, café, materiales fungibles, arriendo de equipos audiovisuales y otros) serán de cargo del estudio. Las citas serán realizadas a través de la contraparte técnica.

Cada informe semestral deberá contener al menos:

- ❖ Antecedentes.
- ❖ Objetivos.
- ❖ Metodología: área de estudio, ubicación estaciones en cartografía y tabla; métodos de toma de muestra; métodos de análisis.
- ❖ Resultados generados: planilla Excel con valores por variable, por estación, por campaña; tablas de datos; gráficos por variable, por campaña; cartas de distribución de variables; análisis comparativo entre

- ❖ muestreros, respecto de valores históricos y de normas nacionales e internacionales; base de datos de contaminantes en la bahía.
 - ❖ Análisis y discusión sobre escenarios probables de evolución de la situación diagnosticada.
 - ❖ Conclusiones y recomendaciones.
 - ❖ Cartografía digital georeferenciada, formato SHAPE para ArcGIS 10.0 (incluir archivo *.mxd), con las cartas: base, estaciones, batimetría, valores por variable y campaña.
 - ❖ Bibliografía.
 - ❖ Anexos.
- **Coordinación público privada:** Se deberán generar instancias de coordinación público-privada, que permitan asegurar la sustentabilidad de la red de monitoreo implementado en el largo plazo. Para ello se realizará:
 - ❖ Levantamiento y convocatoria de stakeholders. Se espera que sean convocados al menos 1 representante de los potenciales usuarios de la información señalados en el punto 5.5.4.1.4.
 - ❖ 1 taller de inducción, el cual deberá contar con al menos un representante de los stakeholders convocados.
 - ❖ 1 reunión semestral de coordinación, que podrá realizarse de forma conjunta a la presentación de resultados. Durante el segundo año, se deberá considerar la asignación consensuada de roles y funciones para cada institución involucrada, de modo de asegurar al menos una entidad responsable de la operación permanente de la red. Asimismo, deberán consensuarse las vías de financiamiento, tanto para la entidad a cargo realizar las campañas de monitoreo como de la plataforma.

Acorde al objetivo específico N°3, “**Promover el desarrollo de capital social en la comuna, en torno al valor de la bahía para el territorio y sus habitantes**”, el consultor deberá:

- **Realización de talleres o conversatorios sobre la problemática ambiental:** Para el involucramiento de la comunidad, se programarán actividades tales como talleres, encuentros y conversatorios, con representantes de los distintos sectores económicos, productivos y de la sociedad civil.

Deberá realizarse una propuesta de calendarización de actividades, indicando tipo, programación de contenidos, metodología de ejecución, lugar de ejecución, público objetivo y número esperado de participantes. Previo a su ejecución, esta calendarización deberá ser aprobada y visada por la contraparte técnica.

La convocatoria para cada evento deberá ser realizada con al menos 30 días corridos de anticipación. Se espera que semestralmente y durante toda la ejecución del programa se desarrollen al menos 2 eventos. Finalizado cada evento, deberá entregarse a cada asistente una herramienta de medición de satisfacción (tipo

CAWI), de modo de identificar fortalezas y debilidades para mejora de las actividades siguientes.

- **Realización de actividades de capacitación:** Se deberá realizar un ciclo de capacitación referente a la problemática ambiental y la importancia de las herramientas desarrolladas para la toma de decisiones. Así, estas capacitaciones estarán en particular dirigidas a potenciales usuarios de la plataforma y miembros de organizaciones civiles del territorio. Las actividades deben considerar una metodología apropiada para el rango etario y ser apoyado con material didáctico y audiovisual el cual será previamente visado por la contraparte técnica.

Deberá realizarse una propuesta de calendarización de capacitaciones, indicando la programación de contenidos, metodología de ejecución, lugar de ejecución y número esperado de participantes. Previo a su ejecución, esta calendarización deberá ser aprobada y visada por la contraparte técnica.

Se espera que semestralmente se ejecute al menos 1 actividad con 40 asistentes cada una.

- **Desarrollo de herramientas educativas y de difusión de la red y plataforma:** Se debe considerar la difusión y educación de la comunidad de la problemática ambiental y la importancia tanto del monitoreo permanente de la bahía como del acceso a esta información, para lo cual se contempla:
 - ❖ Difusión en redes sociales, incluyendo al menos Facebook, Instagram, YouTube y LinkedIn, en la cual se conformarán comunidades virtuales a las que se les entregará información digital como infografías, que describan la importancia de la bahía y provean información actualizada y procesada a partir de los monitoreos realizados.
 - ❖ Generación de al menos 4 videos de difusión, con duración mínima de 7 minutos, dando a conocer la importancia de la bahía, su problemática y las actividades en curso desarrolladas en el marco de este programa.
 - ❖ Desarrollo de al menos 2 webinarios, dirigidos a la comunidad científica y universitaria y actores públicos de la comuna y la región, donde se describa la importancia de la bahía, su problemática actual y las soluciones en implementación.

5.5.4.2.7. Cronograma de actividades

El cronograma estimado para cada actividad, es el siguiente:

Tabla 5.5-5: Cronograma de actividades.

OE	Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20	Mes 21	Mes 22	Mes 23	Mes 24
1	Implementación de red de seguimiento de los contaminantes presentes en la bahía.																								
1	Ejecución de campañas de monitoreo.																								
1	Transferencia de capacidades técnicas de monitoreo.																								
2	Implementación de plataforma de información ambiental para la bahía.																								
2	Presentación de resultados de monitoreo.																								
2	Coordinación público privada.																								
3	Realización de talleres, encuentros o conversatorios sobre la problemática ambiental.																								
3	Realización de actividades de capacitación.																								
3	Desarrollo de herramientas educativas y de difusión de la red y plataforma.																								

5.5.4.2.8. Identificación de resultados y/o productos esperados

Acorde al objetivo específico N°1:

- 1 documento con detalle de variables ambientales a monitorear y frecuencias a distintas escalas espacio temporales.
- 1 campaña semestral de medición de variables definidas, de 5 días de duración.
- 1 red de seguimiento de contaminantes, definida y funcionando.
- 1 documento con material didáctico para capacitación de los actores públicos.
- 6 ciclos de capacitación ejecutados. 120 personas capacitadas y con competencias para interpretar los resultados obtenidos por la red de seguimiento de contaminantes.

Acorde al objetivo específico N°2:

- 1 plataforma multidispositivo implementada y funcionando con consultas dinámicas y descarga de reportes personalizados en distintos formatos.
- Al menos 100 descargas mensuales de reportes, obtenidos desde la plataforma.
- Al menos 7 instituciones, empresas y organizaciones vinculadas a la operación y sustentabilidad de la red.

Acorde al objetivo específico N°3:

- Al menos 1 reunión semestral de coordinación de. 1 acta de acuerdos por cada reunión realizada, firmada por todos los asistentes.
- 1 documento con programación de acciones post proyecto, indicando responsabilidades y compromisos para cada institución participante de la gobernanza.
- Al menos 8 talleres, encuentros o conversatorios realizados.
- Al menos 500 personas conocen y comprenden la problemática ambiental, producto de los eventos talleres, encuentros o conversatorios realizados.
- Implementación de páginas corporativas del programa en Facebook, Instagram, YouTube y LinkedIn.
- Al menos 6 infografías (3 anuales) del programa distribuidas a través de redes sociales y plataforma.
- Al menos 4 videos de 7 minutos de duración con detalle de la problemática e importancia de la bahía, distribuido a través de redes sociales.
- 2 webinarios realizados.

- Al menos 200 personas de la comunidad académica y universitaria y otros actores públicos y privados, conocen la problemática de la bahía y las alternativas de solución, producto de los webinaros realizados.

Otros productos.

- 3 informes de avance y 1 informe final. Los informes de avance, deberán ser entregados en 2 copias (formato digital y escrito) y el informe final en 8 (formato digital y escrito).

5.5.4.2.9. Identificación de los mecanismos de difusión de la información

Como parte del objetivo específico 3, se consideran los mecanismos de difusión de la información, que comprenden la realización semestral de 2 talleres o conversatorios sobre la problemática ambiental, con representantes de los distintos sectores económicos, productivos y de la sociedad civil.

Además, la difusión en redes sociales, incluyendo al menos Facebook, Instagram, YouTube y LinkedIn, en la cual se conformarán comunidades virtuales a las que se les entregará información digital como infografías, que describan la importancia de la bahía y provean información actualizada y procesada a partir de los monitoreos realizados.

Se generarán también al menos 4 videos de difusión, con duración mínima de 7 minutos, dando a conocer la importancia de la bahía, su problemática y las actividades en curso desarrolladas en el marco de este programa.

Finalmente, el desarrollo de al menos 2 webinaros, dirigidos a la comunidad científica y universitaria y actores públicos de la comuna y la región, donde se describa la importancia de la bahía, su problemática actual y las soluciones en implementación.

5.5.4.2.10. Definición de informes

Tabla 5.5-6: Definición de informes.

Informes	Contenido	Fecha
Plan de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Informe con metodología de trabajo para la totalidad del programa, incluyendo la planificación detallada de las campañas de monitoreo; los productos a entregar en cada etapa y cronograma final. • Reunión de puesta en marcha del programa 	20 días hábiles después de la resolución de aprobación del contrato
Informe de avance 1	<ul style="list-style-type: none"> • Detalle de variables ambientales a monitorear y frecuencias a distintas escalas espacio temporales. 	Ultimo día hábil del mes 07

	<ul style="list-style-type: none"> • Definición de proceso de medición y monitoreo. • Informe de primera campaña de medición de variables. • Informe de avance de desarrollo de plataforma. • Informe de 3 capacitaciones realizadas para interpretación y operación de la red. • Informe de convocatoria y reunión de inducción de gobernanza. • Informe de ejecución de 2 encuentros, talleres o conversatorios de la problemática ambiental. • Informe de capacitación a niñas, niños y jóvenes. • Video de difusión en formato digital. • 1 infografía en formato digital 	
<p>Informe de avance 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de segunda campaña de medición de variables. • Informe de 3 capacitaciones realizadas para interpretación y operación de la red. • Listado de parámetros de calidad ambiental. • Informe con definición de áreas de vigilancia. • Informe con límites normativos y clases de calidad ambiental bien definidas. • Informe con condición actual de áreas de vigilancia. • Informe y actas de reuniones de coordinación público privada. • Informe de puesta en marcha definitiva de plataforma. • Informe y registro de puesta en marcha de redes sociales. • Informe de ejecución de 2 encuentros, talleres o conversatorios de la problemática ambiental. • Informe de capacitación a niñas, niños y jóvenes. 	<p>Último día hábil del mes 13</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Video en formato digital e informe de difusión en sitio web y redes sociales. • 2 infografías en formato digital e informe de difusión en sitio web y redes sociales. • Informe de 1 webinar realizado. 	
Informe de avance 3	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de tercera campaña de medición de variables. • Informe y actas de reuniones de coordinación público privada. • Informe de ejecución de 2 encuentros, talleres o conversatorios de la problemática ambiental. • Informe de capacitación a niñas, niños y jóvenes. • Informe de uso de sitio plataforma. • Informe de uso de redes sociales. • Video en formato digital e informe de difusión en sitio web y redes sociales. • 2 infografías en formato digital e informe de difusión en sitio web y redes sociales. 	Ultimo día hábil del mes 19
Informe final	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de cuarta campaña de medición de variables. • Informe y actas de reuniones de coordinación público privada. • Informe de ejecución de 2 encuentros, talleres o conversatorios de la problemática ambiental. • Informe de capacitación a niñas, niños y jóvenes. • Informe de uso de plataforma. • Informe de uso de redes sociales. • Video en formato digital e informe de difusión en sitio web y redes sociales. • 1 infografía en formato digital e informe de difusión en sitio web y redes sociales. • Informe de 1 webinar realizado. 	Último día hábil del mes 25

5.5.4.3. Presupuesto por objetivo

Tabla 5.5-7: Presupuesto por objetivo.

Ítem	Detalle	Total año 1	Total año 2	Total programa
1. Recursos humanos	Coordinador regional	30.000.000	30.000.000	60.000.000
	Jefe de proyecto	12.600.000	12.600.000	25.200.000
	Profesional área ambiental	30.000.000	30.000.000	60.000.000
	Profesional área social	12.000.000	12.000.000	24.000.000
	Técnico	12.000.000	12.000.000	24.000.000
	Técnico administrativo	12.000.000	12.000.000	24.000.000
	Profesional área informática	3.600.000	0	3.600.000
	Profesional cartógrafo	14.400.000	7.200.000	21.600.000
2. Gastos operacionales	Alojamientos, alimentación y movilización	7.100.000	4.000.000	11.100.000
	Arriendo de sala y equipos audiovisuales	400.000	400.000	800.000
	Café	480.000	720.000	1.200.000
	Materiales de oficina	100.000	0	100.000
	Papelería y otros para apoyo de presentación	400.000	400.000	800.000
	Servicio de instalación de equipos	3.500.000	0	3.500.000
	Sonda CTD	10.500.000	0	10.500.000
	Subcontrato - Procesamiento de muestras	29.799.590	29.799.590	59.599.180
	Subcontrato - Campaña de monitoreo (pasajes, remuneraciones, alojamientos y otros)	15.000.000	20.000.000	35.000.000
	Subcontrato - Desarrollo de plataforma (incluye dominio, hosting, motor BD y desarrollo)	10.000.000	0	10.000.000
	Boya con transmisión de datos móviles	13.359.200	0	13.359.200
	Servidor y accesorios	4.500.000	0	4.500.000
	Subcontrato buzos, embarcaciones, fondeos	2.993.851	3.991.801	6.985.652
	Subcontrato buzos, embarcación	1.102.565	1.470.086	2.572.651
	Asesoría técnica para diseño e instalación de red	8.000.000	0	8.000.000
	Boya oceanográfica-Software de captura de datos	716.000	0	716.000
	Boya oceanográfica-Estación meteorológica (incluye materiales de reemplazo)	2.476.800	0	2.476.800
Boya oceanográfica-Set de sensores (incluye set de reemplazo)	14.574.400	0	14.574.400	
Boya oceanográfica-Fletes	2.400.000	0	2.400.000	
3. Capacitación	Arriendo de sala y equipos audiovisuales	2.000.000	800.000	2.800.000
	Café	1.320.000	600.000	1.920.000

Ítem	Detalle	Total año 1	Total año 2	Total programa
	Papelería y otros para apoyo de presentación	1.200.000	0	1.200.000
4. Difusión	Material audiovisual para apoyo de webinarios (cápsulas, videos, infografías y otros)	1.500.000	1.500.000	3.000.000
	Servicio de difusión en redes como Instagram y Facebook	1.200.000	1.200.000	2.400.000
	Servicio de elaboración y edición de videos	10.000.000	10.000.000	20.000.000
Sub total		271.222.405	190.681.477	461.903.883
Utilidad de consultora (10%)		27.122.241	19.068.148	46.190.388
Total		298.344.646	209.749.625	508.094.271

5.5.4.3.1. Anexo “Características de la boya”

i. Características de la boya

Se espera que la boya utilizada para el monitoreo continuo corresponde a una de estándar NexSens CB-650. Según información del fabricante, esta boya está diseñada para un despliegue en lagos, ríos, zonas costeras y otros medios ambientes marinos. La plataforma flotante soporta sensores de monitoreo ambiental tanto en la parte superior como en la superficie de ella, incluidas estaciones meteorológicas, sensores de ondas, cadenas de termistores, sondas multiparamétricas, perfiladores de corriente Doppler y otros instrumentos de monitoreo.

La boya está construida con un núcleo interno de espuma de polietileno reticulado con una resistente piel de poliurea. Sobre ésta, se monta una torre superior de acero inoxidable de 101.6 cm de alto que incluye tres paneles solares de 12VDC de 30 vatios. En su interior, se tiene un cubículo de 25.4 cm de diámetro interno x 54.9 cm de alto, en el cual se acomodan baterías, data loggers, sensores y más. Tres orificios pasantes de 10.2 cm con roscas inferiores NPT hembra, permiten la conexión rápida de tubos de despliegue para instrumentos y montajes personalizados de sensores. El marco de acero inoxidable admite amarres de punto único y multipunto.

La boya de datos CB-650 está optimizada para su uso con data loggers NexSens. Las opciones de telemetría inalámbrica incluyen Wi-Fi, radio de espectro expandido, celular e Iridium Satellite. Las interfaces de sensores digitales y analógicos compatibles incluyen RS-232, RS-485, SDI-12, VDC, mA y conteo de pulsos. La parte superior del instrumento incluye 8 puertos de paso para la conexión eléctrica y la conexión de los distintos sensores. Cada puerto ofrece un receptáculo UW con doble junta tórica para una conexión confiable a prueba de agua.

Las especificaciones técnicas facilitadas por fabricante se adjuntan a continuación:

Tabla 5.5-8: Especificaciones técnicas Boya NexSens CB-650.

