INFORME FINAL

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

Centro de Ecología Aplicada Ltda. · mayo 2020

Gobierno Regional
Antofagasta

CONTROL DEL DOCUMENTO				
Versión	**Fecha**	**Elaborado por**	**Revisado por**	**Aprobado por**
0	02/03/2020	Salvador López Aldo Barba Gonzalo Parada Alejandro Aguado Marcelo Saavedra Nicolás Coliñir Cristian Godoy	José María Peralta	Manuel Contreras L.
1	29/05/2020	Alejandro Aguado Benjamín González Cristian Godoy Diego Arce Francisca Urmeneta Gonzalo Parada Jorge Cubillos Lucia Varas Marcelo Saavedra Marco Kramp Nicolás Coliñir Orlando Jara Patricia Matus Patricio Bahamondes Salvador López	José María Peralta	Manuel Contreras L.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento corresponde al informe final asociado al estudio titulado 'Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla", código BIP 30130937-0.

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

Por otro lado, con respecto a la evaluación de riesgo a la salud humana, se llevó a cabo una evaluación a la salud de la población de la comuna de Tocopilla y una búsqueda sistemática de información, además de la identificación del peligro y realización de encuestas de forma parcial a la población para caracterizar los patrones de consumo, donde se evaluó el riesgo asociado a la ingesta de alimentos provenientes de la bahía con un alto contenido de metales, resultando en que la población no presenta riesgos crónicos asociados. Sin embargo, se obtuvo que, debido al arsénico presente en las especies, existe un riesgo de cáncer en la piel a causa de la ingesta de este elemento, el cual induce una probabilidad de cáncer por arsénico (cáncer en la piel) de aproximadamente 1 persona por cada 100.000 expuestos a 6 personas por cada 100.000 expuestos, según el escenario de exposición. Dado que la población de Tocopilla al CENSO del año 2017 fue de 25.186 habitantes[1], el riesgo es muy bajo.

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

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

[1] http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R02

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

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

Al respecto, para complementar la información histórica recopilada de calidad química en las distintas matrices de interés, se realizaron cuatro campañas de medición de parámetros de calidad química de agua y sedimentos, invierno 2018, verano 2019, invierno 2019 y verano 2020, comprendida entre los sectores de cenizales norte y frente a LIPESED. Del mismo modo, para complementar la información de caracterización física del sitio de interés, se llevó a cabo un estudio de oceanografía física de correntometría euleriana mediante la instalación de un equipo ADCP y de correntometría lagrangiana mediante el lanzamiento de derivadores distribuidos a lo largo de la Bahía Algodonales, en las campañas invierno 2018 y verano 2019. Además, se tomaron muestras de metales en tejido para 10 especies y muestras de hidrocarburos en tejido para 5 especies.

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

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

En cuanto a las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en los sedimentos submareales de la bahía, se observó una tendencia para el Cobre, Cromo, Plomo, Zinc y Mercurio, tal que a lo largo del periodo de estudio comprendido entre 1994 y 2018, las concentraciones promedio anuales han

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

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

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

De los resultados de calidad química en las matrices de agua y sedimentos del monitoreo integrado llevado a cabo, en las campañas de invierno 2018, verano 2019, invierno 2019 y verano 2020, en el agua no se presentaron valores de pH, RedOx ni de oxígeno disuelto que dieran cuenta de una degradación en las condiciones ambientales de la bahía, mientras que los registros de temperatura variaron de acuerdo a la estacionalidad climática Respecto a los metales, las mayores concentraciones correspondieron al vanadio y molibdeno, durante invierno 2018, de arsénico, zinc, hierro y molibdeno para verano 2019, cobre, molibdeno y zinc para invierno 2019 y cobre en verano 2020. Por otro lado, en los sedimentos se observaron altas concentraciones de hierro, cobre, molibdeno, arsénico, vanadio y zinc. En cuanto a los resultados de biota, se observó variaciones estacionales en el análisis cualitativo y cuantitativo del fito, ictio y zooplancton, además de una diferenciación espacial de la composición de taxas al haber, por ejemplo, una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios en el extremo sur y una mayor proporción de larvas de bivalvos y poliquetos de meroplancton en el extremo norte del área de estudio.

Para conocer la hidrodinámica de la bahía, se llevó a cabo una modelación numérica hidrodinámica, donde se obtuvo zonas de menor circulación de corrientes entre Punta Algodonales y Caleta Duendes, hasta el sector del acopio de cenizales inclusive. Esto se vio representado por los altos valores de tiempo de retención determinado y la baja magnitud

de la velocidad en esos sectores. Además, a partir de los resultados de la modelación de trazadores se observó que, debido a la estructura de circulación de la bahía, la liberación de un contaminante en el sector de Punta Algodonales podría generar una mancha de concentración considerable hasta el sector de Caleta Duendes, sin tenerse una rápida mezcla del contaminante con el medio.

Con la información obtenida de la recopilación, sistematización y análisis de la información existente del ecosistema marino de la bahía y con la levantada en los monitoreos estacionales de las matrices de calidad de agua, sedimento y biota de la bahía Algodonales y de las mediciones del monitoreo de variables físicas, se llevó a cabo una integración de la información, considerando todos los registros obtenidos para el periodo comprendido entre los años 2010 y 2020.

De la calidad química de agua se obtuvo que las concentraciones de metales disueltos en agua estuvieron en general, bajo los límites de detección o en concentraciones muy pequeñas, sin superar los niveles de referencia en dichos casos, a excepción del cobre disuelto. Con lo anterior, se espera que no se generen efectos funcionales negativos a nivel ecosistémico. Debido a que la resolución temporal de los datos es baja (meses), solamente es posible realizar análisis de más largo plazo, en donde se consideran las mediciones registradas como condiciones medias para el período. Eventos de cambios en la calidad del agua particulares que tienen una menor resolución temporal, del orden de horas, días o semanas, como derrames de carbón, petróleo, etc, no se ven reflejados en este análisis. Para poder capturar estos eventos se hace necesario tener registros con una resolución temporal acorde a los tiempos de retención de los sectores afectados. En cuanto a las observaciones de oxígeno disuelto en Bahía Algodonales, mostraron niveles de hipoxia en los sectores de Descarga NORGENER, Punta Algodonales y Playa Covadonga durante los años 2011,2013 y 2015, sin embargo, en el periodo posterior los valores de oxígeno disuelto aumentaron, implicando una reducción en la condición de hipoxia observada en profundidad. Así, para el periodo 2018-2020, desde el punto de vista ecosistémico, los niveles de oxígeno no tendrían implicancias directas en la biodiversidad del medio.

En cuanto a las concentraciones de los metales analizados en sedimentos, se observó que los sectores de Caleta Duendes, Playa el Arenal, Playa el Salitre, Descarga NORGENER y LIPESED, presentaron los mayores niveles de concentración, destacándose el arsénico, cobre, hierro y zinc en cuanto a superación de niveles de referencia. El sector de LIPESED presentó niveles de concentraciones similares a los de las zonas de Caleta Duendes y Descarga NORGENER.

Mediante estos resultados se exhibe que la principal problemática está en los sedimentos de la bahía y se debe priorizar en la gestión para protegerlos.

Finalmente se realizó un diagnóstico ambiental, donde se adoptó el enfoque Eco-DIPSIR, el cual es un sistema de pensamiento que supone relaciones causa-efecto entre componentes interactuantes de sistemas ambientales, económicos y sociales, definiéndose cinco categorías: Fuerzas Motrices, Presiones, Estados, Impactos y Respuestas. Cada una de esas

componentes se desarrolló teniendo en cuenta las relaciones ambientales, económicas y sociales de la bahía.

Índice

1 Introducción 1-1
2 ÁREA DE ESTUDIO 2-1
3 Objetivos 3-1
3.1 Objetivo General 3-1
3.2 Objetivos Específicos 3-1
4 RESULTADOS 4-1
4.1 Objetivo Específico 1 (OE-1) 4-1
4.1.1 Análisis de la información existente del ecosistema marino de la bahía Algodonales. 4-10
4.1.1.1 Introducción 4-10
4.1.1.2 Procesos Oceanográficos de gran escala 4-11
4.1.1.2.1 Sistemas de corrientes en el norte de Chile 4-11
4.1.1.2.2 ENOS 4-13
4.1.1.2.3 Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) 4-15
4.1.1.2.4 Surgencia 4-18
4.1.1.3 Estructura y funcionamiento ecosistémico en Bahía Algodonales 4-20
4.1.1.3.1 Caracterización física de los componentes abióticos 4-21
4.1.1.3.2 Caracterización fisicoquímica de los componentes abióticos 4-24
4.1.1.3.3 Caracterización de los componentes bióticos 4-119
4.1.1.3.4 Flujos antrópicos de materiales y organismos 4-132
4.1.2 Geodatabase 4-150
4.1.3 Discusión y conclusión 4-151
4.2 Objetivo Específico 2 (OE-2) 4-159
4.2.1 Monitoreo estacional de las componentes ambientales columna de agua, sedimento y biota de la bahía Algodonales. 4-159
4.2.1.1 Campaña de invierno 2018 4-162
4.2.1.1.1 Cuerpo de agua 4-166
4.2.1.1.2 Calidad de sedimentos 4-173
4.2.1.1.3 Comunidades planctónicas 4-180
4.2.1.1.4 Comunidades bentónicas submareal blando 4-195

4.2.1.1.5 Comunidades bentónicas submareal duro 4-202
4.2.1.1.6 Comunidades bentónicas intermareal blando 4-212
4.2.1.2 Campaña verano 2019 4-215
4.2.1.2.1 Cuerpo de agua 4-216
4.2.1.2.2 Calidad de Sedimentos 4-223
4.2.1.2.3 Comunidades planctónicas 4-230
4.2.1.2.4 Comunidades bentónicas submareal blando 4-244
4.2.1.2.5 Comunidades bentónicas submareal duro 4-251
4.2.1.2.6 Comunidades bentónicas intermareal blando 4-261
4.2.1.2.7 Comunidades bentónicas intermareal duro 4-264
4.2.1.3 Campaña de invierno 2019 4-273
4.2.1.3.1 Cuerpo de agua 4-275
4.2.1.3.2 Calidad de sedimentos 4-282
4.2.1.3.3 Comunidades planctónicas 4-289
4.2.1.3.4 Comunidades bentónicas submareal blando 4-303
4.2.1.3.5 Comunidades bentónicas submareal duro 4-310
4.2.1.3.6 Comunidades bentónicas intermareal blando 4-318
4.2.1.3.7 Comunidades bentónicas intermareal duro 4-321
4.2.1.3.8 Metales en biota 4-328
4.2.1.4 Campaña de verano 2020 4-342
4.2.1.4.1 Cuerpo de agua 4-342
4.2.1.4.2 Calidad de sedimentos 4-349
4.2.1.4.3 Comunidades planctónicas 4-356
4.2.1.4.4 Comunidades bentónicas submareal blando 4-370
4.2.1.4.5 Comunidades bentónicas submareal duro 4-378
4.2.1.4.6 Comunidades bentónicas intermareal blando 4-388
4.2.1.4.7 Comunidades bentónicas intermareal duro 4-392
4.2.2 Monitoreo estacional de variable oceanográficas de Bahía Algodonales 4-399
4.2.2.1 Campaña invierno 2018 4-401
4.2.2.1.1 Corrientes Eulerianas 4-401
4.2.2.1.2 Corrientes Lagrangianas 4-414

4.2.2.2 Campaña verano 2019 4-423
4.2.2.2.1 Corrientes Eulerianas....4-423
4.2.2.2.2 Corrientes Lagrangianas 4-435
4.2.3 Batimetría 4-444
4.2.4 Discusión y conclusión....4-449
4.3 Objetivo Específico 3 (OE-3) 4-451
4.3.1 Metodología 4-452
4.3.1.1 Caracterización de la Bahía 4-452
4.3.1.2 Identificación del peligro....4-454
4.3.1.3 Factores de exposición....4-455
4.3.1.4 Caracterización y evaluación de la exposición....4-458
4.3.1.5 Análisis de incertidumbre 4-460
4.3.2 Resultados 4-461
4.3.2.1 Caracterización de la bahía 4-461
4.3.2.1.1 Búsqueda sistemática de información 4-461
4.3.2.2 Identificación del peligro....4-475
4.3.2.3 Factores de Exposición....4-479
4.3.2.3.1 Modelo Conceptual 4-479
4.3.2.3.2 Evaluación de la exposición total....4-485
4.3.2.4 Caracterización y evaluación del riesgo para la Salud Humana....4-502
4.3.2.5 Análisis de incertidumbre 4-504
4.3.3 Discusión y Conclusión 4-505
4.3.4 ANEXOS....4-509
4.3.4.1 Caracterización de la bahía 4-509
4.3.4.1.1 Principales antecedentes....4-509
4.3.4.1.2 Indicadores de salud....4-525
4.3.4.2 Encuesta de consumo 4-531
4.4 Objetivo Específico 4 (OE-4) 4-534
4.4.1 Desarrollo de una modelación numérica base de la hidrodinámica de bahía Algodonales 4-534
4.4.1.1 Descripción general de la simulación....4-534

4.4.1.2 Área de estudio 4-534
4.4.1.3 Antecedentes del modelo AEM3D 4-535
4.4.1.4 Datos de entrada para la modelación 4-536
4.4.1.4.1 Batimetría bahía Algodonales.....4-536
4.4.1.4.2 Dominio bahía Algodonales.....4-536
4.4.1.4.3 Condiciones de borde 4-537
4.4.1.4.4 Meteorología 4-538
4.4.1.4.5 Datos de marea.....4-542
4.4.1.4.6 RILES.....4-544
4.4.1.4.7 Condiciones iniciales.....4-546
4.4.1.5 Resultados 4-547
4.4.1.5.1 Campo de velocidades y tiempos de residencia en Bahía Algodonales 4-549
4.4.1.5.2 Distribución de componentes químicas de RILES en la bahía. 4-531
4.4.1.6 Discusión y conclusiones de la hidrodinámica y flujo de contaminantes 4-534
4.4.2 Integración de la información obtenida en la recopilación de información y monitoreos estacionales 4-535
4.4.2.1 Integración de la física de los componentes abióticos 4-541
4.4.2.1 Batimetría 4-543
4.4.2.1.1 Meteorología 4-546
4.4.2.1.2 Oceanografía.....4-547
4.4.2.2 Integración de la fisicoquímica de los componentes abióticos 4-548
4.4.2.2.1 Columna de agua 4-548
4.4.2.2.2 Sedimentos 4-592
4.4.2.3 Integración de los componentes bióticos 4-626
4.4.2.3.1 Comunidades planctónicas.....4-626
4.4.2.3.2 Comunidades bentónicas submareal duro.....4-634
4.4.2.3.3 Comunidades bentónicas submareal blando 4-643
4.4.2.3.4 Comunidades bentónicas intermareal duro.....4-646
4.4.2.3.5 Comunidades bentónicas intermareal blando 4-654
4.4.2.3.6 Metales en biota.....4-657

4.4.2.4 Flujos antrópicos de materiales y organismos 4-664
4.4.2.4.1 Metales y metaloides 4-664
4.4.2.4.2 Nutrientes y productividad 4-667
4.4.2.4.3 Parámetros Físicos 4-669
4.4.2.4.4 Otros parámetros de interés 4-670
4.4.2.5 Caracterización funcional del ecosistema 4-672
4.4.2.5.1 Funcionamiento ecosistémico y materiales potencialmente tóxicos . 4-673
4.4.2.5.2 Funcionamiento ecosistémico y materiales no tóxicos 4-674
4.4.2.5.3 Funcionamiento ecosistémico Oxígeno y Potencial Redox 4-677
4.4.3 Diagnóstico de la condición ambiental de la bahía 4-681
4.4.3.1 Modelo DPSIR Eco-Salud 4-681
4.4.3.1.1 Metodología 4-681
4.4.3.1.2 Desarrollo 4-683
4.4.3.1.3 Anexos 4-694
4.4.4 Discusión y conclusiones 4-716
4.5 Objetivo Específico 5 (OE-5) 4-722
4.5.1 Antecedentes generales y justificación 4-722
4.5.1.1 Diagnóstico del problema 4-722
4.5.1.2 Políticas sectoriales generales y/o específicas, marco institucional y planes regionales de gobierno 4-724
4.5.1.3 Análisis y/o referencia de la información bibliográfica 4-726
4.5.1.4 Identificación de los potenciales usuarios de la información y su relación con el o los productos del programa 4-727
4.5.1.5 Instituciones que serán contraparte técnica del programa 4-728
4.5.2 Términos de referencia 4-728
4.5.2.1 Identificación y definición del problema 4-728
4.5.2.2 Objetivos 4-732
4.5.2.2.1 Objetivo general 4-732
4.5.2.2.2 Objetivos específicos 4-732
4.5.2.3 Localización geográfica y cobertura del estudio 4-732

4.5.2.4 Identificación y definición de las variables que se van a medir, controlar y/o analizar 4-733
4.5.2.5 Identificación y descripción de metodología y actividades que considera el programa 4-734
4.5.2.6 Identificación de resultados y/o productos esperados 4-742
4.5.2.7 Equipo de Trabajo 4-744
4.5.2.8 Cronograma de actividades....4-745
4.5.2.9 Definición de informes 4-747
4.5.2.10 Identificación de mecanismos de difusión....4-749
4.5.2.11 Presupuesto....4-750
4.5.3 Anexo cotizaciones 4-753
4.5.3.1 Cotización Bioensayos 4-753
4.6 Objetivo Específico 6 (OE-6) 4-756
5 CONCLUSIONES 5-1
6 REFERENCIAS 6-1

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe de Avance N°2 del estudio titulado "Diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía Algodonales, Tocopilla", código BIP 30130937-0, que surge a partir del análisis realizado por el Gobierno Regional de Antofagasta. Este análisis[1] identificó a la bahía Algodonales de Tocopilla como un ecosistema con una alta variabilidad natural y que está sujeta a posibles impactos ambientales negativos[2]. El Gobierno Regional de Antofagasta propone cuatro causas que estarían ocasionando la existencia de los posibles impactos ambientales negativos mencionados anteriormente: i) probable presencia de pasivos ambientales en la bahía y su entorno, producto de un inadecuado comportamiento ambiental en el desarrollo de actividades productivas durante las últimas décadas; ii) las actividades productivas se han desarrollado con procesos y tecnologías con bajos estándares ambientales, particularmente las anteriores a la implementación de la Ley Ambiental (Nº 19.300), iii) un ineficiente sistema de detección y control de impactos ambientales y iv) la inexistencia de normativa de calidad ambiental aplicable al medio marino de la bahía, que dificulta el seguimiento ambiental de las diferentes intervenciones en el medio marino.

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

El objetivo principal de este estudio es realizar un diagnóstico del estado de la condición ambiental de la bahía Algodonales, a través de la implementación piloto de un sistema de monitoreo integrado. Para cumplir este propósito, se han categorizado 5 etapas: 1) Caracterización en base a estudios previos, 2) Sistema de Monitoreo Integrado, 3) Evaluación de Riesgo a la Salud Humana, 4) Generación de un diagnóstico del estado de condición ambiental de la bahía, y 5) Medidas de Manejo. En este contexto, a la fecha, se han abordado todas las etapas mencionadas anteriormente en distintos niveles de desarrollo.

La primera etapa contempló una exhaustiva recopilación de datos de calidad ambiental del agua y sedimento de la bahía, por medio de los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) de las empresas, Estudios de Impacto Ambiental (EIA), el Programa de Observación de Litoral

[1] Árbol de problemas: Metodología utilizada para el desarrollo de proyectos de la administración del estado.
[2] "Pérdida o disminución de las actividades productivas" y Pérdida de Biodiversidad"

(POAL), información de utilidad disponible en las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), entre otros. Adicionalmente, a modo de conocer la interacción humana en términos de los flujos másicos que ingresan a la bahía, se ha recopilado información del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), particularmente de las Fuentes Puntuales que generan emisiones al cuerpo receptor marino. La segunda etapa abarcó la realización de cuatro campañas de terreno correspondientes a invierno 2018, verano 2019, invierno 2019 y verano 2020, analizando las matrices de agua, sedimento y biota, además de la componente oceanográfica en las primeras 2 campañas. En cuanto a la tercera etapa de evaluación de riesgo a la salud humana, se llevó a cabo una evaluación a la salud de la población de la comuna de Tocopilla, además de una búsqueda sistemática de información pertinente al estudio e identificación del peligro al cual está expuesta la población de Tocopilla.