Especificaciones	
Dimensiones de la cáscara	96.52 cm de diámetro exterior; 55.88 cm de alto
Dimensiones de la torre	101.60 cm de alto; tubos de diámetro 7/8"
Dimensiones cubículo	26.16 cm de diámetro interno; 54.61 cm de alto
Peso	97.52 kg
Boyancia	294.84 kg
Material de la cascara	Espuma de polietileno reticulado con revestimiento de poliurea y cubierta de acero inoxidable
Material de la torre/jaula	acero inoxidable 316
Juntas de Anclaje	1 o 2 puntos, argollas de 3/4"
Electricidad solar	(3) paneles solares de 30-watt 12VDC

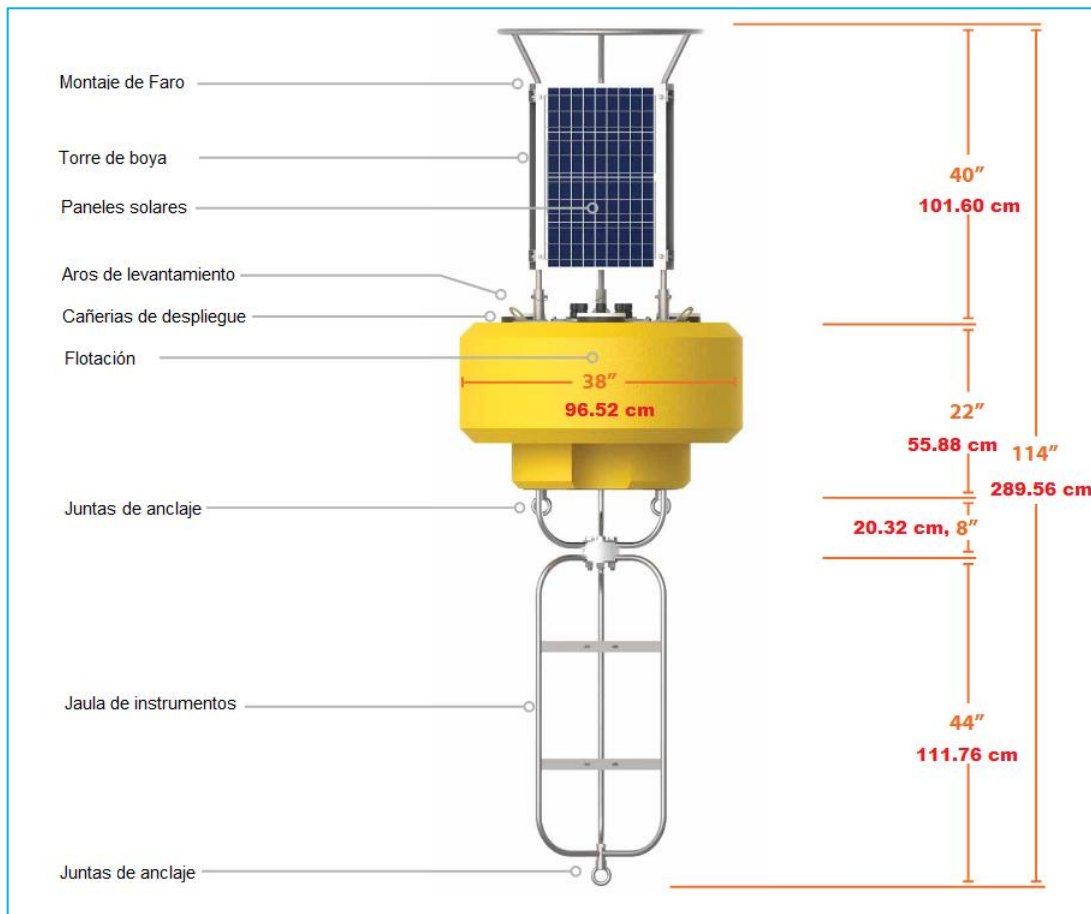


Figura 5.5-5: Dimensiones Boya CB-650.

ii. Señalización

Según la circular O-63/002 N°12600/678 de carácter ordinario publicado por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante de la Armada de Chile, toda estructura flotante para cultivos marinos e instalaciones asociadas (Balsas-Jaulas, Bodega Flotante, etc.) deberá contar con la debida señalización como medida de seguridad. Así, en el ANEXO A (Figura 5.5-6) del mencionado documento, se describe el código de destello que debe tener la señalización de la boya, mientras que en el ANEXO B se describe la marca de tope que debe ir adosada a la instalación respectiva. En el caso de la boya, se utiliza la marca de tope del tipo "X" Cruz de San Andrés que se adjunta en la Figura 5.5-7.

ORDINARIO / PERMANENTE
CIRCULAR O-63/002

ANEXO " A "

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SEÑALIZACIÓN

Las características que deberá reunir la señalización son las que se establecen en la publicación S.H.O.A. N° 3007, pág. B-10 correspondiente a Señales Especiales que se indican.

Color de Luz : Amarilla.
Alcance Mínimo : 2 Millas Náuticas.
Ritmo de Luz: : Código Morse letra "N" en 9 segundos.
3 + 1 destello en 20 segundos.
Alternativa = 4 destellos en 20 segundos.

CARACTERÍSTICAS RECOMENDADAS:

RITMO	TIEMPOS DE LUZ								TOTAL
	luz	eclipse	luz	eclipse	luz	eclipse	luz	eclipse	
Letra "N"	3.0	1.0	1.0	4.0					= 09 seg.
3+1/20	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	4.5	0.5	10.5	= 20 seg.
4/20	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	1.5	0.5	13.5	= 20 seg.

Altura mínima de la luz sobre : 1.5 metros en boyas.
nivel del agua (altura plano : 2.0 metros baliza en balsas.
focal).

Opcional, altura mínima de la : 2.0 y 4.0 metros en boyas.
luz sobre nivel del agua, según
corresponda al lugar de
instalación (costa, rutas
principales, altura de puente de
las naves del área, etc.).

Color de la estructura : Amarilla.
Forma marca de tope : "X" Cruz de San Andrés.
Color : Amarilla.
Pantalla reflectora de radar : Según lugar de instalación.

Figura 5.5-6: ANEXO A de circular N°12600/678 publicado por la D.G.T.M. y M.M., donde aparecen las características técnicas de la señalización.

disponible en la ubicación geográfica donde se instala y del código de destello seleccionado. Del mismo modo, posee 5 colores led de destello: rojo, verde, amarillo, blanco y azul. Así, se configura con un destello amarillo y de ritmo 3+1/20. En la Figura 5.5-8 se adjuntan las dimensiones de una baliza M650H.

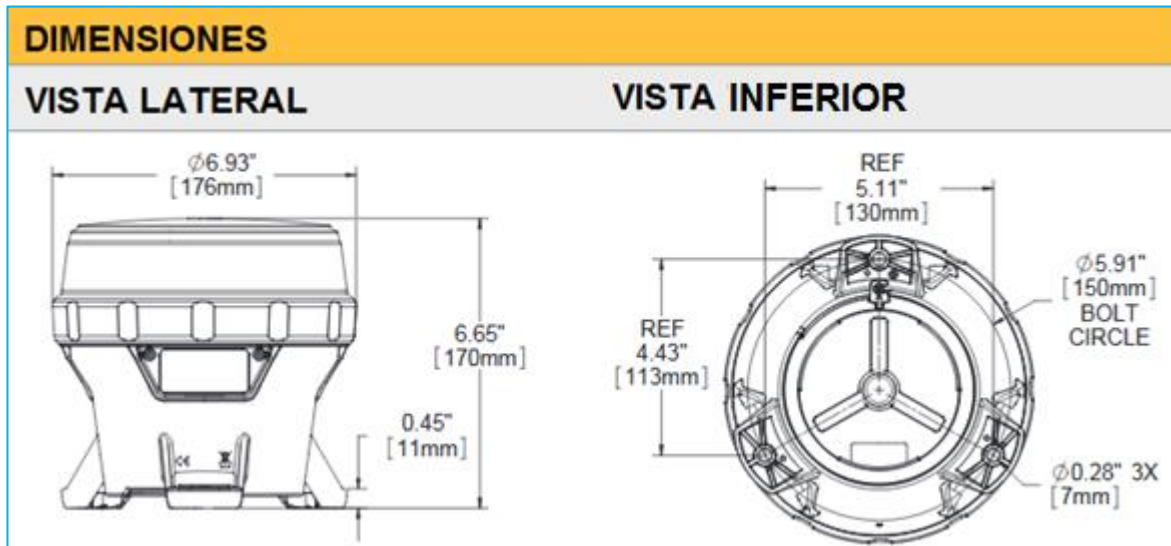


Figura 5.5-8: Dimensiones de baliza M650H.

iii. Sensores

Se sugiere que la batería de sensores instalada para monitorear la calidad de agua en bahía San Jorge, corresponda a un sensor de oxígeno disuelto RDO Pro-X (In-situ), a un fluorómetro Cyplops-7 (Turner Designs) y una cadena de termistores TS210 (NexSens). Además, un equipo Airmar WX200 (Airmar Technology Corp.) que permita recopilar información de las condiciones meteorológicas. A continuación, se describen las distintas componentes mencionadas.

- Estación Meteorológica Airmar 200WX

El Airmar 200WX es una estación meteorológica compacta (Figura 5.5-9) equipada con sensores que permiten medir distintas propiedades del aire, además de poseer un GPS que permite conocer su ubicación satelital con una precisión de 3m cuando está enlazado a WASS/EGNOS, según fabricante.

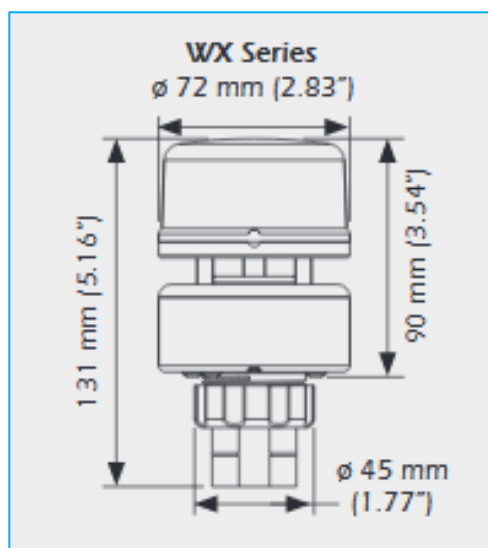


Figura 5.5-9: Dimensiones de estación meteorológica Airmar 200WX.

Este sensor se instala en la bandeja superior de la torre de la boya, contigua a la baliza, de manera que mida las propiedades del aire que determinan la interacción entre éste y el mar, como lo son la presión barométrica, dirección y velocidad del viento, y temperatura del aire. En la Tabla 5.5-9 se adjuntan las características técnicas de los distintos sensores de la estación meteorológica Airmar WX200.

Tabla 5.5-9: Especificaciones estación meteorológica Airmar WX200.

Especificaciones Airmar WX200	
Velocidad del viento:	Rango: 0 a 78 nudos
	Resolución: 0.1 nudo
	Precisión entre 0 °C y 55 °, sin precipitación*:
	Velocidades bajas: 0-10 nudos; 1 nudo RMS + 10% de la lectura Velocidades altas: 10-78 nudos; 2 nudos RMS o 5%, la mayor
Dirección del viento:	Precisión en condiciones húmedas**:
	5 nudos RMS
	Rango: 0° a 360 °
	Resolución: 0.1 °
Temperatura	Precisión entre 0 °C y 55 °, sin precipitación*:
	Velocidades bajas: 4-10 nudos
	Velocidades altas: >10 nudos
	Precisión en condiciones húmedas**:
Presión atmosférica	>8 nudos
	Rango: -40°C a 50°C
	Resolución: 0.1°C
GPS	Precisión: +- 1.1°C a >4 nudos
	Rango: 800 hPa a 1100 hPa
	Resolución: 0.1 hPa
	Precisión: +-1 hPa cuando está disponible una corrección por altitud
	Temperatura operativa: -25°C a 55°C
RMS: raíz cuadrada media	

Especificaciones Airmar WX200
* Cuando la velocidad del viento es menor a 2 m/s y/o cuando temperatura del aire es menor a 0°C, las lecturas de viento, temperatura y humedad relativa serán menos precisas.
**Las condiciones húmedas incluyen humedad, lluvia, escarcha, rocío, nieve hielo y/o rocío de mar.

- Sensor de Oxígeno Disuelto RDO Pro-X

Según información del fabricante, el sensor de oxígeno disuelto RDO PRO-X cuenta con la aprobación EPA para los programas de ley de agua limpia presente en USA. Este sensor utiliza tecnología óptica para medir el oxígeno disuelto y la temperatura del agua en entornos de procesos exigentes. La sonda RDO PRO-X permite a los titulares de permisos NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System) en Estados Unidos, monitorear los procesos de afluentes, efluentes y tratamiento, respondiendo rápidamente a los cambios de oxígeno y temperatura para obtener mejores resultados.

Esta sonda duradera no requiere calibración, acondicionamiento o membranas. La tapa del sensor automatiza la configuración, almacena los coeficientes de calibración, el número de serie y la fecha de caducidad.

En la Figura 5.5-10 se adjunta una imagen referencial del sensor, mientras que en la Tabla 5.5-10 se adjuntan las especificaciones técnicas del mismo.

Tabla 5.5-10 Especificaciones técnicas sensor de oxígeno RDO PRO-X.

Sonda de medición de oxígeno disuelto RDO PRO-X	
Tipo de sensor	sensor óptico (luminiscente) de oxígeno disuelto
Sonda RDO PRO-X	Rango: 0 a 50 mg/L de concentración
	Precisión: +- 0.1 mg/L, de 0 a 8 mg/L
	+ - 0.2 mg/L, de 8 a 20 mg/L
	+ - 10% de la lectura, de 20 a 50 mg/L
	Resolución: 0.01 mg/L
Tapa de sensor RDO-X	Tiempo de respuesta: T90 <45 seg; T95 <60 seg @ 25°C
	Condiciones de almacenamiento: -5°C a 60°C
Sensor de Temperatura	Vida útil: 2 años
	Condiciones de almacenamiento: 1°C a 60°C
	Rango: 0 a 50 °C
	Precisión: +-0.1 °C
	Resolución: 0.01 °C



Figura 5.5-10: Imagen referencia de sensor de oxígeno disuelto RDO PRO-X.

- Sensor de Clorofila Cyclops 7

El sensor Cyclops 7 de Turner Designs, corresponde a turbidímetro/fluorómetro sumergible de canal único que puede ser utilizado para variadas aplicaciones.

Según información del fabricante, este instrumento puede utilizarse para detectar fluorescencia de pigmentos, fluorescencia de colorante para aplicaciones de trazado de tinte, fluorescencia de materia orgánica disuelta, o utilizarse como turbidímetro. Del mismo modo, está destinado a integrarse en un sistema multiparámetro para obtener su alimentación de energía y entregar un voltaje de salida al sistema data logger, que es proporcional a la concentración de fluoróforo, partículas o compuesto de interés.

Por otro lado, cuando el instrumento se calibra con una concentración conocida, el voltaje de salida del sensor CYCLOPS-7 se puede correlacionar para entregar información de la concentración actual del fluoróforo objetivo. Para esto, se configura previamente la ganancia del sensor.

La ganancia se refiere a la configuración de sensibilidad del sensor, la cual puede ser en 3 opciones; X1, X10 y X100. Mientras la ganancia crece, la sensibilidad también lo hace y los rangos de concentración decrecen. En la Tabla 5.5-11 se adjuntan los rangos por configuración de ganancia facilitadas por fabricante, donde la X1 corresponde a la asignada por el fabricante.

Tabla 5.5-11 Rangos de concentración de distintos parámetros en función de la configuración de ganancia de sensor Cyclops 7.

Ganancia	Rango Chl (ug/L)	rango RWT (ppb)	Rango TRB (NTU)
X1	0-500	0-1000	0-3000
X10	0-50	0-100	0-1000
X100	0-5	0-10	0-100

En la Figura 5.5-11 se adjunta una imagen referencial del sensor Cyclops 7 utilizado, mientras que en la Tabla 5.5-12 y Tabla 5.5-13 se adjuntan las especificaciones técnicas del mismo.

Tabla 5.5-12 Especificaciones técnicas de sensor Cyclops 7.

Aplicación	Límite mínimo de detección	Rango Lineal
CDOM/FDOM	0.1 ppb**	0-1500 ppb**
	0.5 ppb***	0-3000 ppb***
Clorofila en vivo		
Exitación azul	0.03 ug/L	0-500 ug/L
Exitación roja	0.3 ug/L	>500 ug/L
Colorante Fluorescente	0.01 ppb	0-500 ppb
Petróleo - crudo	0.2 ppb***	0-1500 ppb***
Petróleo - fino	10 ppb*	7000ppb*
	10 ppm****	>100 ppm****
Abrillandadores ópticos	0.6 ppb***	0-2500 ppb***
Fycocianina	2 ppb	0-4500 ppb
Ficoeritrina	0.1 ppb	0-750 ppb
Colorante PTSA	0.1 ppb***	0-650 ppb***
Colorante Rodamina	0.01 ppb	0-1000 ppb
Triptófano	3 ppb	5000 ppb
Turbiedad	0.05 NTU	0-1500 NTU

Tabla 5.5-13: Especificaciones técnicas sensor Cyclops 7.

Dimensiones Físicas	
Largo y diámetro:	14.48 x 2.23 cm
Peso:	142 gr
Características Medio Ambientales	
Rango de Temperatura:	Ambiente: 0 a 50 °C
	Sumergido en Agua: -2 a 50°C
Rango de profundidad:	600 m
Señal de salida:	0-5 VDC
Rango de voltaje de suministro:	3-15 VDC
Requerimientos de energía:	<360mW



Figura 5.5-11 Imagen referencial de sensor Cyclops 7.

- Cadena de termistores TS210

La cadena de termistores NexSens TS210 proporciona datos de temperatura de alta precisión para perfilar en lagos, arroyos y aguas costeras. Cuenta con un termistor de titanio integral asegurado y epóxico en una carcasa protectora para despliegues submarinos. Un cable especial para ambientes marinos con núcleo de Kevlar trenzado, ayuda a garantizar la fiabilidad en entornos extremos.

Cada sensor tiene una precisión de ± 0.075 °C para mediciones de alta precisión. El termistor de titanio expuesto hace contacto directo con el agua, permitiendo que las lecturas se estabilicen en 60 segundos. Los datos de temperatura se transmiten en un bus RS-485 Modbus RTU para su integración con data loggers y sistemas SCADA. La cadena se alimenta con 4-28 VDC para funcionar con una fuente de alimentación de 12 o 24 VDC.

En la Figura 5.5-12 se adjunta una imagen referencial de un termistor TS210, además de una instalación de una cadena de termistores en una boya CB-150.



Figura 5.5-12: Imágenes referenciales de termistor TS210 utilizado a la izquierda, y de instalación de cadena de termistores en una boya CB-150 a la derecha.

iv. Acceso a la información

Para el acceso a la información, se debe disponer de un sistema de monitoreo en tiempo real al equipar y configurar la boya con un sistema de transmisión de información mediante un router Sierra Wireless RV-50, el cual tiene la capacidad de conectarse a la red celular para la transmisión de datos por parte del logger iSic 3100 con el cual viene equipado la boya.

5.5.5. Elaboración de una cartera de proyectos

Programa “Medidas de remediación para la Bahía San Jorge”

5.5.5.1. Diagnóstico

A través de la herramienta árbol de problema, se identificó que el problema central que afecta a la población localizada en área de influencia de la Bahía San Jorge y que comprende a la ciudad de Antofagasta es la **“Vulnerabilidad socio-ambiental de la población de Antofagasta”**. Este problema, se origina a partir de una alta carga de metales pesados, producto del desarrollo de la actividad industrial con bajo estándar ambiental y la descarga de residuos, complementado con una limitada regulación ambiental. 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 los habitantes.

La bahía San Jorge es un recurso esencial para la sostenibilidad económica y social de la comuna y la región de Antofagasta, ya que posibilita el desarrollo de la industria minera y pesquera, principales actividades productivas del territorio. La población de la ciudad, asimismo, no sólo realiza el consumo de alimentos provenientes de la actividad pesquera, sino que también realiza un uso recreacional de la bahía.