Asimismo, el Centro de Ecología Aplicada se ha visto en la necesidad de establecer un enfoque metodológico transversal, que sea de ayuda a una mejor caracterización y diagnóstico del sistema ambiental en estudio. Esto permitirá orientar de mejor forma la toma de decisiones para una mejora del estado ambiental de la bahía. La forma de organizar y analizar la información se hizo de acuerdo con el marco de trabajo DPSIR de Eco-Salud (DPSIR, sigla en inglés para: fuerzas motrices, presiones, estado, impacto y respuestas), desarrollado por la EPA y basado en el modelo DIPSIR elaborado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). DIPSIR que ha sido utilizado por las Naciones Unidas y ha sido adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en la iniciativa Puerto Rico Sostenible. El marco de trabajo DPSIR es un marco de pensamiento sistémico que asume relaciones causa-efecto entre los componentes que interactúan de los sistemas sociales, económicos y ambientales. El enfoque consiste en la transformación de una gran cantidad de información ecológica compleja, en una escala cualitativa con enunciados concisos y fáciles de entender para los componentes humanos del sistema ambiental. De esta forma, la caracterización ambiental de bahía Algodonales en base a la información disponible, tendrá esa perspectiva y en consecuencia la estructura del presente documento sintetiza los resultados, en función de los enfoques antes indicados.

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

2 ÁREA DE ESTUDIO

La zona que comprende el estudio se localiza en la Región de Antofagasta, comuna de Tocopilla y corresponde a la bahía Algodonales (entre Punta Algodonales y Caleta Duende) y su entorno. Por el norte, desde Caleta vieja (22°02'54,86"5 - 70°11'43,84" W) hasta el sector de Lipesed por el sur (22°07'29,57"5 - 70°13'10,29" W) (Figura 3.1-1)

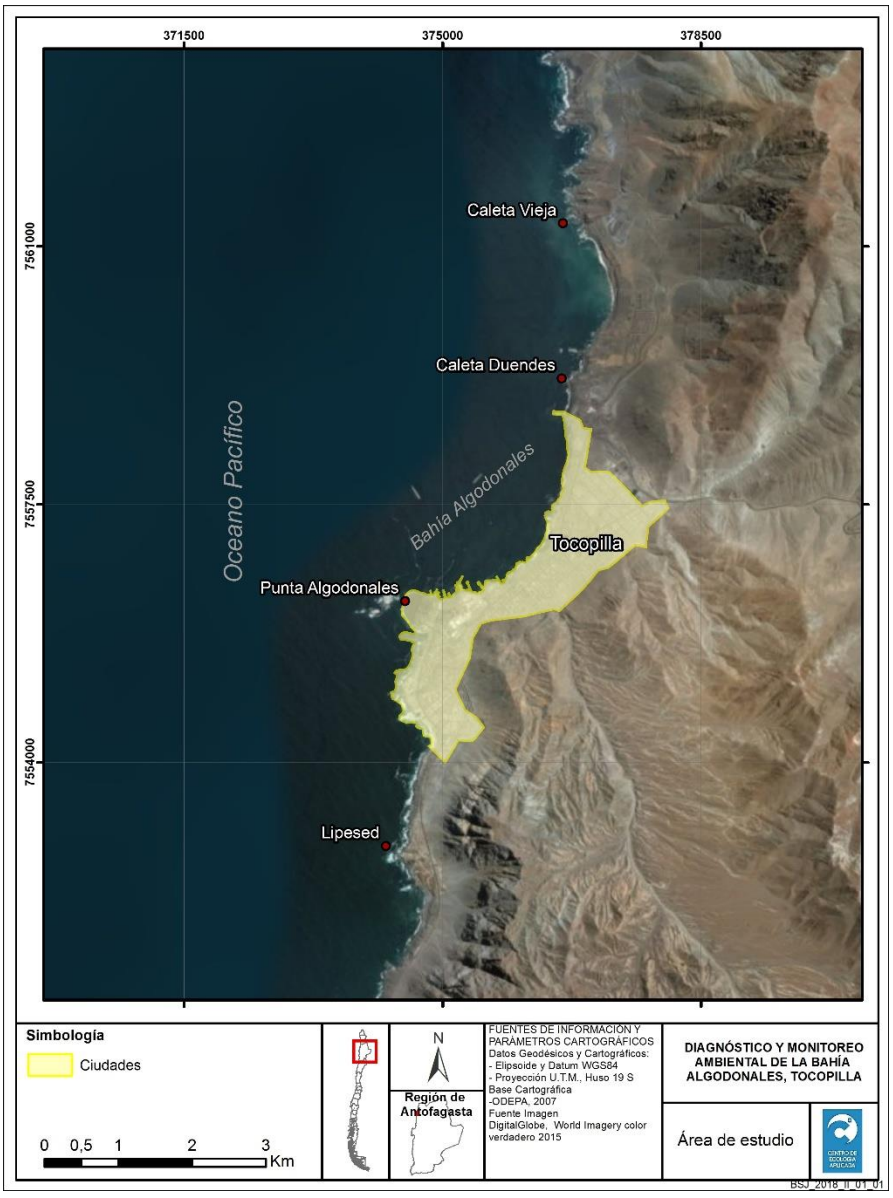


Figura 3.1-1: Ubicación geográfica de la bahía Algodonales, Tocopilla, Región de Antofagasta.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

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

3.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos (OE) son los siguientes:

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

4 RESULTADOS

4.1 Objetivo Específico 1 (OE-1)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
RCA 205/2001	ELECTROANDINA S.A	RECEPCIÓN, ALMACENAJE Y EMBARQUE MARÍTIMO DE CONCENTRADOS DE ZINC Y PLOMO EN TOCOPILLA	Oceanografía física: - temperatura, pH, salinidad, disco Secchi, coliformes totales y fecales, Pb, Zn, Cu, As, Cd, Hg	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	**PUERTO DE TOCOPILLA**
01-10-2000			Metales en organismos: Pb, Zn, Cu, Cd y Hg		
EIA			Metales en sedimentos Pb, Zn, Cu, As, Cd, Hg.		
			Calidad de aire, mensual Zn y Pb	Disponible en seguimiento asociado	
RCA 205/2001	ELECTROANDINA S.A	USO DE CARBÓN Y COQUE DE PETRÓLEO COMO COMBUSTIBLE	Calidad de aire: -Mp10; SO2; Nox; viento; Vanadio y Níquel	Disponible en seguimiento asociado	**CENTRAL TOCOPILLA**
01-10-1999			Muestreo de Cenizas y Escorias: Vanadio, Níquel; solubilidad	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	
EIA			Calidad de agua: Corrientes, Parámetros fisicoquímicos; Muestreo de efluentes; comunidades macro bentónicas submareales	Disponible en seguimiento asociado	
			Monitoreo de descarga: O2 disuelto; Temperatura; pH; sólidos totales disueltos; Sólidos totales suspendidos; Vanadio disuelto y suspensión: Cd; Cu; Cr; Hg; Pb; Zn; Fosfatos; Coliformes Fecales y totales	Reportes de DS 90 disponibles en SNIFA	
			Monitoreo de sedimentos marinos: V; Ni; Cd; Cr; Hg; Zn	Disponible en seguimiento asociado	
RCA 075/1998	ELECTROANDINA S.A	Central termoeléctrica de ciclo combinado en Tocopilla	Calidad de aire: Pm10; Nox; SO2; O2	Disponible en seguimiento asociado	**CENTRAL TOCOPILLA**
13-08-1998			Variables meteorológicas: Dirección y Velocidad del Viento; Temperatura; Humedad relativa	Disponible en seguimiento asociado	
EIA			Corrientes, dirección y velocidad; Fisicoquímico en la bocatoma y descarga de aguas de enfriamiento	Disponible en seguimiento asociado	
			Química de sedimentos: Cu; Pb	Disponible en seguimiento asociado	
			Macrofauna submareal: Abundancia, Frecuencia, Índices de diversidad	Disponible en seguimiento asociado	
			Bioensayos resistencia térmica y componentes clorados: Moluscos; Crustáceos; y larvas de peces	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente	
RCA 485/1994	NORGENER S.A	Central termoeléctrica nueva Tocopilla	Medio físico: Pm10; NOx; SO2; estaciones Meteorológicas.	Disponible en seguimiento asociado	**TERMOELECTRICA NUEVA TOCOPILLA**

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
16-SET-1994			Medio Biológico: Material particulado en su fracción sedimentable	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	
EIA			Medio Humano: Inspección arqueológica de sitio seleccionado como botadero	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	
RCA 077/2002	ELECTROANDINA S.A	Uso de mezclas de carbón con coque de petróleo como combustible en central termoeléctrica Tocopilla	Calidad de aire: Mp10, SO2; Nox; Viento; Vanadio; Níquel	Disponible en seguimiento asociado	**CENTRAL TOCOPILLA**
05-04-2002			Monitoreo Marino: Corrientes; parámetros fisicoquímicos; Comunidades macrobentónicas submareales; O_2 disuelto; Temperatura; pH; sólidos totales disueltos; Sólidos totales suspendidos; Vanadio disuelto y suspensión: Cd; Cu; Cr; Hg; Pb; Zn; Fosfatos; Coliformes Fecales y totales	Disponible en seguimiento asociado	
EIA			Muestreo de Cenizas y Escorias: Vanadio, Níquel; solubilidad	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	
RCA 180 /2000	NORGENER S.A	AUMENTO DE POTENCIA DE GENERACIÓN Y USO DE MEZCLAS DE PETCOKE Y CARBON CENTRAL TERMOELÉCTRICA NUEVA TOCOPILLA	Monitoreo ambiental documento G.M.A. Ord. N° 12.600/104 del 22.07.1999 Vanadio y Níquel en sedimentos, biota y columna de agua	Disponible en seguimiento asociado	**TERMOELECTRICA NUEVA TOCOPILLA**
04-10-2000					
EIA					
RCA 209/2011	NORGENER S.A	Disposición de Rises de Combustión de Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla	Cierre de vertederos, monitoreo y mantención de asentamientos, nuevo depósito y su monitoreo, volúmenes de cenizas, test de lixiviación	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	**TERMOELECTRICA NUEVA TOCOPILLA**
01-12-2011					
DIA					
RCA 108/2013	AES GENER S:A	Modificación Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla para el Cumplimiento de Norma de Emisiones Centrales Termoeléctricas	Monitoreo de efluentes en la descarga	Disponible en seguimiento asociado	**TERMOELECTRICA NUEVA TOCOPILLA**
27-05-2013					
DIA					
RCA 026/1999	Aguas Antofagasta antes ESSAN	Emisario Submarino de Tocopilla	Programa de monitoreo acuático	Disponible en seguimiento asociado	**EMISARIO SUBMARINO DE TOCOPILLA**
02-03-1999					
DIA					
RCA 164/2016	Aguas Antofagasta antes ESSAN	Planta desaladora Tocopilla		El titular no ha reportado seguimiento	

	Empresa	Proyecto	Componente	Estado del seguimiento reportado	Unidad Fiscalizable
13-06-2016 DIA			Comunidades bentónicas, calidad de agua, comunidades planctónicas, seguimiento de dilución de pluma marina	bajo este componente en esta RCA	**PLANTA DESALADORA TOCOPILLA**
RCA 07/2015 07-01-2015 DIA	ENGIE Energía Chile S.A	Uso de Cal Hidratada, Central Termoeléctrica Tocopilla para Cumplimiento de Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas	PVA	Disponible en seguimiento asociado (bajo otra RCA asociada a la Unidad fiscalizable)	**CENTRAL TOCOPILLA**
RCA 0274/2010 DIA 22-09-2010	Electroandina S.A.	Instalación de Nueva Grúa y Terminal Marítimo de Graneles Líquidos en Central Termoeléctrica Tocopilla	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	**CENTRAL TOCOPILLA**
RCA 0141/2008 07-05-2008	ENGIE Energía Chile S.A	Operación Permanente con Petróleo Diesel en la Unidad 16	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	**OPERACIÓN CON DIESEL EN UNIDAD 6**
RCA 0013/2004 DIA 30-01-2004	Lipesed S.A.	Mejora Ambiental Planta Lipesed	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	**PLANTA LIPESED**
RCA 0171/2003 DIA 29-10-2003	Electroandina S.A.	Recepción de Barco, Almacenamiento y Carguío de Camiones con Soda Caustica	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	**PUERTO DE TOCOPILLA**
RCA 0125/2000 DIA 19-07-2000	ENGIE Energía Chile S.A	Uso de Gas Natural en las Unidades Turbogas N° 1 y 2	PVA	El titular no ha reportado seguimiento bajo este componente en esta RCA	**USO DE GAS EN UNIDADES TURBOGAS**

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

La información del Programa de Observación Ambiental Litoral (POAL) fue descargada directamente desde la página web[1] de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), correspondiente a los cuerpos de agua de la Gobernación Marítima de Antofagasta, Tocopilla, en las matrices de agua, sedimento y biota.

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

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

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

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

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

Finalmente, se consultó la base de datos de SNIFA[2] (Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental) para buscar información del resto de razones sociales en el catastro de Unidades Fiscalizables (Tabla 4.1-1). Se encontró información desde el año 2017 al 2018 para CORPESCA S.A. (ID 38, Tabla 4.1-1). Los registros corresponden a valores puntuales de concentraciones de Hidrocarburos Totales, Hidrocarburos Volátiles y Sólidos Suspendidos Totales.

[1] https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/datos_poal.html
[2] http://snifa.sma.gob.cl/v2/DatosAbiertos

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

No se encontraron publicaciones científicas específicas de Tocopilla que tuvieran relación con el estudio de las matrices de agua, sedimento y/o biota, sin embargo, se encontraron publicaciones de carácter regional. A continuación, se adjuntan algunas de las publicaciones encontradas. El total de las referencias utilizadas se puede encontrar en el acápite de referencias.

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

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

- División Medio Ambiente Acuático y Combate a la Contaminación, Departamento de Intereses Marítimos, Gobernación Marítima de Antofagasta (2015) Monitoreo Ambiental Bahía de Tocopilla.
- Gobierno Regional de Antofagasta, Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020.
- Ilustre Municipalidad de Tocopilla (2003) Informe consolidado de Evaluación de la Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto "Construcción playas y piscina balneario Covadonga-Tocopilla".
- Ilustre Municipalidad de Tocopilla (2013) Plan de Desarrollo Comunal de Tocopilla 2013-2017.

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

La información relativa al RETC fue descargada directamente desde su página web[3], con fecha de consulta el 05/10/2017. Los registros de información abarcaron desde el año 2005 hasta el 2016.

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

Se consultó los estados de tramitación de AMERB a SUBPESCA[4], destacándose que el área de estudio solo colinda con el AMERB "Punta Aña" en el sector de cenizales, al norte. El estado a enero de 2018 de este sector es "sin decreto".

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

4.1.1.1 Introducción

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

En este contexto, bahía Algodonales constituye un sistema ambiental, el que está conformado por aquellas entidades o conjunto de ellas que forman parte del problema ambiental en estudio. Un sistema ambiental es un conjunto de "*modelos y métodos para*

[3] http://www.retc.cl/datos-retc/
[4] http://www.subpesca.cl/portal/619/w3-article-79986.html

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

4.1.1.2 Procesos Oceanográficos de gran escala

4.1.1.2.1 Sistemas de corrientes en el norte de Chile

Una serie de trabajos han sintetizado las principales corrientes que ocurren en la costa de nuestro país. En Figura 4.1-1 se entrega una síntesis de dichas descripciones reconociéndose ocho corrientes principales (para cada corriente se entrega el número entre paréntesis). La corriente superficial de Deriva de los Vientos del Oeste (1) alcanza la costa de Sudamérica cerca de los 45ºS dividiéndose a la altura de los 80-90ºW 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 4º27'S en el extremo norte de Perú y luego se desvía hacia el noroeste a través del Océano Pacífico. A la altura de los 40ºS a 48ºS 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 10ºS a 20ºS, 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 4ºS) 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 28ºS y a la misma altura de la

contracorriente aparece la corriente Costera Chilena (8) que fluye superficialmente hacia el norte y alcanza hasta los 23ºS. 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 40ºS a 41ºS, cuando la capa superior de la corriente de Gunther alcanza la superficie a la altura dentro de la rama costera de Humboldt.

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

En nuestro país las interacciones entre las corrientes antes mencionadas definen tres zonas de convergencias oceánicas principales (Figura 4.1-1): a) Convergencia Subtropical (CST), b) Convergencia en la Deriva del Oeste (CDO) y c) Convergencia Antártica (CA, no se muestra en la modificación). La Convergencia Subtropical es la zona de contacto entre aguas subtropicales cálidas y salinas que dominan la zona entre Arica y Coquimbo con las aguas de la rama oceánica de Humboldt y las aguas subantárticas que dominan entre Coquimbo y la Isla Grande de Chiloé. Esta convergencia sitúa hacia el norte la zona norte subtropical caracterizada por zonas de surgencia costera activa, salinidad variable y marcadas variaciones de temperatura superficial. Hacia el sur esta convergencia define la zona transicional central caracterizada por bruscos cambios de temperatura y por el aporte, en su porción sur, de ríos y lluvias que modifican su salinidad. La Convergencia en la Deriva del Oeste corresponde a la zona en la que se produce la bifurcación de la corriente del Humboldt hacia el norte y la corriente del cabo de Hornos hacia el sur y define el límite de la zona central transicional con la zona sur-subantártica, la cual se caracteriza por un predominio de aguas subantárticas durante todo el año con importante influencia de las aguas continentales en la franja costera, principalmente por aporte de agua dulce y por un flujo permanente de agua hacia el sur (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

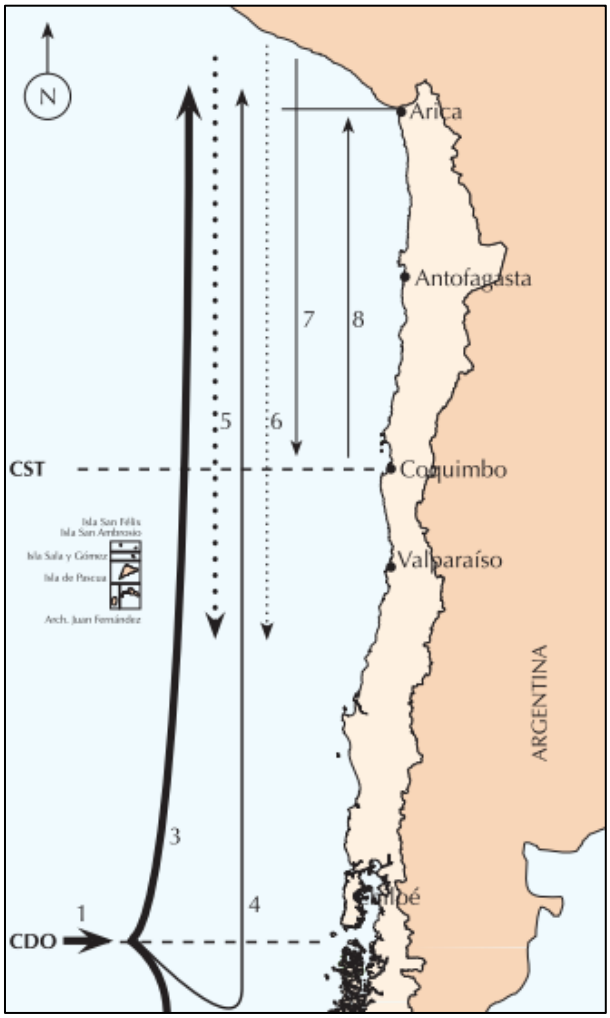


Figura 4.1-1: Síntesis de las principales corrientes marinas que ocurren en la costa de chile. CST: Convergencia Subtropical. CDO: Convergencia de Deriva del Oeste. 1). Corriente superficial de Deriva de los Vientos del Oeste (superficial). 3). Rama oceánica de Humboldt (superficial). 4). Rama costera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

4.1.1.2.2 ENOS

El Niño hace referencia a un cambio en el sistema océano-atmosférico que ocurre en el Pacífico Oriental, que induce cambios significativos en el comportamiento del clima sobre una extensa región del planeta. El nombre de “El Niño” (El Niño Oscilación del Sur, ENOS), corresponde a la denominación dada por los pescadores peruanos, quienes asociaron la llegada de este fenómeno hacia fines de diciembre con la Navidad. Este fenómeno se observa en intervalos de 2 a 7 años y generalmente se inicia durante el período de diciembre a marzo. Un indicador clave de El Niño es la temperatura del agua superficial del océano, la que se alza entre 1ºC y 4ºC tanto en el Pacífico Central como en el oriental, en las costas sudamericanas. El “calentamiento” de las aguas comienza tarde en la primavera y verano boreal y alcanza un punto culminante al cabo del año, con efecto mayor sobre el siguiente

verano austral. Este fenómeno provoca una gran alteración en los mecanismos de circulación general de la atmósfera sobre una extensa área del planeta.