A partir de distintos estudios desarrollados en la bahía, ha sido posible identificar una alta concentración de metales en la columna de agua, que puede resultar en efectos tóxicos para las comunidades de organismos marinos y eventualmente para la población humana. Las fracciones disueltas de cadmio, cobre, mercurio y zinc registraron un alto porcentaje de excedencia en algunos de los umbrales máximos permitidos por las normas nacionales e internacionales, donde el cobre disuelto es el parámetro que sobrepasa la mayor cantidad de normativas y en mayor proporción. Respecto de la concentración de metales en los sedimentos submareales, en tanto, el arsénico y cromo presentaron un patrón de crecimiento en los últimos años y todos los metales superaron el límite máximo permitido por la normativa nacional. Respecto del contenido de metales en recursos marinos de consumo humano, los contenidos de plomo y cobre exceden los límites establecidos por la referencia nacional DS. 977/96, en los recursos loco, pulpo, locote, lapa, ostión y navajuela, recursos que representan el mayor desembarque de la pesca artesanal. Finalmente, respecto de los flujos de origen antrópico, la comuna tiene ingresos de materiales metálicos asociadas a las plantas de tratamiento de aguas, donde el indicador de tensoactivos muestra mayores aportes en esta comuna que en las otras bahías colindantes.

Este escenario se agrava además por una regulación ambiental que aún es insuficiente en algunos ámbitos ya que, por ejemplo, la normativa chilena es la más permisiva en términos de umbrales máximos permitidos en sedimentos.

Asimismo, a través del estudio “Análisis de Riesgo Ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta” y como resultado de la evaluación del riesgo ecológico (ERE), se destaca un

alto contenido de metales pesados en sedimentos, mientras que a partir de los resultados de la evaluación de riesgo para la salud humana (ERSH), se destacan dos elementos en los que se debe tener un cuidado especial. El primero corresponde al cadmio, que es el único en poseer un índice de peligro de exposición mayor a 1, y el segundo elemento corresponde al arsénico, el cual presenta un riesgo incremental de cáncer.

Muchos de estos elementos tienen su origen en las descargas de contaminantes en la bahía a lo largo del desarrollo de la región, por lo cual surge la necesidad de crear medidas de mitigación y evitar que los riesgos identificados se mantengan o aumenten.

Finalmente, y a pesar de la existencia de planes y acciones tendientes a educar a la población en la problemática medioambiental, aún se observa un desconocimiento de la comunidad en términos del impacto y consecuencias de la problemática, así como de sus alternativas de solución, lo cual quedó de manifiesto en distintos talleres realizados en el marco del estudio antes mencionado y en los cuales participaron pescadores artesanales y sus sindicatos.

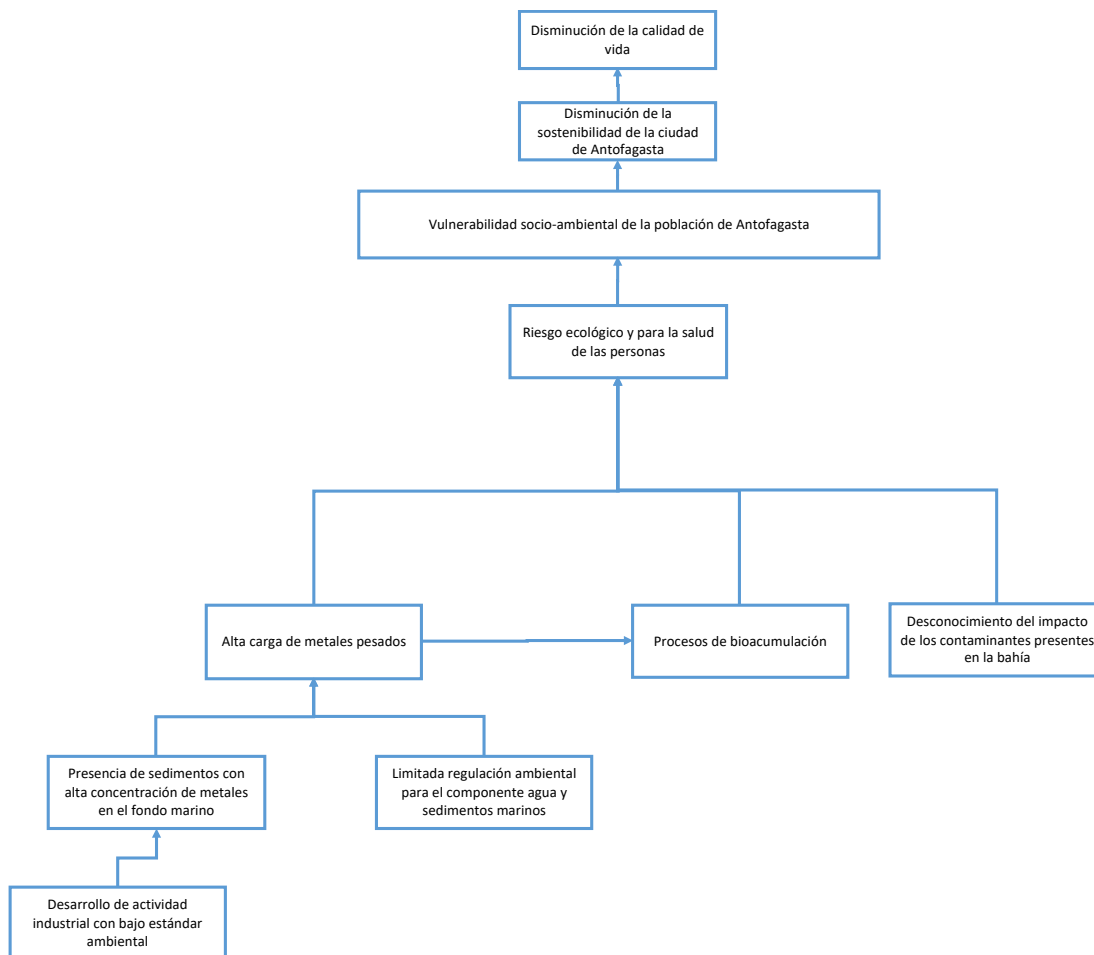


Figura 5.5-13 Árbol de problemas.

5.5.5.2. *Diagnóstico de la necesidad del programa*

5.5.5.2.1. Dimensión del problema

El problema que plantea esta propuesta “**Vulnerabilidad socio-ambiental de la población de Antofagasta**”, se encuentra directamente relacionado con el uso y estado actual de la bahía, siendo este recurso un factor estratégico para la sustentabilidad y sostenibilidad del territorio, factor que se incorpora de forma prioritaria en políticas públicas medioambientales a nivel internacional, nacional y regional.

5.5.5.2.1.1. Marco regional, nacional e internacional

I. Marco regional

i. **Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020**

Este programa se enmarca en el lineamiento 3 “Región Sustentable” de la Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020, donde se propone proteger el Medio Ambiente y sus recursos naturales, promoviendo la sustentabilidad del territorio.

A través de este lineamiento se reconoce las particularidades geográficas y sociales de la región, junto con establecer que existen presiones de las actividades económicas sobre los recursos naturales, especialmente sobre los recursos hídricos y biodiversidad. En particular este lineamiento plantea *“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”*, lo que concuerda a cabalidad con lo que se pretende abordar en este programa.

ii. **Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta (2002) y Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030**

La estrategia regional 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 “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. Respecto de esta estrategia, cabe señalar que si bien fue evaluada en 2015 no cuenta con una versión actualizada. Sin embargo, en 2017 se presenta la “Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030”, de alcance país y cuyos objetivos estratégicos incluyen *“Desarrollar la conciencia, la participación, la información y el conocimiento sobre la biodiversidad, como base del bienestar de la población”*, el cual considera el desarrollo de una red de monitoreo de la biodiversidad terrestre y acuática tanto continental como marina; el desarrollo de mecanismos institucionales para la investigación, monitoreo y

evaluación del estado de la biodiversidad marina y costera del país; y la educación y difusión permanente en materias de conservación marina. Asimismo, se define el objetivo *“Promover el uso sustentable de la biodiversidad para el bienestar humano, reduciendo las amenazas sobre ecosistemas y especies”*, el cual considera la aplicación de mecanismos públicos y privados de incentivo a prácticas productivas sustentables en las actividades que afectan a los ecosistemas y las especies en el ámbito marino e islas oceánicas.

iii. Plan Región Antofagasta 2018-2022

Dentro de las prioridades regionales de este plan, se encuentra el desarrollo territorial y calidad de vida de la comuna y la región, incluyendo acciones para la recuperación ambiental y la recreación de la comunidad.

iv. Plan de Desarrollo Comunal de Antofagasta (Pladeco) 2013-2022

Dentro de los lineamientos estratégicos de este plan se encuentra *“Crecimiento sustentable con capital humano”*, lineamiento donde se incluyen como objetivos *“El desarrollo productivo de Antofagasta será sustentable, aprovechando los recursos del territorio comunal”* y *“La comuna contará con un borde costero sin contaminación”*. Asimismo, se establece el lineamiento *“Antofagasta conectada e integrada”*, donde se señala como objetivo *“La comunidad ha adquirido hábitos de cuidado ambiental y cuida su ciudad”*.

II. Marco nacional

i. Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030

Este instrumento tiene como misión *“Impulsar la conservación de la biodiversidad del país, en todos sus niveles, en un marco de buena gobernanza territorial, que garantice el acceso justo y equitativo a los bienes y servicios ecosistémicos para las generaciones actuales y futuras, y fomente las capacidades del país para resguardar, restaurar y usar sustentablemente este patrimonio y legado natural”*. Dentro de los objetivos y lineamientos estratégicos de este instrumento se encuentran:

- OEI. Promover el uso sustentable de la biodiversidad para el bienestar humano, reduciendo las amenazas sobre ecosistemas y especies.
 - Identificación, promoción y apoyo en la implementación de buenas prácticas productivas, conducentes a reducir el grado de amenaza de la contaminación sobre los ecosistemas naturales, incluyendo la reducción de sustancias químicas tóxicas sobre suelos y aguas.
 - Desarrollo de acciones para el uso eficiente del agua, el manejo apropiado y restauración de los suelos, en el marco del combate a la desertificación, disminuyendo la presión de uso del agua desde acuíferos agotados.
- OEII. Desarrollar la conciencia, la participación, la información y el conocimiento sobre la biodiversidad, como base del bienestar de la población.

- Fomento de la importancia de la conservación de la biodiversidad, incrementando su valoración económica y no económica por parte de todos los sectores de la población, a través de los instrumentos de educación formal y no formal en todos sus niveles y la sensibilización a distintos organismos públicos y privados.
- Difusión y transferencia de conocimientos e información a la ciudadanía, relativa a la biodiversidad y sus factores de amenaza, a través de distintas plataformas y mecanismos de difusión y acceso público.
- Fortalecimiento de los mecanismos institucionales para la participación social en la toma de decisiones para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad, especialmente en el nivel local.

III. Marco internacional

i. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

A nivel mundial, el Programa de Desarrollo para las Naciones Unidas (PNUD), ha establecido los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), 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. Chile, como estado miembro del PNUD, suscribió y comprometió el cumplimiento de este programa. Dentro de estos objetivos, se encuentra “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, el cual define entre sus metas:

- De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
- De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

Adicionalmente, estudios hacen referencia a la problemática central. Según el informe “Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016” de la OCDE, en la última década Chile ha logrado avances considerables en materia de política ambiental. Sin embargo, existen desafíos relevantes en torno a los recursos hídricos. Uno de estos desafíos es la escasez y contaminación del agua, especialmente en zonas donde se concentra la agricultura y la minería.

En relación a la calidad de agua, el informe de la OCDE señala que es en la región central del país donde existen los principales problemas de contaminación. El limitado acceso a plantas de tratamiento de aguas servidas, sumado a las grandes escorrentías de tierras agrícolas han implicado una acumulación de residuos orgánicos en los estuarios, humedales y lagos costeros. Asimismo, en el norte del país la actividad minera ha generado un aumento en los niveles de cobre y sales en algunos ríos.

El informe de la OCDE señala que Chile, entre otras medidas, debe:

- Adoptar normas secundarias de calidad de las aguas superficiales para la mayoría de las cuencas fluviales del norte, que son particularmente afectadas por la minería.
- Diseñar normas adecuadas para las aguas subterráneas.
- Mejorar la obtención de datos para evaluar el estado de los cuerpos de agua y las zonas costeras.
- Eliminar la práctica que tienen algunos municipios de descargar aguas servidas en el mar tras sólo realizar un tratamiento primario.
- Recopilar datos oficiales acerca del tratamiento de aguas en zonas rurales.

Complementariamente, según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), todavía se está a tiempo para que los estados decidan frenar la contaminación y restablecer la calidad de los ríos y lagos ya contaminados. Para ello, la UNEP recomienda:

- Monitorización, ya que medir constantemente y recabar datos permite comprender la magnitud del desafío mundial respecto de la calidad del agua. Se debe enfatizar el monitoreo de ríos acerca de los cuales no se tienen datos.
- Evaluaciones, toda vez que se requiere identificar lugares prioritarios y acciones recomendadas.
- Implementar nuevas opciones técnicas y de gestión, ya que los países en desarrollo tienen la oportunidad de implementar opciones técnicas modernas para gestionar la calidad del agua, dejando de lado enfoques tradicionales que en otros países no lograron los resultados esperados
- Establecer instituciones efectivas, puesto que se necesita crear instituciones fuertes, con recursos, que puedan implementar las acciones correctas para controlar la contaminación del agua

5.5.5.2.1.2. Cuantificación del problema

Antofagasta y su costa constituyen un sistema ambiental con un fuerte componente antrópico, donde históricamente se ha desarrollado una industria enfocada a la minería y a los procesos de transferencia de agentes potencialmente contaminantes, lo que conlleva a suponer la existencia de pasivos ambientales en el sedimento marino. Si bien en la actualidad se han incorporado nuevas tecnologías que permiten disminuir o eliminar la incorporación de materiales potencialmente contaminantes, siguen existiendo procesos

antrópicos que no estarían siendo cuantificados desde el punto de vista del impacto ambiental, como son por ejemplo las descargas puntuales a través de emisarios submarinos.

Así, la bahía San Jorge ha sido ampliamente estudiada a nivel científico y técnico. El estudio “Levantamiento de información para el control ambiental de la bahía de San Jorge, código BIP 30059576 ejecutado entre los años 2007 y 2010, evaluó la calidad ambiental de San Jorge en base al análisis e integración de las tres principales matrices ambientales: sedimentos, agua y comunidades biológicas. Dentro de las conclusiones de este estudio, se establece que las aguas de la bahía San Jorge cumplen con la Norma Primaria vigente a esa fecha en el territorio, de manera que son aptas para uso recreacional con contacto directo.

Puntualmente, se observó evidencia de niveles de Cu, Zn y Pb en las aguas de la bahía, que, si bien no sobrepasaban la Norma de Calidad Primaria para Aguas Marinas y estuarinas, sugerían un aporte desde los puestos de embarque de minerales. Así, Coloso y Puerto Antofagasta, serían áreas en donde se evidencia el impacto de la actividad industrial dentro de la bahía.

Asimismo, se estableció que los sedimentos de la bahía San Jorge presentaron cargas importantes de metales pesados, siendo una parte de ellos consecuencia de los aportes naturales producidos en el ambiente marino. Sin embargo, existían metales como el Cu, Zn y Pb que evidenciaron un enriquecimiento asociado a la actividad de embarque de minerales que se desarrolla en la bahía. Los sectores que evidenciaron este enriquecimiento corresponden a Coloso Puerto Antofagasta y Petroleras.

Finalmente, el contenido de metales en los organismos bentónicos submareales e intermareales fue muy variable. Sin embargo, al igual que en el caso de los sedimentos, los sectores con concentraciones más altas correspondieron a Coloso, Puerto Antofagasta y Las Petroleras. Se observó en algunos sectores procesos de biomacumulación de metales en diferentes especies de organismos (algunos de ellos de importancia comercial), lo que sugiere la necesidad de realizar estudios de riesgo ecológico para evaluar el real impacto sobre estas comunidades bentónicas y la salud humana.

Como se puede observar, este y otros estudios entregaron información sobre el estado ambiental de la bahía. Sin embargo, no existía información sobre el impacto que generarían los contaminantes presentes sobre los sistemas ecológicos de la bahía y el efecto en la salud de las personas a través de las vías de exposición (dérmica, consumo de agua e ingestión de recursos de mar). Es así como en 2017 se inicia el proyecto “Análisis de Riesgo Ambiental en Bahía San Jorge, Antofagasta” código BIP 30130908-0 cuyo objetivo fue identificar niveles de impacto ambiental a consecuencia de la existencia de sustancias potencialmente contaminantes en la bahía San Jorge, Antofagasta, para luego realizar una evaluación de riesgo ecológico (ERE) y de riesgo para la salud humana (ERSH).

A partir de este estudio, es posible señalar que la columna de agua de la bahía San Jorge, en términos de los parámetros de condición instantánea tales como DBO5, oxígeno disuelto, pH, Potencial Redox y temperatura no presentaron una variación temporal definida. La totalidad de los registros históricos están dentro de los límites sugeridos por el D.S. N°144/2009, EPA WQG/2009 CCC (Criterion Continuous Concentration) y CCME/2007 (Canadian Council of Ministers of the Environment).

Entre los parámetros definidos como “otros de interés ambiental”, destacan los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales que presentaron una tendencia a la disminución dentro de los últimos años de monitoreo. Los valores más elevados de concentración se registraron entre Puerto y Centro de Bahía.

Considerando los agentes contaminantes no metálicos, el ion amonio presentó una tendencia de disminución luego de un peak de concentración entre 1997 y 1998, con valores gradualmente menores hasta la actualidad. En el caso de los hidrocarburos totales de petróleo todos los registros están por debajo de diversos límites de detección (<1,0 y <10 mg/L), por lo tanto, no se puede analizar variación temporal. Al igual que los “otros parámetros de interés ambiental”, las mayores concentraciones se registraron entre el sector Puerto y Centro de Bahía.

Por otra parte, en lo que se refiere a los nutrientes, el nitrógeno en su forma oxidada como nitrato no presentó grandes variaciones, manteniéndose constante la concentración con un peak en el año 2004. En el caso del fósforo total se observó un patrón de disminución, con concentraciones más altas durante 1994.

Las concentraciones de bacterias coliformes fecales y coliformes totales no presentaron un patrón definido, solo concentraciones mayores en el período 1995-1996. El 1,76% de los registros históricos superan el valor máximo establecido en la normativa nacional por el D.S. N°144 del 2009 para coliformes fecales en agua marina.

El análisis de la variación temporal histórica de las concentraciones de metales y metaloides en la columna de agua de la bahía San Jorge arrojó que las fracciones totales de cobre, cromo, plomo y zinc presentaron un patrón de disminución, donde los valores más elevados se registraron entre los años 1993 y 2003. Los registros de cobre disuelto mostraron un aumento de las concentraciones desde el año 2014. Por otro lado la fracción disuelta de zinc presentó un patrón de ciclicidad, donde las concentraciones más elevadas se registraron en 2007 y 2010. En el caso del plomo y cromo disueltos, los valores más elevados se registraron entre 2007 y 2008. Las fracciones totales y disueltas de mercurio se mantienen estables en el tiempo, mientras que las de arsénico y cadmio mostraron que no existe un patrón histórico definido.