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

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

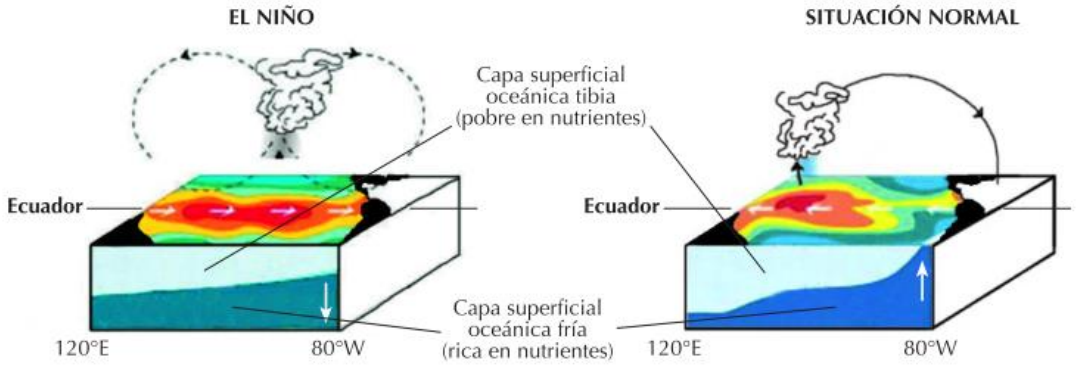


Figura 4.1-2: Cambios en la circulación atmosférica inducidos por El Niño. Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008)

Por otra parte, “La Niña” es el término que se utiliza para denominar la fase fría del fenómeno ENOS. La Niña se caracteriza por temperaturas oceánicas extraordinariamente frías en el Pacífico Ecuatorial. Las anomalías del clima global asociadas con La Niña tienden a ser opuestas a las de El Niño, por lo que también ha recibido la denominación de “El Viejo”. Las condiciones de La Niña recurren cada cierta cantidad de años y pueden persistir hasta

dos años. Típicamente, La Niña es precedido por una generación de aguas subsuperficiales más frías de lo normal en el Pacífico Tropical. Las ondas atmosféricas y oceánicas que se mueven hacia el este ayudan a traer el agua fría desde las regiones antárticas, reforzando la corriente de Humboldt, que durante el fenómeno de El Niño estaba represada. Además de las temperaturas frías en el mar, La Niña trae consigo una gran surgencia de aguas profundas, ricas en minerales, fomentando la productividad del plancton y, con ello, de la fauna marina. El Niño y La Niña resultan de la interacción entre las superficies del océano y la atmósfera en el Pacífico Tropical. Los cambios en el océano afectan los patrones atmosféricos y climáticos alrededor del globo. A su vez, los cambios en la atmósfera inciden sobre las temperaturas y corrientes del océano. El sistema oscila entre cálido (El Niño) y neutral o frío (La Niña), con un promedio de 3 o 4 años por ciclo. El comportamiento histórico de los eventos muestra una alternancia periódica. Por ejemplo, entre 1994 y 1995, estuvo presente el fenómeno de El Niño y seguidamente ocurrió La Niña, evento que duró hasta 1996 (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008).

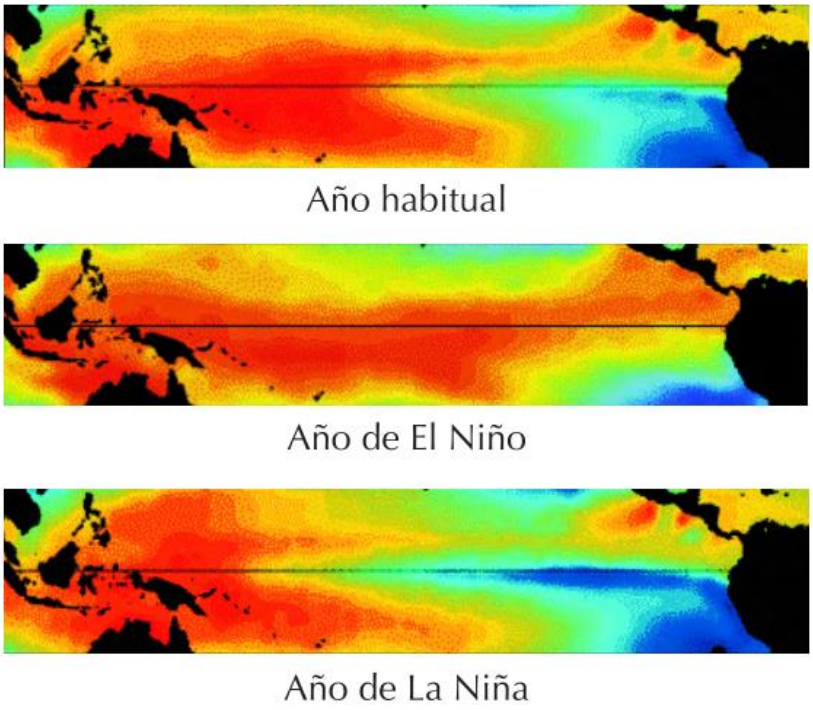


Figura 4.1-3: Cambios en la temperatura superficial del mar durante eventos El Niño y La Niña. Modificado de (Comisión Nacional del Medio Ambiente 2008

4.1.1.2.3 Zona Mínima de Oxígeno (ZMO)

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

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

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

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

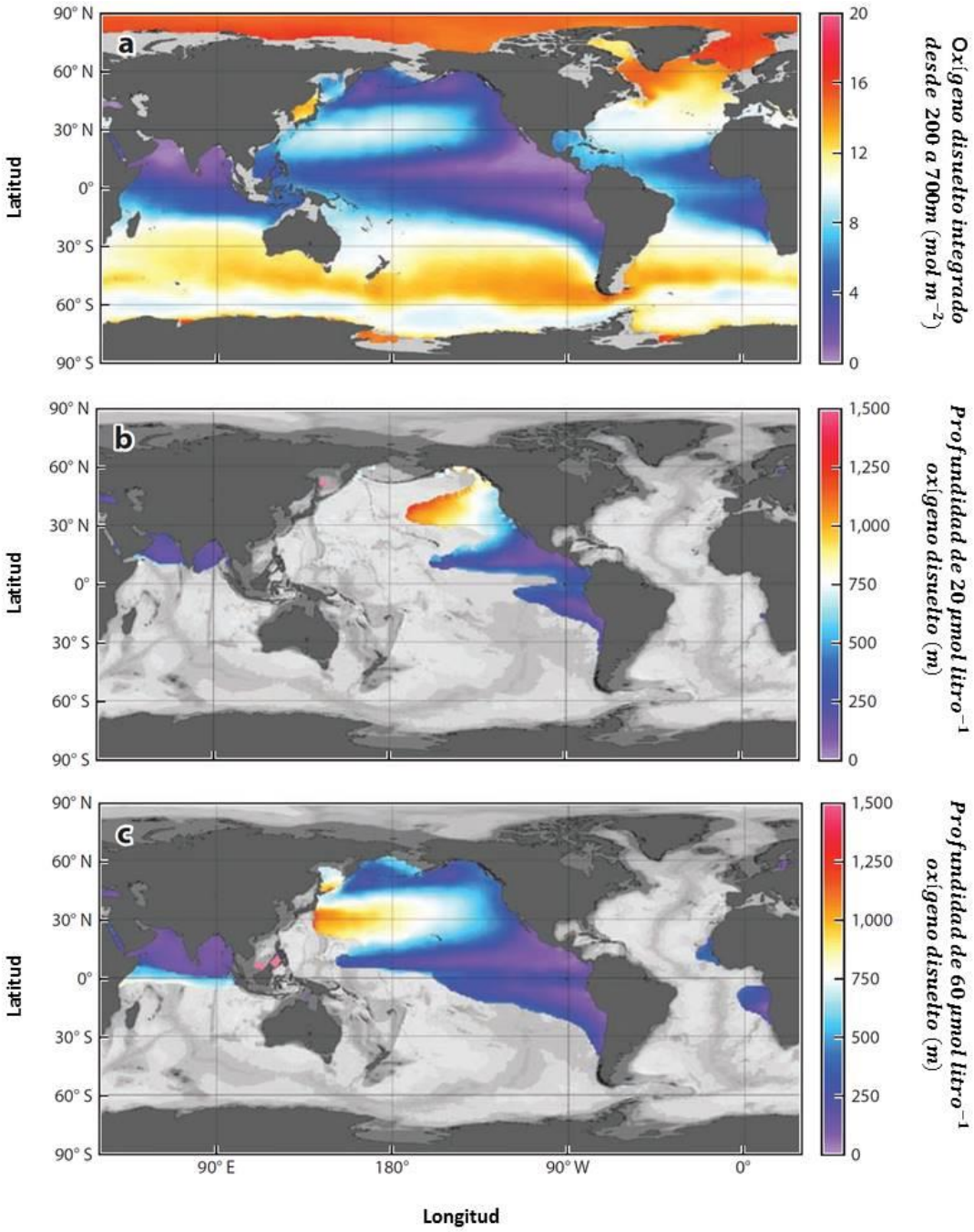


Figura 4.1-4: Patrones espaciales a escala global de niveles de oxígeno en los océanos, Modificado de Gilly et al (2013).

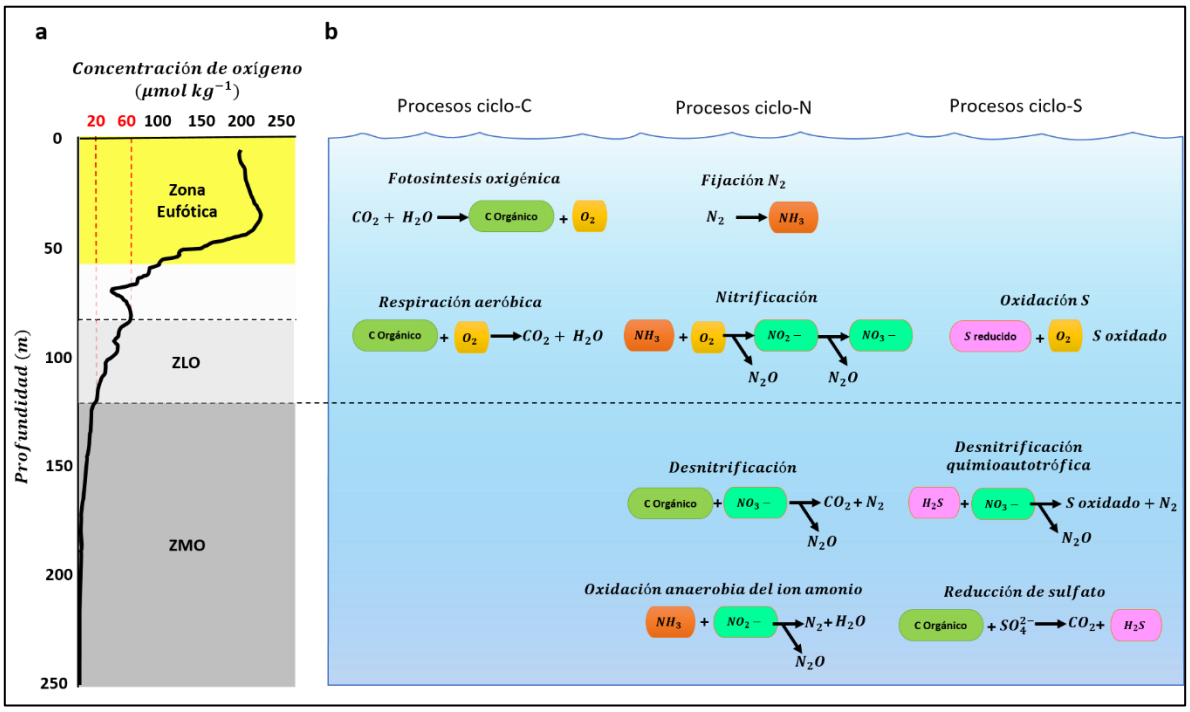


Figura 4.1-5: Procesos biogeoquímicos microbianos activos en zonas mínimas de oxígeno (ZMOs) y el océano oxigenado. A) Perfil característico de profundidad para el oxígeno disuelto en el Pacífico Norte Oriental, indicando las profundidades de la zona eufótica (amarilla), zona limitada de oxígeno (OLZ,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

4.1.1.2.4 Surgencia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

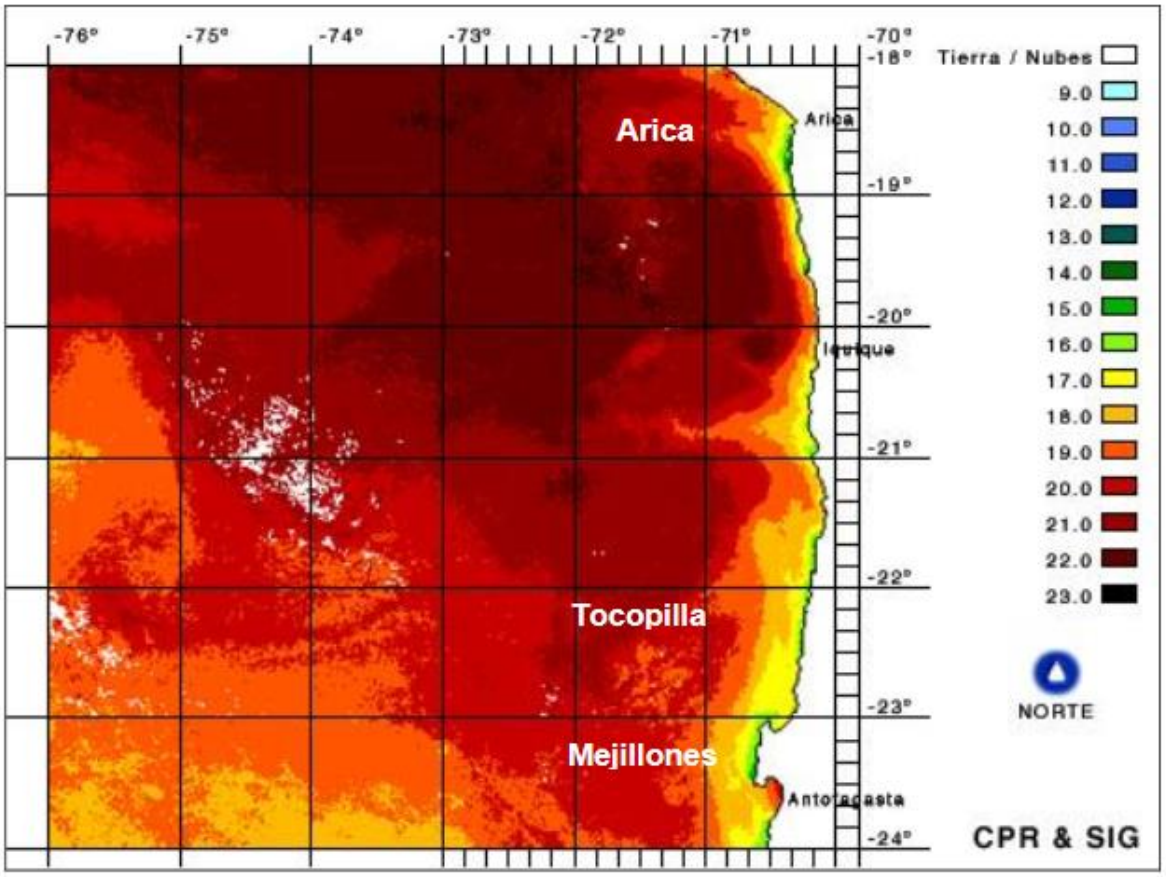


Figura 4.1-6: Temperatura superficial del mar desde Mejillones a Arica. Se registran temperaturas más bajas en la costa debido a la surgencia costera (*Fuente: DIA Planta Desaladora Tocopilla*)

4.1.1.3 Estructura y funcionamiento ecosistémico en Bahía Algodonales

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

4.1.1.3.1 Caracterización física de los componentes abióticos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

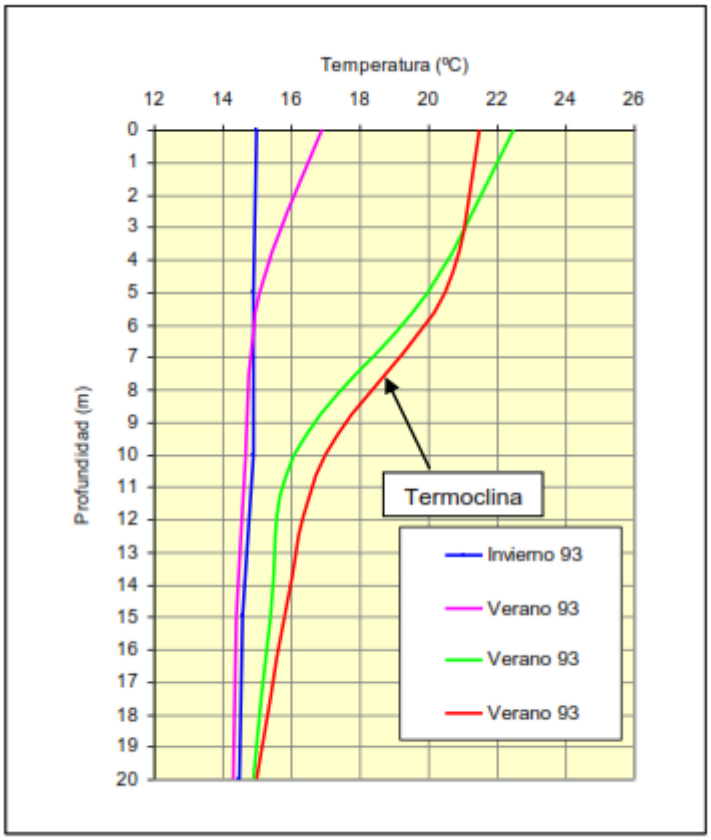


Figura 4.1-7: Perfiles de temperatura en Bahía Mejillones. *(Fuente: Aquacien, 2016).*

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

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

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

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

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

4.1.1.3.2 Caracterización fisicoquímica de los componentes abióticos

i. Columna de agua

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

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

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

- Decreto Nº 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 4.1-4 muestra los valores referenciales utilizados para comparar los parámetros de calidad ambiental del agua marina, recopilados de la información histórica en bahía Algodonales.

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

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

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

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

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

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

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

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

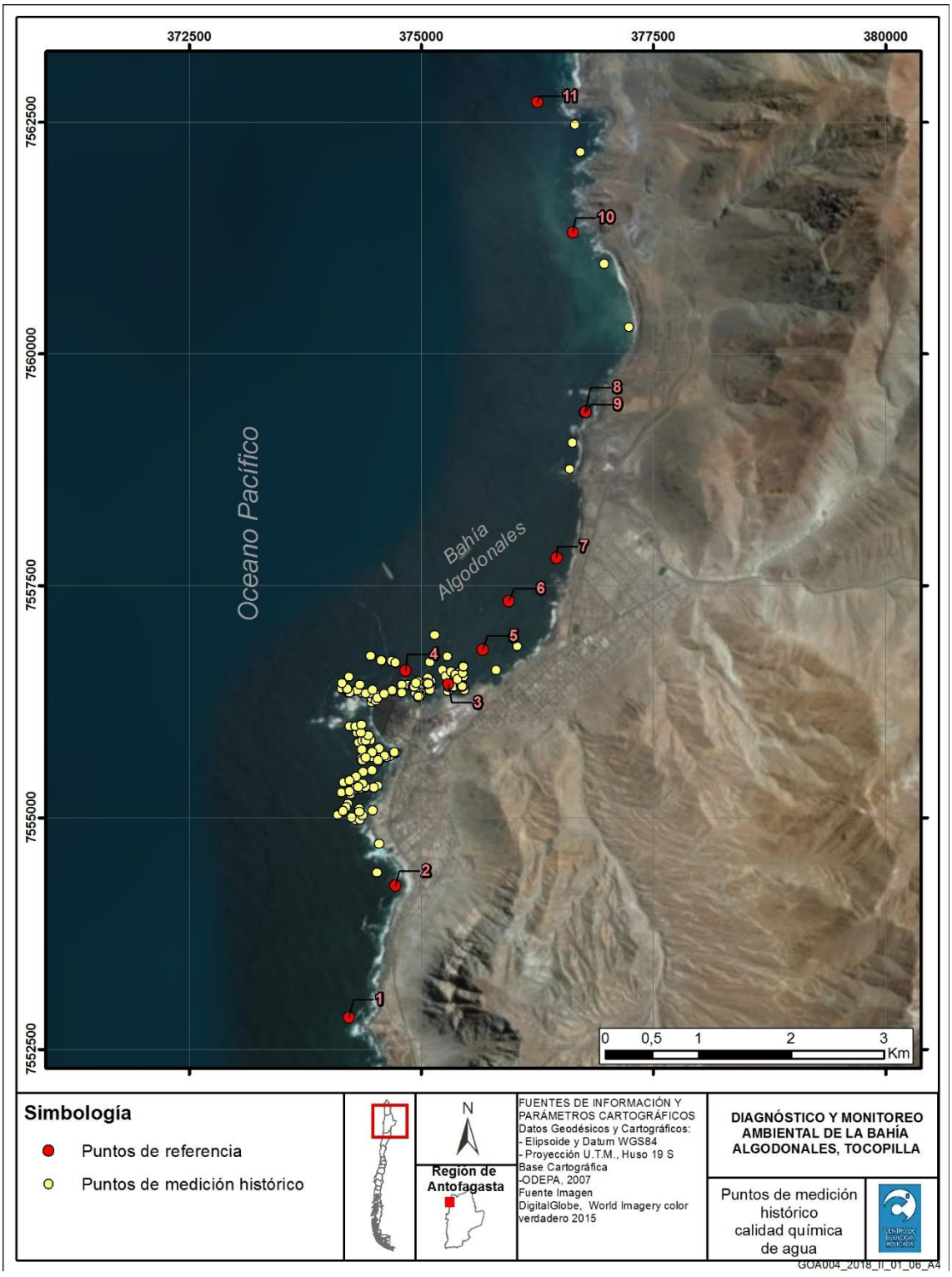


Figura 4.1-8: Puntos de medición históricos recopilados de calidad química de agua (puntos amarillos) y puntos de referencia utilizados (puntos rojos).