En cuanto a la variación espacial de los registros dentro de los sectores de la bahía, las mayores concentraciones de arsénico disuelto y total, cromo disuelto, hierro disuelto y zinc total se presentaron en el sector Puerto. Asimismo, en el caso del cadmio total, cobre disuelto y total, cromo total, mercurio disuelto, plomo total y zinc disuelto los mayores registros se presentaron entre los puntos de referencia 3-Puerto y 4-Centro de Bahía. Finalmente las concentraciones más elevadas de cadmio y plomo disuelto se registraron a lo largo de toda la bahía San Jorge, entre Coloso y La Rinconada.

En relación con los umbrales máximos permitidos por las normas nacionales e internacionales analizadas para metales en la columna de agua, se observó que las fracciones disueltas de cadmio, cobre, mercurio y zinc registran un alto porcentaje de excedencia en algunos de estos umbrales. En el caso de la normativa canadiense CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment; 2007) se observó que el 54,1% de los registros históricos de cadmio superaron el límite máximo. Igualmente se registró que la norma de Australia y Nueva Zelanda (2000) fue sobrepasada por un 92,0% de los registros de cobre y un 3,21% de los valores de zinc. El criterio EPA WQG/2009 CCC (concentración más alta ante la cual en una comunidad acuática puede estar expuesta indefinidamente sin que ello resulte en un efecto inaceptable) fue superado por un 19,0% de los registros de Cobre y un 11,3% de las mediciones de Mercurio. Asimismo un 12,6% de los registros de cobre sobrepasa el criterio EPA WQG/2009 CMC (concentración más alta ante la cual una comunidad acuática puede ser expuesta brevemente sin que ello resulte en un efecto inaceptable). El cobre disuelto es el parámetro que sobrepasa la mayor cantidad de normativas y en mayor proporción. Por otro lado arsénico disuelto, cromo total, plomo disuelto y vanadio total registraron la totalidad de sus valores bajo los límites máximos sugeridos por las normativas.

Los sedimentos submareales de la bahía San Jorge, en términos de parámetros de condición instantánea tales como pH, Potencial Redox y temperatura presentaron un sedimento ligeramente alcalino entre 7,50 y 8,20 unidades. En cuanto a los hidrocarburos totales de petróleo, se observó que la variación temporal muestra una tendencia al aumento dentro de los últimos años de monitoreo.

En lo que se refiere a parámetros de productividad y nutrientes, la concentración de fósforo y nitrógeno total han variado temporalmente según un patrón de disminución, donde las mayores concentraciones se registraron entre 1994 y 1996. Además, considerando la distribución espacial de las concentraciones dentro de los sectores de la bahía, se observó que los valores más altos se presentaron en el sector Puerto. La materia orgánica presentó valores promedios menores al 10% con excepción de un máximo de 31,9% registrado en el punto 110-S-An en el año 2002.

El conocimiento de la distribución de los metales traza en los sedimentos, permite determinar su disponibilidad en el sistema marino (Cosma et al., 1982), ya que su inclusión

en esta matriz ambiental representa un importante reservorio de metales desde donde pueden, eventualmente, retornar a la columna de agua por procesos de difusión y mezcla, actividad de los organismos bentónicos y resuspensión (Meyerson et al., 1981). Adicionalmente, la biodisponibilidad de metales en los sedimentos tiene una acción directa sobre algunas especies acuáticas, muchas de las cuales acumulan altas concentraciones con efectos crónicos en sus poblaciones (Acosta et al., 2002).

En general, las concentraciones históricas de los distintos metales y metaloides estudiados en los sedimentos submareales de la bahía San Jorge, indican que existe un patrón de disminución en la variación temporal para el cadmio, cobre, plomo y zinc donde las mayores concentraciones fueron registradas en la década de los 90. Por el contrario, el arsénico y cromo presentaron un patrón de crecimiento para el último período de monitoreo y es en esta etapa donde la mayor cantidad de muestras superaron las normativas nacionales e internacionales. Por otra parte, el mercurio no ha presentado un patrón claro de evolución y los registros de hierro mostraron las mayores concentraciones entre el 2014 y 2015 evidenciando un patrón de disminución hacia el 2018. En cuanto a la distribución espacial de las concentraciones de todos los metales pesados analizados, se observó que los valores más altos se presentaron en el sector Puerto.

El análisis con respecto a las concentraciones máximas permitidas por los cuerpos normativos analizados mostró que todos los metales superaron el límite máximo permitido por la normativa nacional definido por el MOP (1994), el cual se constituye como el umbral más permisivo en cuanto a concentración de arsénico, cobre, mercurio y plomo. Ordenados de mayor a menor porcentaje, según los registros históricos por sobre la normativa, se tiene que Cu (58,2%) > Zn (49,4%) > Pb (44,3%) > Cd (42,9%) > Hg (39,2%) > Cr (7,39%) > As (4,81%). Por otra parte, el valor más restrictivo es presentado por la norma canadiense de calidad de sedimentos para protección de la vida acuática (CCME, 2002), el valor ISQG (concentración bajo la cual raramente ocurren efectos biológicos adversos en la biota) es superado por todos los metales y ordenados de la misma manera que anteriormente se tiene que Cu (83,5%) > Pb (61,1%) > Zn (51,0%) > Cd (48,9%) > Hg (46,6%) > As (33,2%) > Cr (7,67%). Es necesario señalar que para el caso del hierro no existen valores normados en la legislación revisada.

Cobre, plomo y zinc son los metales que tienen un mayor porcentaje de registros históricos por sobre la normativa (nacional e internacional) en sedimentos. Dichos metales constituyen los principales productos de la actividad minera que son almacenados y exportados, como concentrado y otras formas, a través de los dos puertos existentes en la bahía. En general, la distribución de estos 3 metales dentro de la bahía San Jorge sugiere que las actividades antrópicas desarrolladas en la zona costera tienen un impacto sobre el contenido de metales en los sedimentos marinos, y que los puertos de embarque de mineral revisten un riesgo para las comunidades de organismos bentónicos (Calderón & Valdés, 2012).

Finalmente, considerando todas las variables anteriores, se efectuó una selección de 6 elementos potencialmente contaminantes arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc. En el caso del impacto de estas concentraciones en la componente biótica, hasta la fecha se han registrado 3 fuentes de información que contienen datos de metales en organismos: i) POAL, ii) Castro and Valdés 2012 y iii) Valdés et al. 2014. Todas con énfasis en organismos bentónicos, tanto del ambiente submareal como del ambiente intermareal. El contenido de los metales As, Cu y Pb en tejido de Chorito maico supera los límites establecidos por el DS 977/96, y el Pb además, supera los valores de referencias de La Unión Europea. Esto ocurre en la mayoría de los puntos de muestreo y en la mayoría de las campañas de muestreo. Las mayores magnitudes y varianza del contenido de los metales As, Cd, Cr, Hg y Zn en Chorito maico, ocurren en el punto de muestreo ubicado al sur del Puerto de Antofagasta; del contenido de Cu, en el punto de muestreo ubicado inmediatamente al norte del Puerto de Antofagasta; y del contenido de Pb, en los puntos de muestreo ubicado al sur e inmediatamente al norte del Puerto de Antofagasta.

Al considerar el contenido de metales en el tejido de la Pulga de mar, en general, las mayores magnitudes de los metales analizados se observaron en los organismos recolectados desde Playa Paraíso. En ambos sectores de muestreo los organismos presentaron mayor contenido de Plomo en comparación con el resto de los metales. El contenido de Plomo en los organismos provenientes de ambos sectores, supera los límites establecidos por la normativa nacional DS. 977/96 (2 mg/Kg) y la referencia de la Unión Europea (1,5 mg/Kg).

Al considerar en análisis de metales en organismos con un enfoque en las redes tróficas, se observó biomagnificación de Cu y Zn en las especies carnívoras *H. helianthus* (Sol de mar), *Octopus* sp. (Pulpo), *L. magallanica* (Estrella negra) y *Concholepas concholepas* (Loco) en La Chimba. La biomagnificación de Pb se observó en *H. helianthus* en Carrizo y La Chimba, y solamente en los carnívoros *Octopus* sp. y *L. magallanica* en La Chimba. En el caso de Carrizo, se observaron elevados valores de biotransferencia de Pb en la secuencia *Fissurella* sp., *Crassilabrum* sp. y *H. helianthus*, lo cual sugiere un proceso de biomagnificación efectivo.

Los procesos de biomagnificación de Cu y Pb registrados en Carrizo, La Chimba y La Rinconada coinciden con las máximas concentraciones de estos metales registradas dentro de la bahía San Jorge, lo cual sugiere una cierta influencia de la carga de metales en los sedimentos donde viven estos organismos bentónicos.

Con respecto a la normativa asociada al consumo humano de recursos marinos, los contenidos de Plomo y Cobre exceden los límites establecidos por la referencia nacional DS. 977/96, en los recursos Loco, Pulpo, Locate, Lapa, Ostión y Navajuela. Lo anterior adquiere mayor relevancia al considerar que estos recursos representan los mayores desembarques de la pesca artesanal, constituyendo una potencial vía de exposición del ser humano a

metales por ingesta de éstos, sin embargo, estos resultados se deben tomar con cautela porque provienen de muestreos puntuales que carecen de replicabilidad temporal.

Tomando en consideración los resultados de los análisis de la columna de agua de la Bahía se concluye que los elementos de preocupación para la salud poblacional presentes corresponden a arsénico y coliformes fecales.

Estos contaminantes producen efectos distintos, las coliformes fecales enfermedades gastrointestinales (diarreas) y dérmicas (impétigo) de efecto agudo. El arsénico es un metaloide que no tiene ninguna función en el organismo humano y dependiendo de la dosis puede producir intoxicaciones y enfermedades crónicas, entre las más importantes promover cánceres de piel, pulmón y riñón y vías urinarias.

En relación con los flujos de origen antrópico, a través de los datos del RETC, se identificó que la comuna de Antofagasta presenta ingresos de materiales metálicos a la bahía a través de RILES que no guardan relación a los procesos unitarios de las empresas que los emiten, por cuanto éstas se encuentran asociadas al rubro eliminación de desperdicios y aguas residuales- saneamiento y actividades similares (plantas de tratamiento de aguas). Los metales y metaloides que más se emiten serían hierro, manganeso, boro, cobre y estaño, pero no tendrían significancia en términos de cantidad al compararlo con otras bahías, a excepción del boro que presenta un aporte constante durante los últimos años. No se aprecia un aporte de nutrientes ni de otros parámetros que afecten la física del medio marino, no ocurre así con el indicador de tensoactivos que muestra aportes mayores en la comuna de Antofagasta en comparación a las demás bahías colindantes, por lo que se debe tener especial atención a este agente, el cual también tiene su origen en los emisarios asociados a la industria de saneamiento de aguas.

Como resultado de la evaluación del riesgo ecológico (ERE), se destacan los altos cocientes de riesgo para los sedimentos según todos los criterios considerados, teniéndose que para los metales analizados: arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc, las probabilidades de que exista un riesgo sobre los organismos sensibles para la matriz sedimento son mayores al 50%. Sin embargo, esta probabilidad para los mismos metales en la matriz agua, tiene valores mucho menores sin superar el 34%.

Por otro lado, a partir de los resultados de la evaluación de riesgo para la salud humana (ERSH), se destacan dos elementos en los que se debe tener un cuidado especial. El primero corresponde al cadmio, que es el único en poseer un índice de peligro de exposición mayor a 1, y el segundo elemento corresponde al arsénico, el cual presenta un riesgo incremental de cáncer.

5.5.5.2.1.3. Fuentes de información

- Estudio “Análisis de riesgo ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta”
- Estudio “Levantamiento de información para el control ambiental de la bahía de San Jorge”
- Gobierno Regional de Antofagasta.
- Comisión Nacional de Medio Ambiente.
- Plan Región Antofagasta 2018-2022.
- Plan de Desarrollo Comunal de Antofagasta 2013-2022.
- Programa de Desarrollo para las Naciones Unidas.

5.5.5.2.2. Justificación de la necesidad del programa

A partir del árbol de problemas se identifica el siguiente árbol de objetivos.

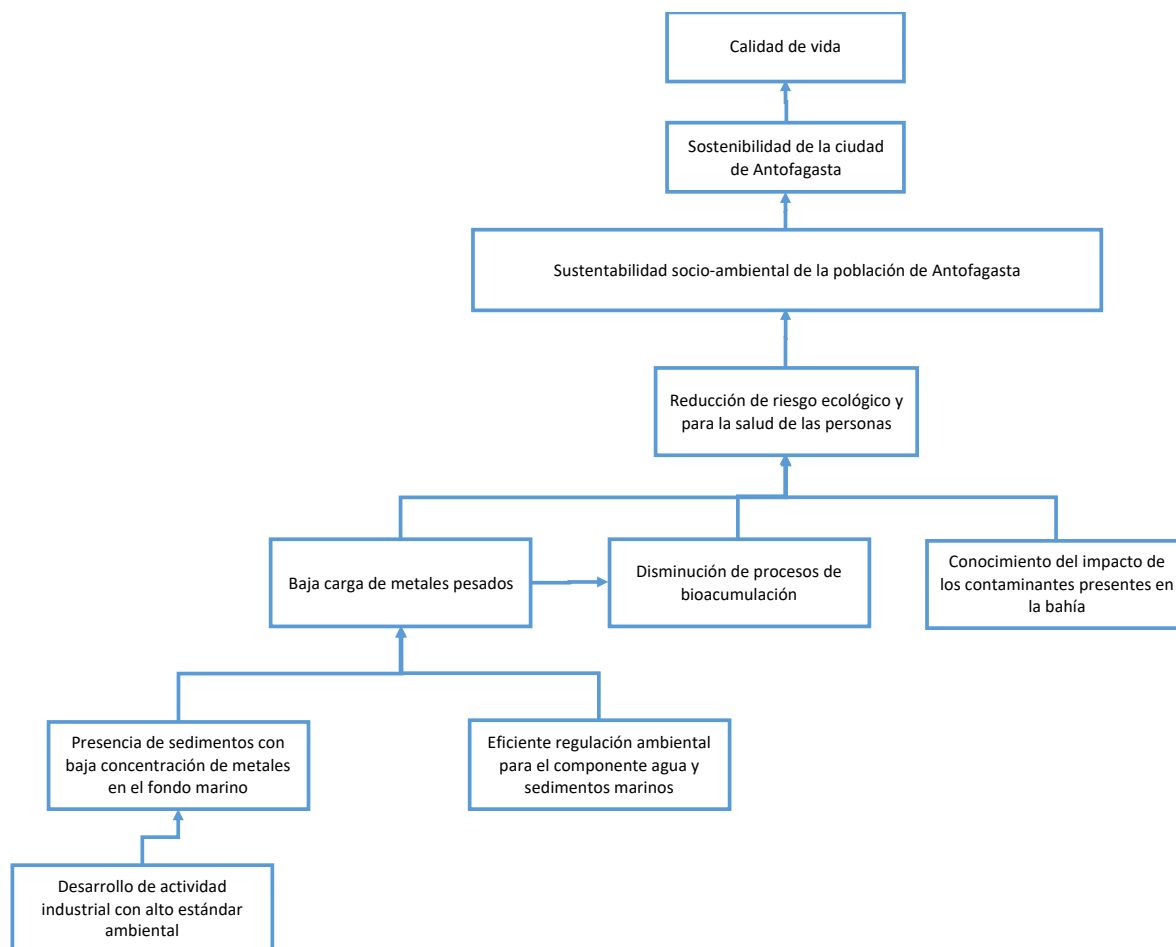


Figura 5.5-14 Árbol de objetivos.

A partir de este árbol, se identifican las siguientes alternativas de solución:

Tabla 5.5-14: Alternativas de solución

Causa	Alternativa de solución
Desarrollo de actividad industrial con bajo estándar ambiental.	Implementación de plataforma de información sobre el estado de la bahía. Esta solución será abordada a través de la primera iniciativa de la cartera de proyecto (Tdr).
Presencia de sedimentos contaminantes producto de la descarga de residuos líquidos en la bahía.	Evaluación y diseño de alternativas como dragado de sedimentos.
Limitada regulación ambiental.	Esta causa no será abordada.
Desconocimiento del impacto de los contaminantes presentes en la bahía.	Implementación de actividades de difusión y educación de la problemática ambiental.

Fuente: Elaboración propia en base a árbol de problemas y objetivos.

5.5.5.3. Factores de riesgo

Tabla 5.5-15: Factores de riesgo identificados para el programa.

Riesgo	Tipo	Probabilidad	Plan de contingencia
Baja evaluación económica social de alternativas definidas	Interno	Baja	a) Búsqueda de alternativas adicionales para disminuir la exposición a sedimentos con alta carga de metales.
Baja participación en actividades de difusión	Interno	Baja	a) Involucramiento inicial de líderes de cada segmento a través de talleres de sensibilización.

5.5.6. Objetivos

5.5.6.1. Fin

Contribuir a la sustentabilidad social, ambiental y económica de la ciudad de Antofagasta, mediante el aseguramiento de la calidad ambiental y los servicios ecosistémicos provistos por la bahía San Jorge.

5.5.6.2. Propósito

La ciudad de Antofagasta cuenta con una planificación de corto plazo que contiene acciones concretas para disminuir la carga de metales pesados de la bahía San Jorge, lo que permitirá minimizar el riesgo ecológico del territorio y favorecer la salud de las personas que habitan este territorio.

5.5.7. Poblaciones

5.5.7.1. Población de referencia

La población afectada por el problema antes descrito, corresponde a los habitantes de la comuna de Antofagasta, que se distribuye de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 5.5-16: Población de referencia.

Comuna	Mujeres	Hombres	Total
Antofagasta	180.027	181.846	361.873

Fuente: Censo 2017, INE.

5.5.7.1.1. Descripción de la población

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 para la región 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.

5.5.7.2. Población potencial

La población potencial corresponde a aquellas personas que desarrollan alguna actividad productiva que depende de los servicios ecosistémicos de la bahía San Jorge. Dentro de éstas se contemplan actividades mineras, pesqueras y turísticas además de actividades de fomento desarrolladas por actores públicos.

Asimismo, la población potencial está compuesta por toda la comunidad que habita la ciudad de Antofagasta.

Considerando lo anterior, en particular se identifican los siguientes segmentos:

- Empresas que desarrollan actividades productivas del área minera, pesca o turismo.
- Personas que pertenecen a comunidades y asociaciones indígenas localizadas en la comuna de Antofagasta.
- Operadores turísticos de la comuna de Antofagasta.
- Organizaciones de la sociedad civil.
- Niños y jóvenes en edad escolar matriculados en establecimientos certificados por

¹ www.censo2017.cl.

² Reportes estadísticos distritales 2017. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

el Ministerio del Medio Ambiente de la comuna de Antofagasta.