a) Parámetros de condición instantánea

· Oxígeno disuelto

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

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

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

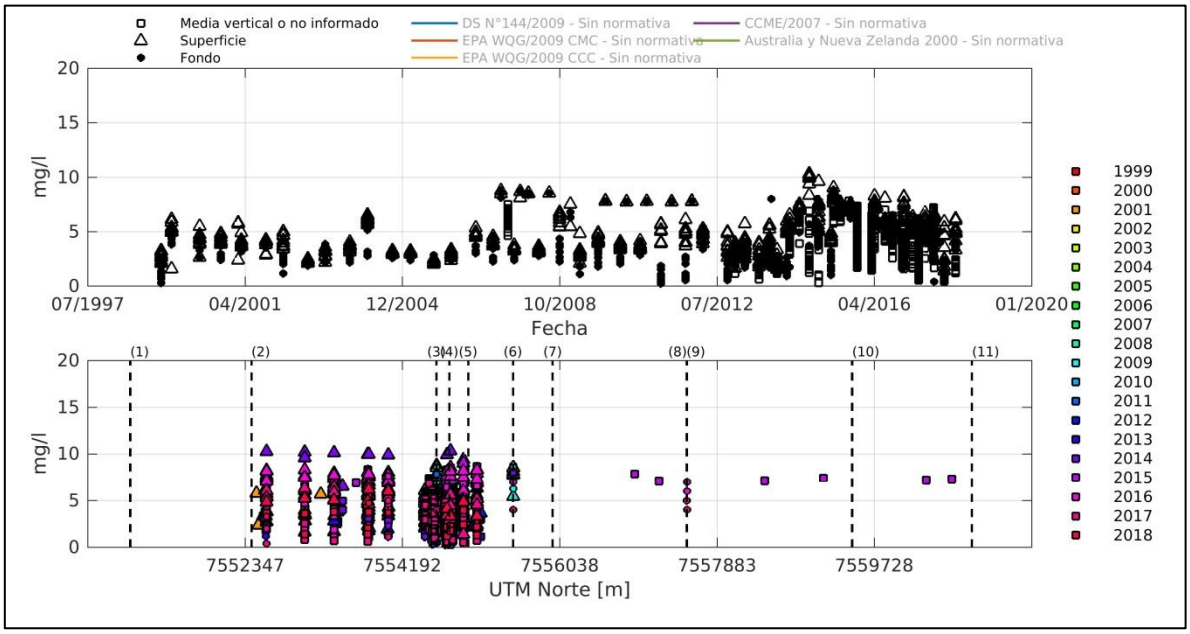


Figura 4.1-9. Concentración de Oxígeno disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

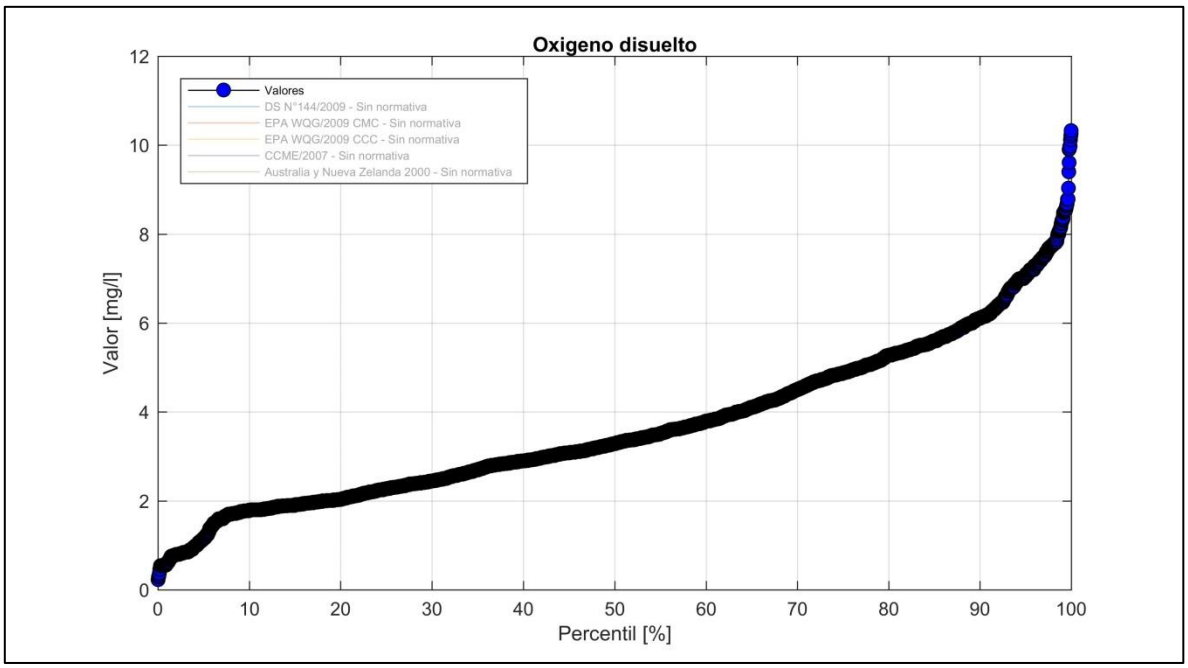


Figura 4.1-10. Concentración de Oxígeno disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- pH

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

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

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

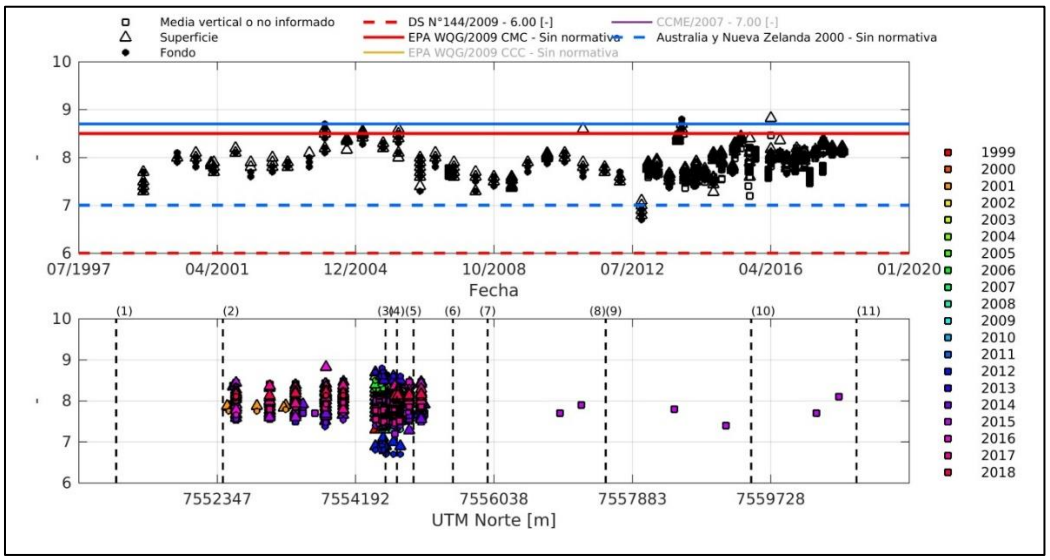


Figura 4.1-11. PH en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación,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

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

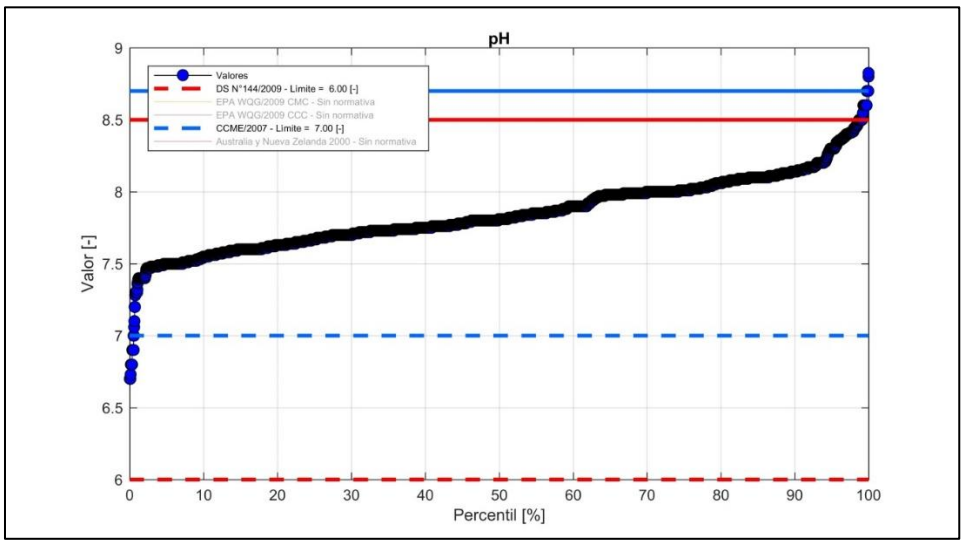


Figura 4.1-12. PH en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009) y CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*; 2007).