5.5.7.2.1. Descripción de la población potencial

La comuna de Antofagasta tiene una superficie de 30.718,1 km². De acuerdo al Censo 2017, tiene una población de 361.873 habitantes (180.027 mujeres y 181.846 hombres), de los cuales el 21,1% se ubica en un rango etario de menos de 15 años; un 71% entre 15 y 64 años y un 7,9% en un rango superior a 65 años.

El 8% de la población declara pertenecer a algún pueblo originario, siendo la Mapuche (36,4%), Aymara (22,0%), Diaguita (14,3%) y Lican Antai (9,9%) las etnias con mayor incidencia dentro de la población. Al 2019, en la comuna se encontraban registradas 5 asociaciones indígenas y 5 agrupaciones indígenas³

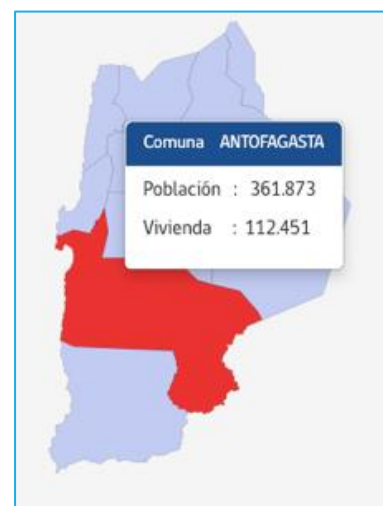


Figura 5.5-5. Mapa Comuna de Antofagasta

Tabla 5.5-17: Asociaciones indígenas de la comuna de Antofagasta.

Nombre	Nº de socios
Asociación de Agricultores Indígenas de Antofagasta o Asaia	30
Asociación Agricultores Indígenas Nuevo Amanecer Antofagasta o Aina	25
Asociación Indígena de Regantes y Agricultores del Kilómetro 12 de Antofagasta	53
Asociación Indígena Productiva Altos La Portada	42
Asociación Urbana De Antofagasta	6
Total	156

Al 2016, la comuna contaba con 20.186⁴ empresas, de las cuales el 65,2% pertenecían al segmento de microempresa; 19,5% al segmento pequeña; 3,0% al segmento mediana; y 1,0% al segmento de grandes empresas. La siguiente tabla, muestra el total de empresas y trabajadores, según rubro económico en la comuna.

Tabla 5.5-18: Número de empresas y número de trabajadores por rubro económico, comuna de Antofagasta.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	134	1.191
Pesca	34	216
Explotación de minas y canteras	198	5.397

³ Estadísticas sociales indígenas. Región de Antofagasta. Documento Elaborado por la Unidad de Estudios Dirección Nacional CONADI, 2019.

⁴ Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán empresas de los rubros pesca, minería y suministro de electricidad y agua.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Industrias manufactureras no metálicas	800	9.620
Industrias manufactureras metálicas	848	11.366
Suministro de electricidad, gas y agua	37	3.507
Construcción	2.202	30.015
Comercio al por mayor y menor	6.623	18.431
Hoteles y restaurantes	1.238	5.154
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	2.347	8.786
Intermediación financiera	414	1.097
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	3.169	14.279
Adm. pública y defensa, planes de seg. social	10	4.672
Enseñanza	198	7.126
Servicios sociales y de salud	641	3.393
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	1.181	2.634
Consejo de administración de edificios y condominios	21	182
Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
Sin información	91	22
Total	20.186	127.088

Fuente: Reportes Estadísticos Comunes, 2017.

Respecto de los operadores turísticos que se sitúan en la comuna, a abril de 2020 se encontraban registrados 229 operadores segmentados en 41 clases⁵.

Tabla 5.5-19: Número de operadores turísticos por clase, comuna de Antofagasta.

Clase	Número de operadores
Agencia de viajes emisiva	2
Agencia de viajes receptiva y emisiva	4
Alquiler de automóviles	4
Alquiler de bicicletas	1
Apart - Hotel	9
Artesanía Independiente.	2
Bed and Breakfast, Alojamiento Familiar u Hospedaje Rural	1
Buceo en apnea	2
Buceo recreativo autónomo	1
Canotaje	2
Casino de Juego	1
Centro Cultural	1
Centro o feria artesanal.	3
Cicloturismo	1
Departamentos Turísticos y/o Ejecutivos	2
Deslizamiento sobre arena o sandboard	1
Deslizamiento sobre olas (Surf, Bodyboard, Kneeboard y similares)	2
Desplazamiento en cables: Canopy, Tirolesa y Arborismo	1
Especializado	1

⁵ <https://registro.sernatur.cl/>

Clase	Número de operadores
Excursionismo o trekking	3
General	7
Hostal	21
Hotel	58
Local	1
Observación de flora y fauna	1
Paseos Náuticos	2
Pesca Recreativa	1
Pub	3
Recorrido en vehículos todo terreno u off road	2
Residencial	9
Restaurante	24
Salón de Té o Café	2
Senderismo o hiking	3
Servicios de Artesanía Tradicional y/o Contemporánea	1
Servicios de buses de turismo	1
Servicios de taxis de turismo	11
Servicios de transporte de pasajeros por carretera interurbana	6
Servicios de transporte permanente de pasajeros al aeropuerto	8
Tour operador doméstico o interno	9
Tour operador receptivo	7
Tour operador receptivo y emisor	6
Sin información	2
Total	229

Fuente: Registro Sernatur, 2020.

Respecto de las organizaciones de la sociedad civil, la Región de Antofagasta contaba al 2015 con 6.864 agrupaciones de este tipo, equivalentes al 3,5% del total país⁶. En el caso particular de la ciudad de Antofagasta, se encuentran 130 organizaciones segmentadas de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 5.5-20: Organizaciones de la sociedad civil, comuna de Antofagasta.

Tipo	Número de organizaciones
Asociación o Comunidad Indígena Ley 19.253	5
Asociación / Corporación	15
Funcional / Territorial- Ley 19.418	56
Fundación	19
Deportiva - Ley 19.712	4
ONG de desarrollo	3
Otro tipo	11
Sin datos	17
Total	130

⁶ Mapa de las organizaciones de la sociedad civil, 2015. Centro UC Políticas Públicas.

Fuente: Catastro de Organizaciones, Fondo de Fortalecimiento de las Organizaciones de Interés Público, 2020.

Finalmente, respecto de los establecimientos educacionales de la comuna que han aprobado la certificación del SNCAE, al 2019 la comuna contaba con 20⁷ establecimientos con nivel de certificación básico, medio y de excelencia.

Tabla 5.5-21: N° de establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Antofagasta.

Dependencia	Nivel de certificación				Matrícula total
	Básico	Medio	Excelencia	Total	
Jardín municipal	1	1		2	
Escuela de párvulos Marcela Paz		1		1	270
Escuela de párvulos Semillita	1			1	282
Junji		3	1	4	
Jardín infantil Bambi			1	1	s/i
Jardín infantil Caracolito		1		1	s/i
Jardín infantil Sueños de Colores		1		1	s/i
Jardín infantil Tortuguina		1		1	s/i
Municipal	1	6	3	10	
Escuela Padre Gustavo Le Paige D-65		1		1	1235
Escuela D-138 Ecológica Padre Alberto Hurtado		1		1	780
Escuela D-68 José Papic Radnic	1			1	1347
Escuela Gonzalez Echevoyen		1		1	1195
Escuela Japón		1		1	1192
Escuela N° 23 Presbiteriana		1		1	666
Escuela República de los Estados Unidos		1		1	598
Instituto Científico Educacional José Maza Sancho			1	1	614
Liceo Andrés Sabella			1	1	1.436
Liceo B-13 Domingo Herrera Rivera			1	1	1.087
Particular pagado		1	1	2	
Colegio San Patricio		1		1	731
The Antofagasta British School			1	1	817
Particular subvencionado	1	1		2	
Colegio New Heaven High School		1		1	2.217
Fundación Educacional Javiera Carrera	1			1	367
Total general	3	12	5	20	14.834

⁷ Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán solo los establecimientos de enseñanza básica y media.

Tabla 5.5-22: Matrícula en establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Antofagasta.

Establecimiento	Parvularia	Básica	Media / Técnico Profesional	Adultos	Total
Escuela de párvulos Marcela Paz	270	0	0		270
Escuela de párvulos Semillita	282	0	0		282
Escuela Padre Gustavo Le Paige D-65	104	1.131	0		1.235
Escuela D-138 Ecológica Padre Alberto Hurtado	0	780	0		780
Escuela D-68 José Papic Radnic	156	1.191	0		1.347
Escuela González Echegoyen	167	1.028	0		1.195
Escuela Japón	0	1.192	0		1.192
Escuela N° 23 Presbiteriana	71	595	0		666
Escuela República de los Estados Unidos	50	548	0		598
Instituto Científico Educacional José Maza Sancho	69	400	145		614
Liceo Andrés Sabella	160	766	510		1.436
Liceo B-13 Domingo Herrera Rivera	0	59	1.028		1.087
Colegio San Patricio	129	470	132		731
The Antofagasta British School	171	432	214		817
Colegio New Heaven High School	318	1.512	387		2.217
Fundación Educacional Javiera Carrera	0	367	0		367
Total general	1.947	10.471	2.416		14.834

Fuente: Datos abiertos de Centro de Estudios del Ministerio de Educación, 2019.

5.5.7.2.2. Criterios de identificación de la población potencial

Se utilizará como criterio, la pertenencia a alguno de los segmentos antes indicados como población potencial:

- Empresas que desarrollan actividades productivas del área minera, pesca o de servicios.
- Comunidades y asociaciones indígenas localizadas en el territorio.
- Operadores turísticos de la comuna de Antofagasta.
- Organizaciones de la sociedad civil.

5.5.7.2.3. Unidad de medida de la población potencial

Para cada segmento, se establecen las unidades de medida descritas en la siguiente tabla.

Tabla 5.5-23: Unidades de medida de la población potencial según segmento.

Segmento	Unidad de medida
Empresas de sectores dependientes de los servicios de la bahía	Empresas
Comunidades y asociaciones indígenas	Agrupaciones

Segmento	Unidad de medida
Operadores turísticos	Empresas
Organizaciones de la sociedad civil	Organizaciones

5.5.7.2.4. Cuantificación de la población potencial

En base a los segmentos definidos y a la información disponible, la cuantificación de la población potencial se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.5-24: Cuantificación de población potencial según segmento y comuna.

Segmento	Nº	Unidad de medida
Empresas de sectores dependientes de los servicios de la bahía	3.739	Empresas
Comunidades y asociaciones indígenas	10	Agrupaciones
Operadores turísticos	229	Empresas
Organizaciones de la sociedad civil	130	Organizaciones

5.5.7.3. *Población objetivo*

La población objetivo anual, para cada segmento definido, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.5-25: Cuantificación de población objetivo anual según segmento.

Nº	Segmento	Año 1	Unidad de medida
1	Empresas de sectores dependientes de los servicios de la bahía	100	Empresas
2	Comunidades y asociaciones indígenas	9	Agrupaciones
3	Operadores turísticos	229	Empresas
4	Organizaciones de la sociedad civil	65	Organizaciones

En el caso de los segmentos 2, 3 y 4, se considera que el programa será universal. En el caso del segmento 1, “Empresas de sectores dependientes de los servicios ecosistémicos de la bahía” se priorizará aquellas que cuenten con más de 100 trabajadores.

5.5.8. Beneficiarios

En términos de personas, se estima que la participación efectiva de la población será de un 95%, dado que se considerará un porcentaje menor de inasistencia a las actividades convocadas. En términos de personas, los beneficiarios se cuantifican de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5.5-26: Estimación de beneficiarios del programa.

Segmento	Total (A)	Número estimado de personas por segmento (B)	Nº estimado de personas total (A*B)	Nº estimado de participantes (A*B)*0,95
Empresas de sectores dependientes de los servicios de la bahía	100	3	300	285

Segmento	Total (A)	Número estimado de personas por segmento (B)	Nº estimado de personas total (A*B)	Nº estimado de participantes (A*B)*0,95
Comunidades y asociaciones indígenas	10	2	20	19
Operadores turísticos	229	2	458	435
Organizaciones de la sociedad civil	65	4	260	247
Total				986

Así, durante el primer año se espera haber atendido efectivamente a 986 personas.

5.5.9. Estrategia de intervención

5.5.9.1. Componentes del programa

El programa cuenta con dos componentes, que se describen a continuación.

i. Componente 1.

- a. **Nombre:** Desarrollo de plan para disminuir la exposición a sedimentos con alta carga de metales.
- b. **Fecha de inicio:** mes 1
- c. **Tipo de beneficio:** los beneficiarios contarán con un portafolio de proyectos de inversión a nivel de pre factibilidad, para ser presentado al Sistema Nacional de Inversiones.
- d. **Descripción del componente:** este componente se desarrollará en dos fases. La primera, corresponde a la realización de la evaluación técnico económica de dos alternativas de corto plazo y alto impacto que permitan eliminar los sedimentos localizados en la bahía. Estas alternativas corresponden a dragado de sedimentos, que permitiría eliminar el material orgánico fangoso que fija los contaminantes, y encapsulado de sedimentos, que permitiría tapar la vía de exposición de los organismos bentónicos a la actual materia orgánica con contaminantes. También se plantea revisar soluciones basadas en la naturaleza tal como remediación mediante el cultivo de algas. La segunda fase de este componente corresponde a la formulación del proyecto diseño del proyecto de inversión de la alternativa mejor evaluada en la primera fase, incluyendo además el estudio de evaluación ambiental.
- e.
- f. **Criterios de selección específicos:** no se consideran criterios específicos de selección.
- g. **Unidad de producción:** proyectos de inversión.
- h. **Producción:** la producción del primer año será de 2 proyectos.
- i. **Presupuesto a ejecutar: 132.410.000**

ii. Componente 2.

- a. **Nombre:** Difusión y capacitación de la problemática y soluciones definidas.

- b. **Fecha de inicio:** mes 4
- c. **Tipo de beneficio:** los beneficiarios conocerán la problemática ambiental de la bahía y podrán generar iniciativas locales para favorecer su solución.
- d. **Descripción del componente:** se ejecutará un ciclo de difusión y capacitación de la problemática actual, además de generar instancias de involucramiento con las propuestas de solución que sean desarrolladas en los componentes 1 y 2 de este programa. Este ciclo constará de talleres y seminarios de la problemática, y también de capacitación en formulación y ejecución de proyectos de innovación social que permitan a las organizaciones liderar iniciativas locales para la sustentabilidad de la bahía.
- e. **Criterios de selección específicos:** empresas, organizaciones y personas definidas según los criterios de población objetivo.
- f. **Unidad de producción:** personas capacitadas.
- g. **Producción:** la producción del primer año será de 986 personas capacitadas.
- h. **Presupuesto a ejecutar: 37.350.000**

5.5.9.2. *Actividades por componente*

- i. **Componente 1:** Desarrollo de plan para disminuir la exposición a sedimentos con alta carga de metales.
 - a. **Diseño técnico de alternativas definidas (\$18.740.000).** Los sedimentos con mayor concentración se encuentran en la zona del Puerto (Antofagasta Terminal Internacional - ATI), por lo tanto la remediación debe enfocarse en esta zona, con un radio de influencia de al menos 100 m desde las instalaciones, donde se podrá combinar entre dragado y encapsulado de sedimentos o soluciones basadas en la naturaleza (ej. remediación con algas) según factibilidad técnica-económica-ambiental. Para todas las alternativas, se realizará una evaluación de métodos y procesos que sean técnicamente viables para esta zona. En el caso del dragado, se deberá establecer además el volumen de sedimentos que serán intervenidos y se deberá realizar un análisis de opciones de disposición de estos sedimentos. Asimismo, podrán proponerse tecnologías adicionales al dragado, encapsulado o remediación con algas, que se encuentren disponibles y que puedan ser evaluadas como alternativa de solución a la problemática definida.
 - b. **Planificación (\$11.440.000).** Para cada propuesta, se elaborará un plan de trabajo detallado y se documentarán aspectos como inversión inicial, plazos de implementación, alcance, beneficios anuales y externalidades positivas y negativas.
 - c. **Obtención de indicadores de rentabilidad social para cada alternativa definida (\$6.000.000).** A partir de los diseños y planificación realizados, se deberá realizar una evaluación económica social considerando tasas y precios sociales y un flujo proyectado de costos y beneficios para un período de 15 años. A partir de este flujo, se determinará VAN y TIR social además de

indicadores como el IVAN, que permitan rankear las alternativas en términos de rentabilidad social.

- d. **Formulación de proyecto de prefactibilidad para la alternativa que presente mayor rentabilidad social (\$20.640.000).** En base al ranking generado, la contraparte técnica seleccionará las alternativas que serán implementadas en el mediano plazo las que serán traspasadas a un proyecto de inversión a nivel de prefactibilidad de acuerdo a los requerimientos del Sistema Nacional de Inversiones.
- e. **Formulación de proyecto de inversión para alternativa con mayor rentabilidad social (\$75.590.000).** La alternativa con mayor rentabilidad social deberá ser presentada como proyecto de inversión al SNI. Para ello, deberá estar acorde a la metodología requerida según la tipología de proyecto más apropiada de acuerdo a la clasificación del SNI. Este proyecto deberá estimar con mayor precisión los costos de inversión y operación y mantenimiento (en caso que se requiera) en el horizonte de evaluación, por lo que deberá contener la ingeniería de detalle de la alternativa recomendada en la etapa de prefactibilidad. En este sentido, deberán presentarse los estudios necesarios que permitan cuantificar la alternativa a desarrollar, incluyendo el respectivo estudio de impacto ambiental. De esta forma, los contenidos mínimos que deberá tener este proyecto corresponden a:
 - **Identificación del problema:** a partir de los resultados del estudio de prefactibilidad, se deberá profundizar en el detalle de la problemática identificada, utilizando como fuentes de información los estudios ya disponibles e información actualizada que den cuenta del estado de la bahía.
 - **Diagnóstico:** se deberán determinar las causas probables de las brechas detectadas, dando énfasis a aquellas relacionadas con el proyecto de inversión a desarrollar. El diagnóstico deberá incluir el análisis de la demanda, oferta y déficit actual y proyectado, identificando las posibles alternativas de solución que permitan optimizar la situación base.
 - **Alternativa de solución y diseño:** se deberá desarrollar la alternativa de solución en términos de elementos físicos y operacionales para determinar en detalle y con la menor incertidumbre posible los costos de inversión involucrados. El desarrollo deberá incluir, por tanto, documentos con mayor grado de definición que en la etapa de prefactibilidad, tales como memorias descriptivas, memorias de cálculo de los elementos o sistemas principales, especificaciones generales y especiales, especificaciones técnicas, cotizaciones proforma de elementos principales de importación si fuese necesario.

Además, debe definirse la secuencia de obras en el tiempo que permita calendarizar las inversiones. La estimación de los costos de inversión de las partidas principales requiere un análisis de precios unitarios.

- **Estudio de impacto ambiental:** como parte de la documentación a presentar para esta fase, se deberá elaborar un estudio de impacto ambiental, para lo cual deberá definirse una metodología que permita identificar, predecir y evaluar el impacto ambiental del proyecto. Para la definición metodológica deberá considerarse el marco normativo vigente, la tipología del proyecto de inversión y la información disponible, entre otros. Con la metodología definida, se deberán identificar los efectos positivos y negativos, temporales y permanentes y directos e indirectos del proyecto y hacer una valoración cuantificada de cada uno de ellos.
- **Evaluación:** se deberá determinar la rentabilidad socioeconómica de la alternativa seleccionada en la etapa anterior. Requiere una estimación detallada de acuerdo con el mayor desarrollo del anteproyecto, de los costos de inversión, costos de operación, y beneficios que se generarán durante la vida útil del proyecto. Con estos antecedentes, se obtendrán los indicadores de rentabilidad socioeconómica de corto y largo plazo para estimar el nivel de beneficios que entregará el proyecto. La evaluación debe incluir además, un análisis de sensibilidad de las variables principales.

- ii. **Componente 2:** Difusión y capacitación de la problemática y soluciones definidas.
 - a. **Talleres de inducción (\$6.650.000).** Se realizará un proceso de inducción con representantes de los segmentos empresariales y organizacionales. En estos talleres se dará a conocer la problemática existente, los avances logrados a la fecha con programas previos y se realizará la presentación del presente programa y las actividades a realizar bajo este marco.
 - b. **Talleres de capacitación en formulación y gestión de proyectos (20.900.000).** Se realizará un ciclo de capacitación en formulación de proyectos de innovación social que puedan ser liderados y presentados por organizaciones civiles del territorio. Este ciclo incluirá capacitación teórica, levantamiento de ideas, formulación de iniciativas y presentación de éstas a fuentes de cofinanciamiento público, como FNDR, FIC y Corfo, entre otras, además de lineamientos básicos para la gestión de proyectos adjudicados, incluyendo procesos de planificación, control y monitoreo, rendición de acuerdo a fuentes de financiamiento públicas y cierre.

- c. **Seminario (\$9.800.000).** Para el cierre del primer año del programa se contempla la realización de un seminario donde se presentarán las actividades realizadas y un resumen de los proyectos de inversión diseñados, además de contextualizar la problemática que da origen a este programa. En este seminario se convocará a representantes de los segmentos empresariales y organizacionales, además de la comunidad científica.

5.5.9.3. *Estrategia de intervención del programa*

Para el logro del propósito, se propone el desarrollo de dos componentes:

- Desarrollo de plan para disminuir la exposición a sedimentos con alta carga de metales.
- Difusión y capacitación de la problemática y soluciones definidas.

El primer componente, busca evaluar alternativas de corto plazo y efecto inmediato, tendientes a disminuir la exposición a sedimentos contaminantes, por alta carga de metales. En este caso, también se realizará una evaluación técnica económica y se preparará la información complementaria requerida para su presentación como proyecto de inversión, tanto a nivel de prefactibilidad como de factibilidad. En este último caso, se considera como parte de los estudios requeridos para la presentación, el respectivo estudio de impacto ambiental de la alternativa que resulte más rentable a nivel de prefactibilidad.

Finalmente, y como una forma de involucramiento inmediato de la comunidad se ejecutarán actividades de difusión y sensibilización que permitan transferir conocimientos sobre la problemática y las soluciones en desarrollo. Complementariamente, se desarrollará un ciclo de capacitación dirigido a organizaciones civiles, comunidades y empresarios de sectores usuarios de la bahía. Este ciclo estará centrado en generar competencias para la formulación y gestión de proyectos con impacto ambiental que puedan ser presentados a fuentes públicas de cofinanciamiento.

5.5.9.3.1. Tiempo de intervención

El programa considera un período de 18 meses de ejecución.

5.5.9.3.2. Criterios de egreso

En el caso de las actividades de difusión y capacitación se verificará a través de listas de asistencia y certificados de participación.

5.5.9.3.3. Sistemas de registro

Para el registro de los beneficiarios atendidos, se utilizará una planilla Excel elaborada y manejada por el ejecutor donde se registrará el RUT, nombre y organización que representa o de la cual forma parte.

5.5.9.4. *Articulaciones y complementariedades*

Este programa se complementa con el estudio “Análisis de Riesgo Ambiental en Bahía San Jorge, Antofagasta”, solicitado por el Gobierno Regional de Antofagasta el cual da origen a este programa a través de los resultados obtenidos y con el programa “Implementación de plataforma de gestión ambiental para la Bahía San Jorge, Antofagasta” en proceso de postulación y originado también a partir del estudio antes mencionado.

Por otra parte, el programa se articulará permanentemente con los actores públicos y privados que formarán parte de la gobernanza del programa “*Implementación de plataforma de gestión ambiental para la Bahía San Jorge, Antofagasta*”. Dentro de éstos se encuentran:

- 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.
- Municipalidades de las comunas involucradas.
- Organizaciones de la sociedad civil.

5.5.9.5. *Incorporación de enfoque de derechos*

El programa considera un enfoque territorial, considerando las particularidades de distintos grupos que habitan el territorio como pescadores artesanales y comunidades indígenas, aspecto que será considerado en el diseño de los proyectos de inversión y en las capacitaciones y actividades de difusión desarrolladas para estos segmentos.

5.5.10. Indicadores

Tabla 5.5-27: Indicadores de logro del propósito.

Nº	Nombre	Forma de cálculo	Unidad de medida	Periodicidad	Dimensión	Lectura	Fuente de información
1	Iniciativas presentadas al SNI a nivel de factibilidad.	Nº de iniciativas presentadas / Nº de iniciativas planificadas	Porcentual	Anual	Calidad	Ascendente	El numerador será obtenido a través del BIP. El denominador, a través de registro interno del programa.

Tabla 5.5-28. Indicadores por componente

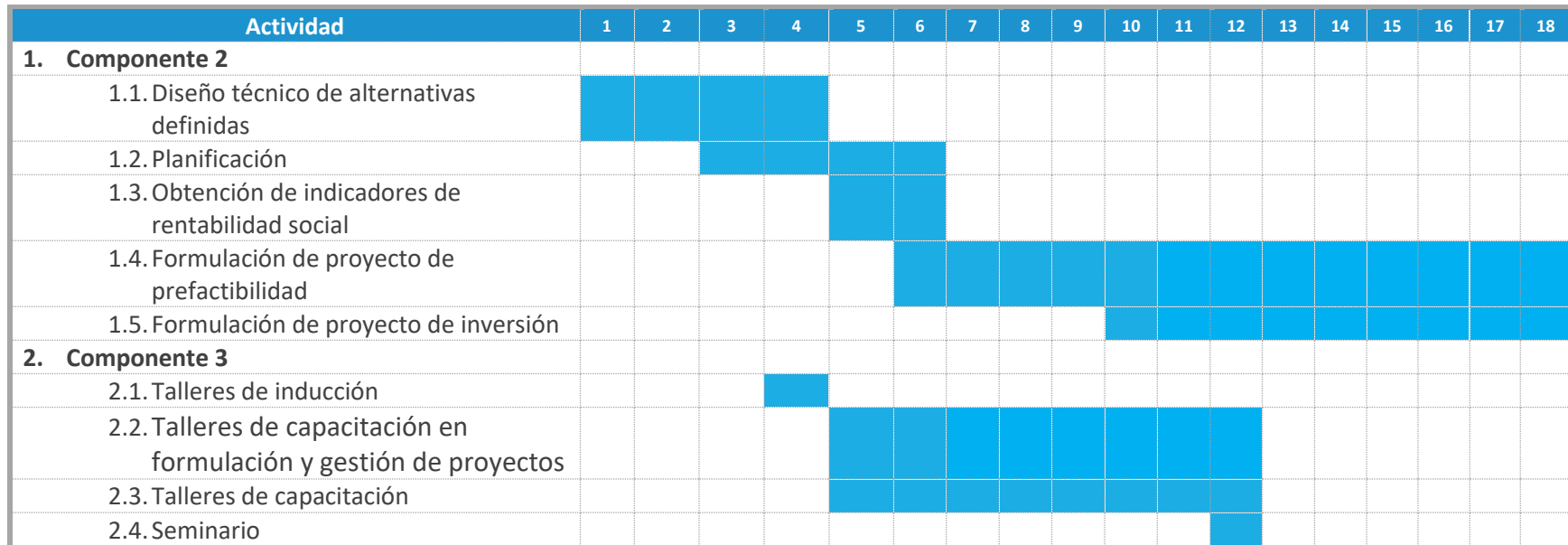
Nº	Nombre	Forma de cálculo	Unidad de medida	Periodicidad	Dimensión	Lectura	Fuente de información
Componente 1							
1	Planes de dragado y tapado de sedimentos documentadas y evaluadas.	Nº de planes documentados y evaluados / 2	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
Componente 2							
2	Empresas capacitadas	(Nº de empresas capacitados/Nº de empresas pertenecientes al territorio	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
3	Organizaciones de la sociedad civil capacitadas	(Nº de organizaciones capacitadas/Nº de organizaciones	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente.	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de

Nº	Nombre	Forma de cálculo	Unidad de medida	Periodicidad	Dimensión	Lectura	Fuente de información
		pertenecientes al territorio					registro interno del programa.
4	Comunidades y asociaciones indígenas capacitadas	(Nº de comunidades y asociaciones capacitadas/Nº de comunidades y asociaciones pertenecientes al territorio)	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente.	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
5	Personas sensibilizadas y concientizadas con la problemática	(Nº de personas que declaran conocer la importancia de la problemática/Nº de personas atendidas)	Porcentual	Anual	Eficiencia	Ascendente.	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
6	Nº de proyectos formulados por organizaciones, comunidades o empresas	(Nº de proyectos formulados/5)	Porcentual	Anual	Eficiencia	Ascendente.	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.

5.5.11. Presupuesto del programa

Detalle	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Total año 1	Total año 1	Total proyecto
Alimentación y transporte	mes	21	225.000	3.400.000	1.200.000	4.600.000
Arriendo de sala y equipamiento audiovisual	sala	11	375.000	2.100.000	-	2.100.000
Arriendo de sala y equipamiento audiovisual	taller	5	150.000	750.000	-	750.000
Café	persona	700	5.000	3.500.000	-	3.500.000
Director de proyecto	mes	18	2.000.000	24.000.000	12.000.000	36.000.000
Expositor externo (traslado, alojamiento y honorarios)	charla	1	1.500.000	1.500.000	-	1.500.000
Ingeniero Civil (especialidad ambiental)	mes	9	2.000.000	6.000.000	12.000.000	18.000.000
Ingeniero Civil (especialidad geotecnia)	mes	15	2.000.000	24.000.000	6.000.000	30.000.000
Licencias de software (ofimática y diseño)	anual	1	2.500.000	2.500.000	-	2.500.000
Licencias de software (ofimática y estadístico)	anual	1	2.000.000	2.000.000	-	2.000.000
Material de apoyo (infografía digital e impresa, pendones y otros)	set	3	633.333	1.900.000	-	1.900.000
Materiales de oficina y fungibles	mes	9	50.000	150.000	300.000	450.000
Notebook	equipo	4	1.000.000	4.000.000	-	4.000.000
Profesional administrativo	mes	12	800.000	9.600.000	-	9.600.000
Profesional área social	mes	8	1.500.000	12.000.000	-	12.000.000
Técnico (área ambiental)	mes	9	1.200.000	3.600.000	7.200.000	10.800.000
Técnico 2 (área ambiental)	mes	9	1.200.000	3.600.000	7.200.000	10.800.000
Técnico en construcción	mes	15	1.200.000	14.400.000	3.600.000	18.000.000
Telefonía móvil e internet	mes	21	60.000	900.000	360.000	1.260.000
Sub total				119.900.000	49.860.000	169.760.000
Utilidades consultora (10%)				11.990.000	4.986.000	16.976.000
Costo total de contratación del programa				131.890.000	54.846.000	186.736.000
Gastos administrativos (5%)				6.594.500	2.742.300	9.336.800
Total general				138.484.500	57.588.300	196.072.800

5.5.12. Carta Gantt



5.6 Objetivo Específico 05 (OE-05)

OE-05: Difundir las actividades del estudio

Este objetivo se ha desarrollado de acuerdo con la programación definida en el Plan de trabajo inicial. Al respecto, se mencionan las actividades de difusión a la comunidad y a las autoridades realizadas:

5.6.1 Reuniones de coordinación

Según las bases técnicas de licitación y el plan de trabajo, se han ejecutado 11 reuniones de coordinación con los siguientes detalles:

- Primera reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 24 de agosto de 2018. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\2018_08_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_1
- Segunda reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 11 de octubre de 2018. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\2018_10_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_2
- Tercera reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 19 de diciembre de 2018. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\2018_12_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_3
- Cuarta reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 28 de febrero de 2019. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\2019_02_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_4
- Quinta reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 25 de abril de 2019. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\2019_04_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_5
- Sexta reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 01 de julio de 2019. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\2019_07_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_6
- Séptima reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 30 de agosto de 2019. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\2019_08_GOA003_R58_CO_V1_Reunion_7
- Octava reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 11 de noviembre de 2019. Acta disponible en

- Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\
2019_11_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_8
- Novena reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 15 de diciembre de 2020. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\
2020_01_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_9
 - Décima reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 17 de febrero de 2020. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\
2020_02_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_10
 - Undécima reunión de coordinación e información de estado de avance con la contraparte técnica. Realizada el día 17 de julio de 2020. Acta disponible en Anexos digitales: 06_OE05\1_Reuniones_calendarizadas\
2020_07_GOA003_R58_CO_V0_Reunion_11

5.6.2 Reuniones de presentación del estudio

Se desarrollaron reuniones iniciales con el gremio de pescadores en cada sede de las respectivas caletas. El objetivo de estas reuniones fue informar a la comunidad sobre el estudio en relación con sus alcances y área de estudio. Se realizaron entre los días 20 y 30 de agosto de 2018, asociado a las siguientes listas de asistencia, disponibles en Anexos digitales en la ruta [06_OE05\2_Reuniones_inicio_pescadores]:

- 2018_08_GOA003_MIN_Consolidado_LST_Abtao_29-08
- 2018_08_GOA003_MIN_Consolidado_LST_Antofagasta_24-08
- 2018_08_GOA003_MIN_Consolidado_LST_Antofagasta_29-08
- 2018_08_GOA003_MIN_Consolidado_LST_Coloso_20-08
- 2018_08_GOA003_MIN_Consolidado_LST_Coloso_30-08

Se realizó una reunión con representantes de Caleta Coloso con objetivo de presentar e informar estado de avance del estudio por solicitud de la comunidad. Realizada el día 19 de noviembre de 2018. Asistencia disponible en Anexos digitales en la ruta: 06_OE05\2_Reuniones_inicio_pescadores\2018_11_GOA003_MIN_Consolidado_LST_Coloso_19-11

5.6.3 Reunión consulta de especies

Respecto a la selección de especies de interés para el análisis de tejido en biota, se desarrollaron reuniones de consulta a las distintas caletas presentes en el área de estudio. Éstas se ejecutaron entre los días 05 y 19 de diciembre de 2018. El listado de especies y asistencia, disponible en Anexos digitales en la carpeta [06_OE05\3_Reuniones_consulta_pescadores], son los siguientes:

- 2018_12_GOA003_MIN_Consolidado_LST_Lista_Especies
- 2018_12_GOA003_MIN_Consolidado_ConsultaLST_Abtao
- 2018_12_GOA003_MIN_Consolidado_ConsultaLST_Antofagasta
- 2018_12_GOA003_MIN_Consolidado_ConsultaLST_Coloso
- 2018_12_GOA003_MIN_Consolidado_ConsultaLST_LaChimba

5.6.4 Taller de expertos

Taller realizado el miércoles 16 de enero a las 10:00 horas, en el Auditorio de Ecología Marina, Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos, Campus Coloso, Universidad de Antofagasta. Tuvo por objetivo identificar y validar los agentes potencialmente contaminantes a monitorear, como también el listado de especies y/o comunidades de interés, obtenidas en las reuniones de consulta a las distintas caletas del sector.

Se realizaron presentaciones a académicos y expertos del servicio público, sobre el estudio y su estado de avance por parte del Dr. Manuel Contreras y sobre la Evaluación del Riesgo a la Salud Humana a cargo de la Dra. Patricia Matus.

Las presentaciones, acta, asistencia y fotografías se encuentran disponibles en Anexos digitales en la carpeta [06_OE05\4_Taller_expertos]:

- 2019_01_GOA003_PRE_CO_V1_Taller_Expertos
- 2019_01_GOA003_PRE_CO_V0_Taller_Expertos_PMatus
- 2019_01_GOA003_ACTA_Taller_Experto
- 2019_01_GOA003_MIN_CO_ListaTallerExpertos



Figura 5.6-1. Presentaciones del Taller de expertos realizados en Universidad de Antofagasta Campus Coloso, el día 16 de enero de 2019.

5.6.5 Talleres de difusión

Se realizaron los tres talleres de difusión de acuerdo con la programación definida en el Plan de trabajo inicial. A continuación se presenta el detalle de cada taller por separado con la ruta a sus anexos digitales.

5.6.5.1 Taller de difusión N°1

Actividad realizada los días 15 de mayo y 05 de junio de 2019 que tuvo por objetivo dar a conocer y difundir los resultados del primer informe de avance a los actores pertinentes involucrados con la bahía, correspondiendo a los servicios públicos, académicos de universidades locales, empresas y a las distintas caletas de pescadores artesanales presentes en el área de estudio.

Las presentaciones a cargo del Dr. Manuel Contreras, fueron realizadas en el Auditorio del Museo Regional de Antofagasta y las distintas sedes de los sindicatos de la pesca artesanal.

Los siguientes archivos de la presentación, acta, asistencia y fotografías se encuentran disponibles en Anexos digitales en la carpeta [06_OE05\ 5_Taller_difusion1]:

- 2019_01_GOA003_PRE_CO_Taller de difusión1_V1
- 2019_05_GOA003_MIN_CO_MIN_Taller_N°1
- 2019_01_GOA003_MIN_CO_Lista_asistencia_SSPP_Acad_Emp
- 2019_01_GOA003_MIN_CO_Lista_asistencia_Antofagasta_Abtao
- 2019_01_GOA003_MIN_CO_Lista_asistencia_Coloso_LaChimba

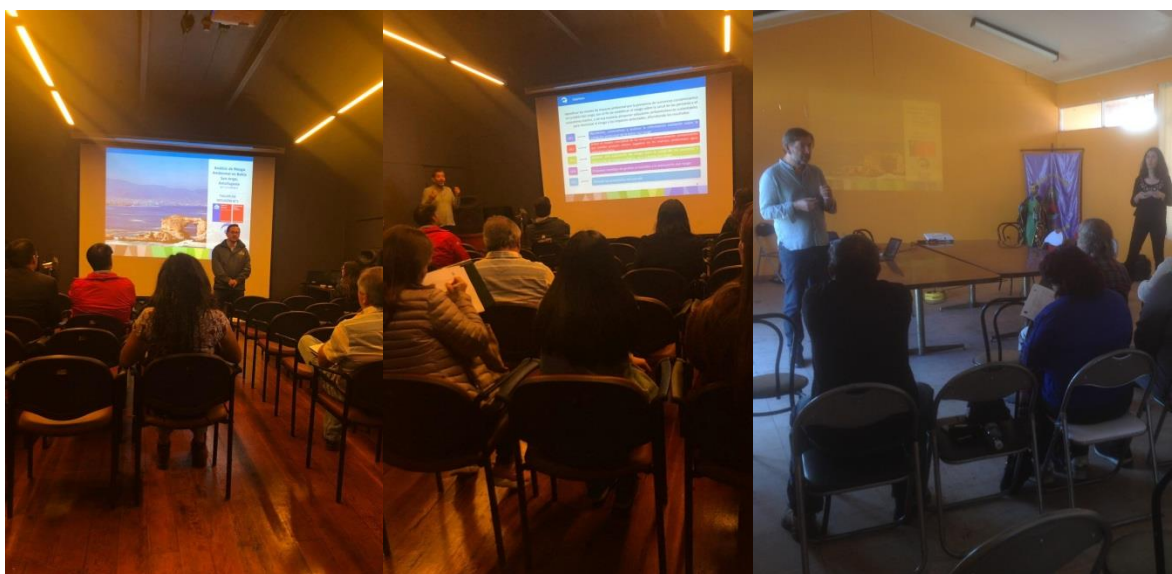


Figura 5.6-2. Presentaciones del Taller de difusión N°1 realizados el día 15 de mayo de 2019.

5.6.5.2 Taller de difusión N°2

Actividad realizada los días jueves 12 y viernes 13 de diciembre de 2019. Tuvo por objetivo dar a conocer y difundir los resultados del segundo informe de avance a los actores pertinentes involucrados con la bahía, correspondiendo a los servicios públicos, académicos de universidades locales, empresas y a las distintas caletas de pescadores artesanales presentes en el área de estudio.

Las presentaciones a cargo del Dr. Manuel Contreras, fueron realizadas en el Auditorio de la Universidad de Antofagasta, Campus Angamos, y las distintas sedes de los sindicatos de la pesca artesanal emplazados en la zona de estudio.

Los siguientes archivos de la presentación, acta, asistencia y fotografías se encuentran disponibles en Anexos digitales en la carpeta [06_OE05\ 6_Taller_difusion2]:

- 2019_12_GOA003_Taller_de_difusión 2_V0
- 2019_12_GOA003_MIN_CO_Taller_N°2
- 2019_12_GOA003_CO_Lista_asistencia_Abtao
- 2019_12_GOA003_CO_Lista_asistencia_Antofagasta
- 2019_12_GOA003_CO_Lista_asistencia_Coloso
- 2019_12_GOA003_CO_Lista_asistencia_SSPP_Emp_Acad



Figura 5.6-3. Presentaciones del Taller de difusión N°2 realizados en diciembre de 2019.

5.6.5.3 Taller de difusión N°3

Actividad realizada el día viernes 23 de octubre de 2020 a partir de las 10:30 AM. Tuvo por objetivo dar a conocer y difundir los resultados del informe final a los actores pertinentes involucrados con la bahía. Se realizó a través de videoconferencia correspondiendo como público objetivo específico, en esta ocasión, a los servicios públicos competentes y empresas presentes en el área de estudio.

La presentación a cargo del Dr. Manuel Contreras, fue realizada a continuación de una breve introducción y bienvenida por parte de la SEREMI del Medio Ambiente.

Se guardó registro de la actividad en su totalidad para quedar disponible en Anexos digitales en la carpeta [06_OE05\ 7_Taller_difusion3].

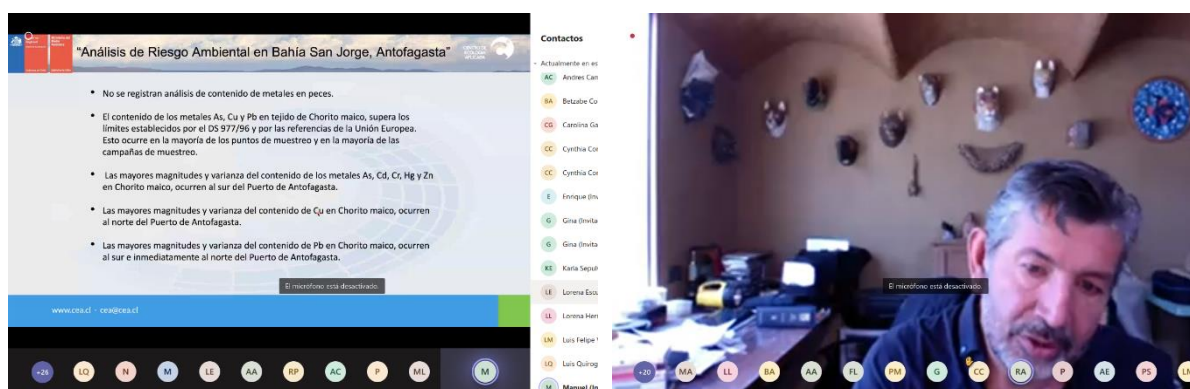


Figura 5.6-3. Presentaciones del Taller de difusión N°3 realizados en octubre de 2020.

5.6.6 Vídeo de difusión.

Producto audiovisual que muestra el trabajo realizado a lo largo del estudio, sus participantes, principales resultados y desafíos futuros. Disponible en los anexos digitales en la ruta [06_OE05\8_Video_difusion\].

5.6.7 Listas de asistencia.

Las listas de asistencia de las actividades realizadas a lo largo del estudio están disponibles en Anexos digitales en la ruta: [06_OE05\9_Listas_asistencia\].

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta V, C Lodeiros & W Senior. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia* 27: 686-690.
- Adkins ME, CA Simpfendorfer & AJ Tobin. 2016. Large tropical fishes and their use of the nearshore littoral, intertidal and subtidal habitat mosaic. *Marine and Freshwater Research* 67: 1534-1545.
- Álvarez I, IA Catalán, A Jordi & F Alemany. 2015. Interaction between spawning habitat and coastally steered circulation regulate larval fish retention in a large shallow temperate bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 167: 377-389
- Armendáriz Sáenz, N.I., Aquino Terrazas, M.T., Romero Ortiz, L., Sánchez Villavicencio, M.L., Sobrino Figueroa, A.S., Miranda Arce, M.G., 2008. Evaluación de los parámetros bioquímicos en tres macrofitas acuáticas expuestas a cobre. *Polibotánica*, 26, 149-158.
- Arribas, A.; Cunniggham, C. y Tosdal, R. 1995. Geology, geochronology fluid inclusions and isotope geochemistry of the Rodalquilar Gold Alunide deposit, Spain. *Economic Geology and the bulletin of the society*, 90(4): 795-822.
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (2000). *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*, Vol. 1.
- Avaria, S. & P. Muñoz. 1983. Composición y biomasa del Fitoplancton Marino del Norte de Chile en mayo de 1981 (Operación Oceanográfica Marchile XII-ERFEN III). *Cienc. Tecnol. Mar*, 7: 109-140.
- Aquambiente, 2008. Proyecto Planta Desaladora Sur. Planta desaladora Sur Antofagasta. Declaración de Impacto Ambiental.
- Baatrup, E., 1991. Structural and functional effects of heavy metals of the nervous system, including sense organs, of fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 100c, 253-257.
- Bears, H., Richards, J.G., Shulte, P.M., 2006. Arsenic exposure alters hepatic arsenic species composition and stress-mediated gene expression in the common killifish. *Aquat. Toxicol.*, 77, 257-266.
- Belyaeva, T. 1972. Distribution of large diatom algae in the Southeastern Pacific. *Okeanologiya*. 12 (3): 475-483.
- Boszke L., Glosinska G., Siepak J. 2002. Some aspects of speciation of mercury in a water environment. *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. 11, No. 4; 285-298.

- Bradl, H.B, Kim, C., Kramar, U., Stüben, D., 2005. Heavy Metals in the environment. Chapter 2: Interactions of heavy metals. Ed. H.B. Bradl.
- Bustos CA, MF Landaeta & F Balbontín. 2008. Spawning and early nursery areas of anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 in fjords of southern Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(2): 381-389.
- Calderón, C. & J. Valdés. 2012. Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 47(1): 121-133.
- Camus PA, Arancibia PA, Isidora Ávila-Thieme M (2013) Una caracterización trófica de los consumidores intermareales en costas rocosas de Chile. *Rev Biol Mar Oceanogr* 48:431–450. doi: 10.4067/S0718-19572013000300003
- Canadian Council of Ministers of the Environment (2002). Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of aquatic life, summary tables.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (2007). Canadian Environmental Quality Guidelines.
- Carusso, J.A., Klaue, B., Michalke, B., Rocke, D.M., 2003. Group assessment: elemental speciation. *Ecotox. Environ. Safe.*, 56, 32-44.
- Castañé, P.M., Topalián, M.L., Cordero, R.R., Salibián, A., 2003. Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. *Rev. Toxicol.*, 20, 13-18
- Castilla JC, Collins AG, Meyer CP, et al (2002) Recent introduction of the dominant tunicate, *Pyura praeputialis* (Urochordata, Pyuridae) to Antofagasta, Chile. *Mol Ecol* 11:1579–1584. doi: 10.1046/j.1365-294X.2002.01524.x
- Castro LR, GR Salinas & EH Hernández. 2000. Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 197: 247-258.
- Centro de Ecología Aplicada (2015) Diagnóstico Medioambiental y Evaluación Preliminar de Riesgo Ecológico de la bahía de Coronel.
- Centro de Ecología Aplicada (2017) Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Mejillones del Sur. Código BIP 30126368.
- Chang, L.W, 1996. Toxicology of metals. CRC, Boca Ratón, Florida, USA.

- Contreras JE, C Rodríguez-Valentino, MF Landaeta, G Plaza, MI Castillo & M Alvarado-Niño. 2017. Growth and mortality of larval anchoveta *Engraulis ringens*, in northern Chile during winter and their relationship with coastal hydrographic conditions. *Fisheries Oceanography* 1: 12.
- Cosma B, R Frache, F Baffi & A Dadone. 1982. Trace metals in sediments from the Ligurian coast, Italy. *Marine Pollution Bulletin* 13: 127-132.
- Crompton, T.R., 1997. *Toxicants in aqueous ecosystems*. John Wiley & Sons, Chichester (England).
- Datta, S., Ghosh, D., Saha, D.R., Bhattacharaya, S., Mazumder, S., 2009. Chronic exposure to low concentration of arsenic is immunotoxic to fish: Role of head kidney macrophages as biomarkers of arsenic toxicity to *Clarias batrachus*. *Aquat. Toxicol.*, 92, 86-94.
- Dávila PM, Valdés J (2015) Variabilidad temporal de las masas de agua costeras en bahía San Jorge, Antofagasta, Chile 23oS (2008-2012). *Rev Biol Mar Oceanogr* 50:61–80. doi: 10.4067/S0718-19572015000100006
- Díaz de Alba, M., Huerta-Díaz, M.A., Delgadillo-Hinojosa, F., Hare, L., Galindo-Riño, M.D., Siqueiros-Valencia, A. 2016. Trace metals partitioning among different sedimentary mineral phases and the deposit-feeding polychaete *Armandia brevis*. *Science of the total environment*, 543: 248-266.
- Eisler R. 1988. Mercury hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. *Biological Report* 85 (1.10).
- Escribano R & P Hidalgo. 2000. Spatial distribution of copepods in the north of the Humboldt Current region off Chile during coastal upwelling. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 80: 283-290.
- Escribano R, G Daneri, L Farías, VA Gallardo, HE González, D Gutiérrez, CB Lange, CE Morales, O Pizarro, O Ulloa & M Braun. 2004a. Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: A synthesis. *Deep-Sea Research, Part II* 51: 2389-2411.
- Escribano R, Hidalgo P (2000) Influence of El Niño and La Niña on the population dynamics of *Calanus chilensis* in the Humboldt Current ecosystem of northern Chile. *ICES J Mar Sci* 57:1867–1874. doi: 10.1006/jmsc.2000.0953
- Escribano R, Hidalgo P (2001) Circulación inducida por el viento en Bahía de Antofagasta, norte de Chile (23° S). *Rev Biol Mar Oceanogr* 36:43–60. doi: 10.4067/S0718-19572001000100005

- Escribano R, McLaren I (1999) Production of *Calanus chilensis* in the upwelling area of Antofagasta, Northern Chile. *Mar Ecol Prog Ser* 177:147–156. doi: 10.3354/meps177147
- Escribano, R., C. Iribarren & L. Rodríguez. 1996. Temperature and female size effects on egg production of *Calanus chilensis*: Laboratory observations. *Revista Chilena de Historia Natural*. 69: 365-377.
- Estévez J, Andrade M L, Marcet P, Montero M J. 2000. Fijación y movilidad de cadmio y zinc en tres tipos de suelos ácidos de Galicia, España. *Ciencia del suelo*, Vol. 18, Nº. 1, 28-35pp.
- European Commission (2003) Technical Guidance Document on Risk Assessment. Part II Chapter 3: Environmental Risk Assessment
- European Commission (2005). Manual on the Methodological Framework to Derive Environmental Quality Standards for Priority Substances in accordance with Article 16 of the Water Framework Directive (2000/60/EC) 51 pp.
- Ferrer, A., 2003. Intoxicación por metales. *Anales Sis. San. Navarra*, 26, 141-153.
- Fluminense F (2014) Phytoplankton biomass profiles in San Jorge Bay (Antofagasta, Chile) based on color imagery. *Ciencias Mar* 40:59–73. doi: 10.7773/cm.v40i1.2345
- FNDR-CONAMA. 2012. Estudio Levantamiento De Información Para El Control Ambiental De La Bahía De San Jorge. Director. 489 pp.
- French P. 1993. Post-industrial pollutant levels in contemporary Sven estuari intertidal desiments compared to pre-industrial levels. *Marine Pollution Bulletin* 26: 30-35.
- Galeno, C., González, J. & Lufin, M. (2014, Julio 23-26). Antofagasta y los inmigrantes: desde la praxis del asentamiento industrial al imaginario de la ciudad de servicios, 1880-1930. *XI Congreso Argentino de Antropología Social*, 22.
- Gao, M., Klerks, P.L., Wu, X., Chen, H., Xie, L. 2016. Metal concentrations in sediment and biota of the Huludao Coast in Liaodong Bay and the associated human and ecological health risks. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* (in press).
- Garcés Feliú, E. (1999). *Las ciudades del salitre: un estudio de las oficinas salitreras en la región de Antofagasta*. Santiago, Chile: Orígenes.
- Giordano P, L Musmeci, L Ciaralli, P Vernillo, J Chirico, N Piccioni & S Costatini. 1992. Total content and sequential extractions of Hg, Cd and Pb in coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin* 24: 350-357.

- González, H. 1996. Monitoreo Ambiental de Metales y Compuestos Orgánicos en ecosistemas hídricos. Apuntes para un curso de Postgrado. Universidad de Cartagena. F.C.Q.F. Cartagena.
- Grosell, M., McDonald, M.D., Walsh, P.J., Wood, C.M., 2004. Effects of prolonged exposure in the marine gulf toadfish (*Opsanus beta*) II: copper accumulation, drinking rate and Na⁺/K⁺-ATPase activity in osmoregulatory tissues. *Aquat. Toxicol.*, 68, 263-275.
- Gulier, E.R. 1959. Intertidal belt-forming species on the rocky coasts of northern Chile. *Papers and proceedings of the Royal Society of Tasmania* 93:33-58.
- Gunther, E. 1936. A report on oceanographical investigations in the Perú Coastal Current. *Discovery Report*. 13: 107-276.
- Gutiérrez, J. E. & J.E Lay. 1965. Observaciones biológicas de la población de *Pyura chilensis* Molina, 1782, en Antofagasta. *Estudios Oceanológicos*, Chile 1: 1-32.
- Guzmán N, Saá S, Ortlieb L (1998) Catálogo descriptivo de los moluscos litorales (Gastropoda y Pelecypoda) de la zona de Antofagasta, 23 S (Chile). *Estud Ocean* 17:17–86.
- Hendey, N. 1937. The plankton diatoms of the southern seas. *Discovery Report*. 16: 151-64, 8 pls.
- Hernández-Miranda E, AT Palma & FP Ojeda. 2003. Larval fish assemblages in nearshore coastal waters off central Chile: temporal and spatial patterns. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56: 1075-1092.
- Hirose, K., 2006. Chemical speciation of trace metals in seawater: a review. *Anal. Sci.*, 22, 1055-1063.
- Hunt, C.D., and Smith, D.L. 1983. Remobilization of metals from polluted marine sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40: 132-142.
- Hutton, M., 1987. Lead, mercury, cadmium and arsenic in the environment SCOPE 31. Chapter 3: Cadmium. Ed. T.C. Hutchinson and K.M. Meena, Published by John Wiley & sons.
- Ilustre Municipalidad de Antofagasta, 2000. Construcción y Habilitación de Playas y Piscinas Artificiales, Sector Centro, Antofagasta II Región.
- Jamshidi-Zanjani, A., Saedi, M., Loretta Y. Li. 2015. A risk assessment index for bioavailability of metals in sediments: Anzali International Wetland case study. *Environmental Earth Science* 73: 2115-2126.

- Johnson-Colegrove A, L Ciannelli & RD Brodeur. 2015. Ichthyoplankton distribution and abundance in relation to nearshore dissolved oxygen levels and other environmental variables within the Northern California Current System. *Fisheries Oceanography* 24(6): 495-507.
- Kastratovic, V.R., Durovic, D.D., Krivokapic, S.D., Mugosa, B.P. 2013. Mobility and bioavailability of metals in sediments of Skadar Lake – Montenegro. *E3S Web of Conferences*.
- Khalid R.A., R.P. Gambrell, and W.H. Patrick Jr. 1981. *J Environ Qual* 10:523-528.
- Landaeta MF & LR Castro. 2006. Spawning and larval survival of the Chilean hake *Merluccius gayi* under later summer conditions in the Gulf of Arauco, central Chile. *Fisheries Research* 77: 115-121.
- Lasat M. 2001. The uses of plants for removal of toxic metal from contaminated soil, USEPA.
- Lépez I, Furet L, Aracena O (2001) Poblacion De Emerita Analoga (Stimpson 1857) En Playas Amarilla Y Rinconada, Antofagasta: Aspectos Abioticos, Bioticos Y Concentracion De Cobre. *Gayana (Concepción)* 65:1–21. doi: 10.4067/S0717-65382001000100008
- Libes, Susan M. 2009. Introduction to marine biogeochemistry, 2nd edition. Academic Press, El sevier.
- Luoma S. 1990. Processes affecting metal concentrations in estuarine and coastal sediments. In: Furnes R & P Rainbow (eds). *Heavy metals in the marine environment*, 225 pp. CRC Press, New York.
- Maino, V. & Recabarren, F. (2011). *Historia del agua en el desierto más árido del mundo*. Antofagasta, Chile: Matte editores.
- Malik, D.S., Sastry, K.V., 1998. Effects of zinc toxicity on biochemical composition of muscle and liver of murrel (*CHANNA PUNCTATUS*). *Environ. Int.*, 24, 433-438.
- Marín VH, LE Delgado & R Escribano. 2003. Upwelling shadows at Mejillones Bay (northern Chilean coast): a remote sensing in situ analysis. *Investigaciones Marinas* 31(2): 47-55.
- Marín, V., L. Rodríguez, L. Vallejo, J. Fuenteseca & E. Oyarce. 1993. Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural*. 66: 479-491.
- Martorell J. 2010. Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa suratlántica andaluza afectados por contaminación difusa. 556 pp.

- Meyerson A, G Luther, J Krajewski & E Hires. 1981. Heavy metals distribution in Newark bay sediments. *Marine Pollution Bulletin* 12: 244-250.
- Michalke, B., 2003. Element speciation definitions, analytical methodology and some examples. *Ecotox. Environ. Safe.*, 56, 122-139.
- Ministerio de Obras Públicas (1994). Manual para la cuantificación de externalidades de proyectos portuarios.
- Ministerio del Mediambiente. (2014). Lineamientos metodológicos para la Evaluación de Riesgo Ecológico. Gobierno de Chile
- Moore S. & S. Ramamoorthy. 1984. Heavy metals in natural waters. Springer-Verlag, New York. 269 pp.
- Morales, C., J. Blanco, M. Braun, H., Reyes & N. Silva. 1996. Chlorophyll a distribution and associated oceanographic conditions in the upwelling region off northern Chile during the winter and spring 1993. *Deep Sea Research*. 43 (3): 267-289.
- National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. 2005. Research center for deep geological environments. Atlas of Eh-pH diagrams, Intercomparison of thermodynamic databases.
- Navea, E. & O. Miranda. 1980. Ciclo anual de las condiciones oceanográficas en Mejillones del Sur (Chile). *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 17 (1): 1-57.
- Nayak, G.N. 2015. Bioavailability of metals in estuarine sediment and their possible impacts on the environment. *Journal of Environmental and Social Sciences* 2: 105-110.
- Neff, Jerry M. 1997. Ecotoxicology of arsenic in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16: 917-927.
- Nordic Council of Minister, 2003. Cadmium review.
- Olivar P, A Sabatés, MV Pastor & JL Pelegrí. 2016. Water masses and mesoscale control on latitudinal and cross-shelf variations in larval fish assemblages off NW Africa. *DeepSea Research I* 117: 120-137.
- Oriundo C., J. Robles. 2009. Determinación de plomo en suelos debido a la contaminación por fábricas aledañas al asentamiento humano cultura y progreso del distrito de Ñaña – Chaclacayo. 144 pp.
- Ortega N. 2012. Asociación entre la fracción bioaccesible y la bioacumulación en algunas especies vegetales que crecen en el cauce del arroyo de San Pedro. 189 pp.

- Ortiz M, Berrios F, Campos L, et al (2015) Mass balanced trophic models and short-term dynamical simulations for benthic ecological systems of Mejillones and Antofagasta bays (SE Pacific): Comparative network structure and assessment of human impacts. *Ecol Modell* 309–310:153–162. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2015.04.006
- Ortiz M, Levins R, Campos L, et al (2013) Identifying keystone trophic groups in benthic ecosystems: Implications for fisheries management. *Ecol Indic* 25:133–140. doi: 10.1016/j.ecolind.2012.08.020
- Palaniappan, P.L.R.M., Renju, V.B., 2009. FT-IR study of the effect of zinc exposure on the biochemical contents muscle of *Labeo rohita*. *Infrared Phys. Techn.*, 52, 37-41.
- Paris C & RK Cowen. 2004. Direct evidence of a biophysical retention mechanism for coral reef fish larvae. *Limnology Oceanography* 49(6): 1964-1979.
- Parker, B. B. (2007). Tidal analysis and prediction. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Center for Operational Oceanographic Products and Services
- Pavés HJ, González HE (2008) Carbon fluxes within the pelagic food web in the coastal area off Antofagasta (23°S), Chile: The significance of the microbial versus classical food webs. *Ecol Modell* 212:218–232. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2007.10.004
- Persaud, D., Jaagumagi, R., & Hayton, A. (1992). *Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario*.
- Quinn, W., V. Neal & S. Antunez de Mayolo. 1987. El Niño Occurrences over the past four and a half Centuries. *Journal of Geophysical Research*. 2 C13: 14.449-14.461.
- Rainbow PS (2007) Trace metal bioaccumulation: Models, metabolic availability and toxicity. *Environ Int* 33:576–582.
- Recabarren, F. (nd). Historia de la Región Los inicios de Antofagasta. Noviembre, 22, 2018, de Gobierno Regional Antofagasta. Sitio web: <https://www.goreantofagasta.cl/historia-de-la-region/goreantofagasta/2016-09-23/181608.html>
- Repetto, M., 1995. Toxicología avanzada. Ed. Díaz Santos, S.A., Madrid.
- Rivera, P., 1985. Diatomeas y Silicoflagelados: Investigaciones Taxonómicas realizadas en Chile y Problemas Existentes. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 21 (1): 9-30.
- Rodríguez L (2004) Observaciones sobre efectos de El Niño 1997-1998 en el fitoplancton de bahía Antofagasta y durante un fenómeno de surgencia en bahía Mejillones del Sur, Antofagasta, Chile. *El Niño-La Niña 1997-2000 Sus Efectos en Chile* 97–118.

- Rodríguez, L. & O. Zarate. 1985b. Nuevas Observaciones sobre Mareas Rojas en la bahía San Jorge, Antofagasta-Chile. *Estudios Oceanológicos*. 4: 81-85.
- Rodríguez, L. & R. Escribano. 1996b. Bahía Antofagasta y bahía Mejillones del Sur: Observaciones de la temperatura, penetración de la luz, biomasa y composición fitoplanctónica. *Estudios Oceanológicos*. 15: 75-85.
- Rodríguez, L. 1966. Primera Cita de las especies componentes del “Huirihue o marea roja”. *Estudios Oceanológicos, Chile*. 2: 91-93.
- Rodríguez, L. 1976. “Marea roja” en el norte de Chile. *Noticiero Mensual Museo Nacional de Historia Natural*. 243-244: 6-8.
- Rodríguez, L. 1978. “Marea Roja” en la Bahía San Jorge, Antofagasta-Chile. *Noticiero Mensual Museo Nacional de Historia Natural*. Año XXIII-Nº 266: 6-9.
- Rodríguez, L. 1982a. Fitoplancton de la bahía Mejillones del Sur (1966-1967). *In literis*.
- Rodríguez, L. 1985a. Revisión del fenómeno de Marea Roja en Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 21(1):173-197.
- Rodríguez, L. 1987. Observaciones sobre fitoplancton y temperatura superficial en la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 23 (1): 1-29.
- Rodríguez, L. O. Zárate & E. Oyarce. 1986. Producción Primaria del Fitoplancton a temperatura, oxígeno, nutrientes y salinidad en la bahía Mejillones del Sur. 22 (1): 75-96.
- Rodríguez, L., 1982b. Análisis Fitoplanctónico en biodeposiciones en *Tagelus (Tagelus) dombeyi*. Lamarck y de los Sedimentos recientes en que vive (Tellinacea: Solecurtidae). *Noticiero Mensual Museo Nacional de Historia Natural*. Año XXVI. 308-309: 4-8.
- Rodríguez, L., O. Zarate & E. Oyarce. 1985c. “Marea roja” durante septiembre y octubre de 1982 en la bahía San Jorge-Antofagasta, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 21 (2): 273-294.
- Rodríguez, L., R. Escribano, G. Grone, C. Iribarren & H. Castro. 1996a. Ecología del Fitoplancton en la bahía de Antofagasta (23º), Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 31 (2): 65-80.
- Rodríguez, L., V. Marín, M. Farías & E. Oyarce, 1991. Identification of an upwelling zone by remote sensing and *in situ* measurement. *Mejillones del Sur Bay (Antofagasta-Chile)*. *Scientia Marina*. 55 (3): 467-473.

- Rodríguez-Graña L & LR Castro. 2003. Ichthyoplankton distribution off the Peninsula de Mejillones, Chile (23°S, 71°W), under variable hydrographic conditions during the austral summer and winter of the 1997 El Niño. *Hydrobiologia* 501: 59-73.
- Sánchez G. 2016. Ecotoxicología del Cadmio riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en Cadmio. 23pp.
- Sharma, V.k., Sohn, M. 2009. Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation. *Environmental International* 35: 743-759.
- Sigg, L., Black, F., Buffle, J., Cao, J., Cleven, R., Davidson, W., Galceran, J., Gunkel, P., Kalis, E., Kistler, D., Martin, M., Nol, S., Nur, Y., Odzak, N., Puy, J., van Rimsdijk, W., Temminghoff, E., Tercier Waeber, M.L., Toepperwien, S., Town, R.M., Unsworth, E., Warnken, K.W., Weng, L., Xue, H., Zhang, H., 2006. Comparasion of analytical techniques for dynamic trace metal speciation in natural freshwaters. *Environ. Sci. Technol.*, 40, 1934-1941.
- Smith KA & IM Suthers. 1999. Displacement of diverse ichthyoplankton assemblages by a coastal upwelling event on the Sydney shelf. *Marine Ecology Progress Series* 176: 49-62.
- Storelli M. & Marcotrigiano G. 2002. Mercury speciation and relationship between mercury and selenium in Liver of *Galeus melastomus* from the Mediterranean Sea. *Bull Environ. Contam. Toxicol.* 69; 516-522.
- Thiel M, EC Macaya, E Acuna, WE Arntz, H Bastias, K Brokordt, PA Camus, JC Castilla, LR Castro, M Cortes & CP Dumont. 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 45: 195-344.
- U.S. Environmental Protection Agency (1985). Ambient water quality criteria for arsenic – 1984. U.S. Environ. Protection Agency Rep. 440/5-84-033. 66pp.
- U.S. Environmental Protection Agency (1992). Framework for Ecological Risk Assessment.
- U.S. Environmental Protection Agency (1997). Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund, ERAGS: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments EPA 540-R-97-006.
- U.S. Environmental Protection Agency (2005). Toxicological review of zinc and compounds.
- U.S. Environmental Protection Agency (2007). Framework for Metal Risk Assessment.
- U.S. Environmental Protection Agency (2008). ECOTOX database. Datos obtenidos de <https://cfpub.epa.gov/ecotox/>.

- U.S. Environmental Protection Agency (2009). National recommended water quality criteria.
- U.S. Environmental Protection Agency (2016). Aquatic life ambient water quality criteria Cadmium – 2016. U.S. Environ. Protection Agency. EPA-820-R-16-002.
- Ulanowicz, R. 1986. Growth and Development: Ecosystems phenomenology. Springer N.Y. 203 pp.
- Ulanowicz, R. 1997. Ecology, the Ascendent Perspective. Complexity in Ecological Systems Series. Columbia University Press, NY, USA.
- United States National Library of Medicine. Toxicology Data Network. <http://toxnet.nlm.nih.gov/>
- Valdés J, Calderón C (2012) Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. Rev Biol Mar Oceanogr 47:121–133.
- Valdez, J., R. Araya, M. Ortiz, P. Davila 2012. Estudio levantamiento de Información para el control Ambiental de la Bahía de San Jorge. Informe Final. BIP 30059576. Gobierno Regional de Antofagasta.
- Valdés, Jorge, & Sifeddine, Abdel. 2009. Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del Sur, Chile: evaluación ambiental de la zona costera. Latin american journal of aquatic research, 37(2), 131-141. Recuperado en 17 de agosto de 2020, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2009000200002&lng=es&tlng=e.
- Vélez JA, W Watson, W Arntz, M Wolff & SB SchnackSchiel. 2005. Larval fish assemblages in Independencia Bay, Pisco, Peru: temporal and spatial relationships. Marine Biology 147: 77-91.
- Volke T. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, pp 19-31.
- Wright, D., Welbourn, P., 2001. Environmental toxicology. Ed. Cambridge University Press, USA.
- Yannicelli B, LR Castro, A Valle-Levinson, L Atkinson & D Figueroa. 2006. Vertical distribution of decapod larvae in the entrance of an equatorward facing bay of central Chile: implications for transport. Journal of Plankton Research 28(1): 19-37.

- Zacharias, O. 1906. Veber Periodizitat. Variation und Vertebrung verschiedener Planktonwesen in südlichen Meeren. Archivfür Hydrobiologie und Planktokunde. 1: 498-575.
- Allen J, Holt J, Proctor R, Roger; Blackford J, 2007. Error quantification of a high-resolution coupled hydrodynamic-ecosystem coastal-ocean model: Part 2. Chlorophyll-a, nutrients and SPM. Journal of Marine System Volume 68 3-4, p.167-188. Elsevier.
- OSPAR Commission, 1998. Report of the Modelling Workshop on Eutrophication Issues. 5–8 November 1996. Den Haag, The Netherlands. OSPAR Report, 86 pp.
- PRADO L & J.C. CASTILLA. (2006). The bioengineer *Perumytilus purpuratus* (Mollusca: Bivalvia) in central Chile: biodiversity, habitat structural complexity and environmental heterogeneity. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 86, 417-421.
- THIEL M., E.C. MACAYA, E. ACUÑA, W.E. ARNTZ, H. BASTIAS, K. BROKORDT, P.A. CAMUS, J.C. CASTILLA, L.R. CASTRO, M. CORTÉZ, C.P. DUMONT, R. ESCRIBANO, M. FERNANDEZ, J.A. GAJARDO, C.F. GAYMER, I. GOMEZ, A.E. GONZÁLEZ, H.E. GONZÁLEZ, P.A. HAYE, J.E. ILLANES, J.L. IRIARTE, D.A.LANCELOTTI, G. LUNA-JORQUERA, C. LUXORO, P.H. MANRIQUEZ, V. MARIN, P. MUÑOZ, S.A. NAVARRETE, E. PEREZ, E. POULIN, J. SELLANES, H. H. SEPÚLVEDA, W. STOTZ, F. TALA, A. THOMAS, C.A. VARGAS, J.A. VASQUEZ & J.M.A. VEGA. (2007). The Humboldt Current system of northern and central Chile. Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 2007, 45. 195-344.
- VILLEGAS M.J, J. LAUDIEN, W. SIELFELD & W.E. ARNTZ. (2008). *Macrocystis integrifolia* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales; Phaeophyceae) kelp habitat structures and associated macrobenthic community oV northern Chile. Helgol Mar Res., 62 (Suppl 1):33–43.

7 GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. Bentos, comunidad formada por los organismos que habitan el fondo de ecosistemas acuáticos.
2. Bioacumulación, es el término general para describir el proceso por el cual los químicos son incorporados por una planta o animal ya sea directamente desde una exposición a un medio contaminado (agua, sedimento, suelo) o por comer alimentos conteniendo químicos;
3. Bioconcentración, es un término relacionado, en el cual sustancias químicas son absorbidas por una planta o animal a niveles más altos que el ambiente circundante;
4. Biomagnificación, es un término que describe el proceso en el cual los niveles de químicos en plantas o animales se incrementan desde la transferencia a través de la malla trófica (predadores tienen niveles de concentración más altos de un químico particular que su presa).
5. Biota, conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan o pertenecen a un área definida.
6. Contaminación: la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.
7. Contaminante, todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.
8. Daño Ambiental, toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes.
9. Ecosistema, comunidad de seres vivos cuyos procesos vitales se relacionan entre sí y se desarrollan en función de factores físicos en un mismo ambiente.
10. Elemento traza metálico, son trazas de metales en cantidades extremadamente pequeñas, que residen o están presentes en el tejido o células de animales y plantas. Estos realizan funciones indispensables para el mantenimiento de la vida, crecimiento y reproducción, pero pueden ser tóxicos si son ingeridos en cantidades excesivas.
11. Epibiota, organismos que viven en la superficie de otros organismos vivos.
12. Flujo másico, es una magnitud física que representa la variación de masa en el tiempo, o dicho de otra forma, es la cantidad de material que ingresa (o sale) desde un sistema o volumen de control. También se le llama carga másica, o gasto másico.
13. Grupo funcional, conjunto de especies que poseen características en común, agrupadas con características enfocadas
14. Ictiofauna, conjunto de especies de peces que existen en una determinada área, en este caso, corresponde al grupo de peces que viven en la columna de agua.

15. Impacto Ambiental, la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada.
16. Malla trófica, es la interconexión natural de las cadenas alimenticias y generalmente es una representación gráfica (o grafo) de qué se come a qué, en una comunidad ecológica. Las interacciones son representadas por una flecha, que indica la dirección a la cual fluye la energía, o visto de otra forma, la punta de la flecha indica el depredador.
17. Medio Ambiente Libre de Contaminación, aquél en el que los contaminantes se encuentran en concentraciones y períodos inferiores a aquéllos susceptibles de constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.
18. Medio Ambiente, el sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.
19. NMP, Número Más Probable, es una forma de obtener datos cuantitativos en concentraciones de elementos discretos a partir de distintas muestras. Se utiliza para determinar la presencia o ausencia de características específicas de microorganismos.
20. Pelágico, dicho de un animal o de una vegetal marino que viven en la zona o columna de agua oceánica alejadas de la costa.
21. Plancton, conjunto de organismos pelágicos que se encuentran en suspensión en el agua del mar o en las aguas dulces.
22. Reparación, la acción de reponer el medio ambiente o uno o más de sus componentes a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas.
23. Zona fótica, en sistemas acuáticos, es aquella zona en la que penetra la luz del sol.
24. Zona Latente, aquella en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental.
25. Zona Saturada, aquélla en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas.
26. Flujo geostrófico, fenómeno en el cual se considera que un flujo se ve influenciado por los efectos de presión y de Coriolis.
27. Efecto de Coriolis, es el efecto que se observa en un sistema de referencia en rotación, siendo este caso, La Tierra, la cual rota en torno a su eje, causando una aceleración relativa para un observador ubicado en La Tierra.
28. Momentum, o cantidad de movimiento, representa una magnitud física que describe el movimiento de una partícula.
29. Forzante, se les llama comúnmente a las condiciones que generan un cambio en el movimiento o de inercia de una partícula, alterando su condición inicial.

30. Zona nerítica, se le llama a la zona marítima cercana a la costa pero que no tiene contacto directo con el litoral, abarcando desde los 10 m de profundidad hasta los 200 m bajo el nivel medio del mar.