· Temperatura

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

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

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

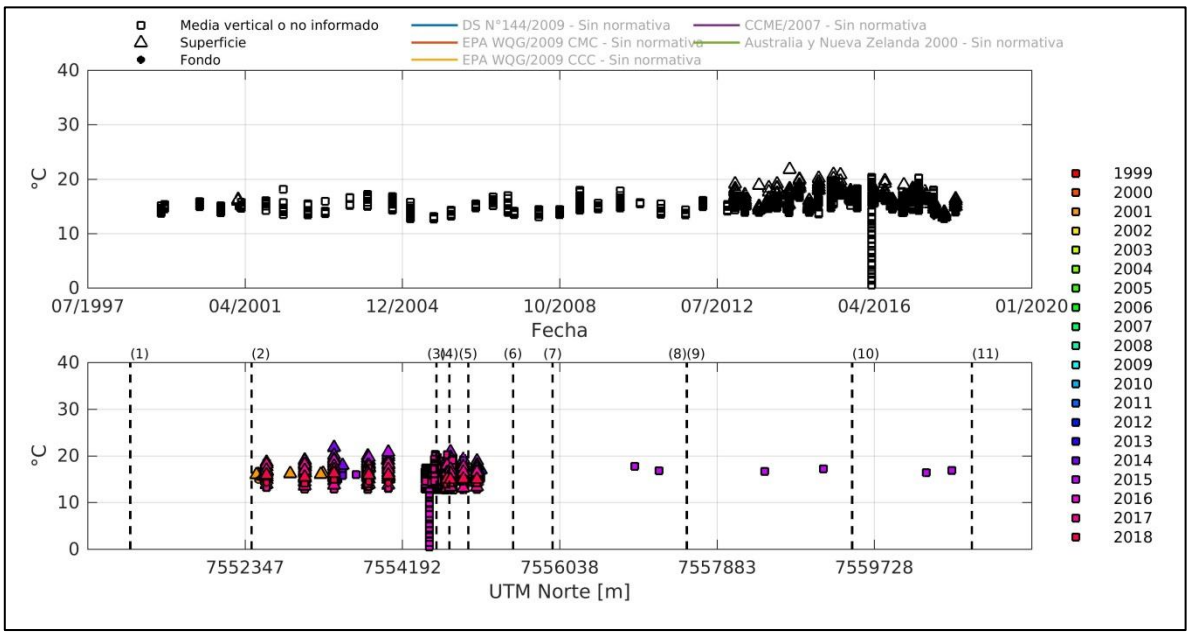


Figura 4.1-13. Temperatura en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de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

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

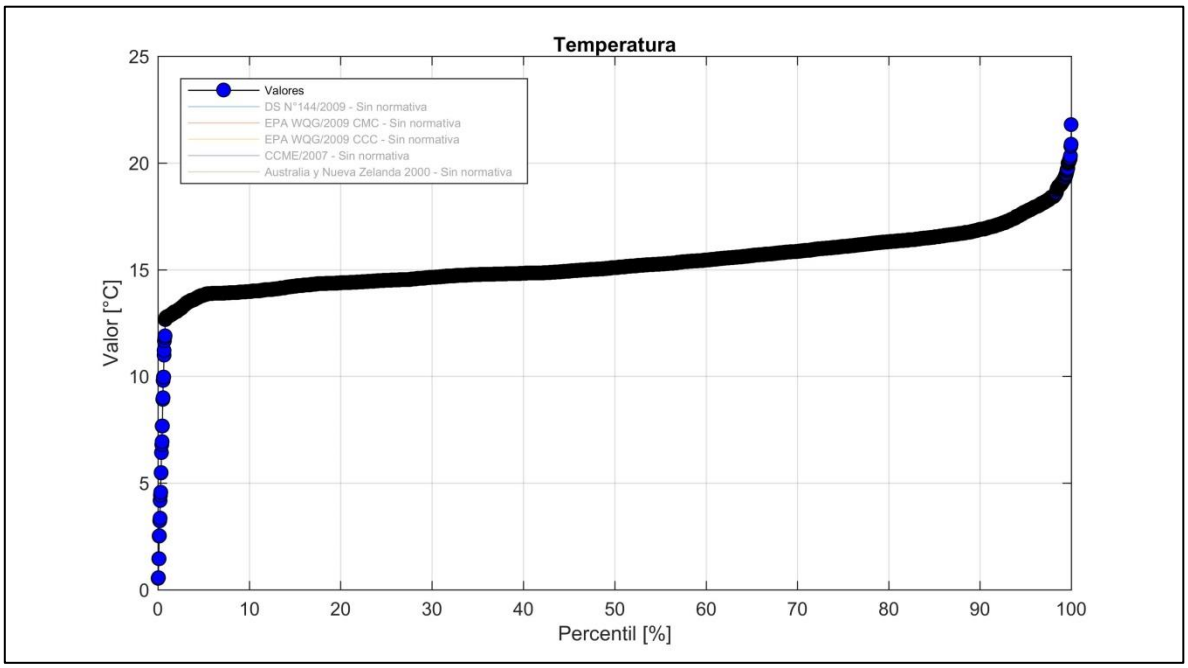


Figura 4.1-14. Temperatura en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5)

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

Considerando la variación espacial de los registros, se observa que los mayores valores de la DBO_5 se han registrado de forma puntual al sur del área de estudio, entorno de Playa Covadonga (Figura 4.1-15, abajo).

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

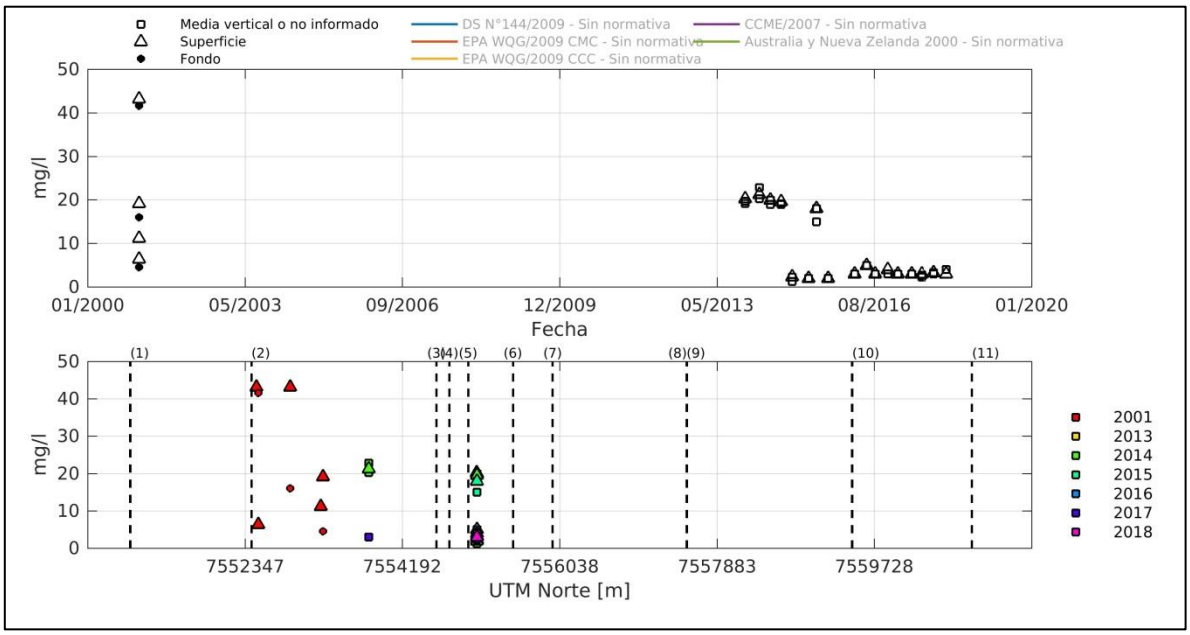


Figura 4.1-15. Demanda Bioquímica de Oxígeno en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

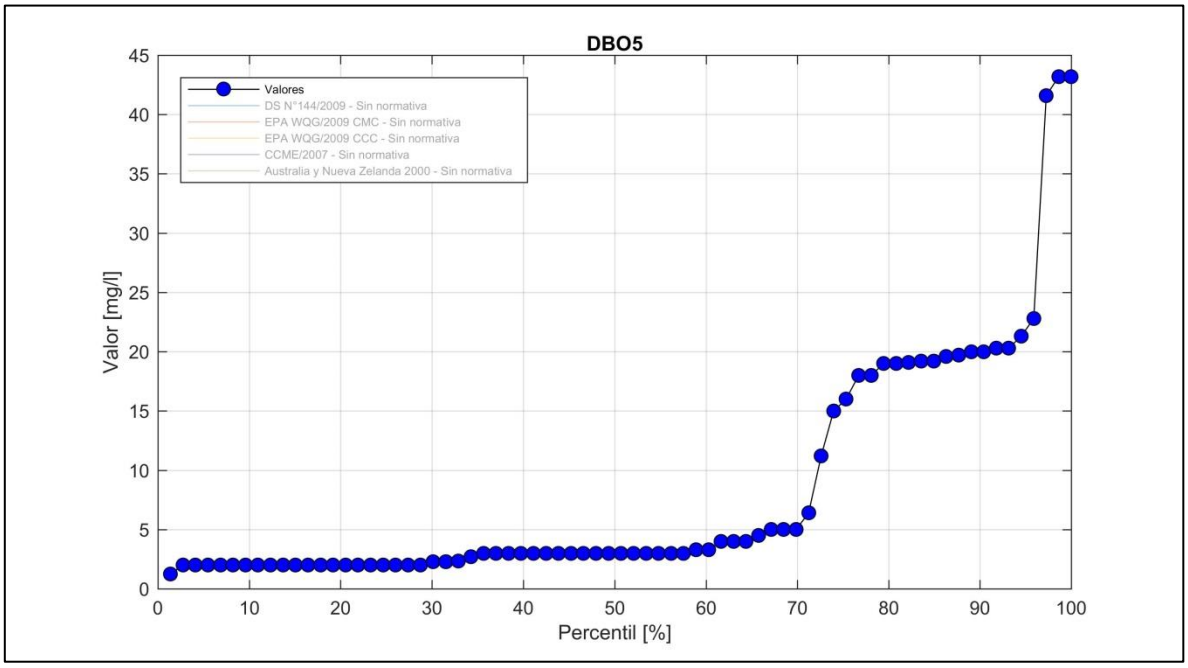


Figura 4.1-16. Demanda Bioquímica de Oxígeno en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

b) Otros parámetros de interés ambiental

· Sólidos Suspendidos

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

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

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

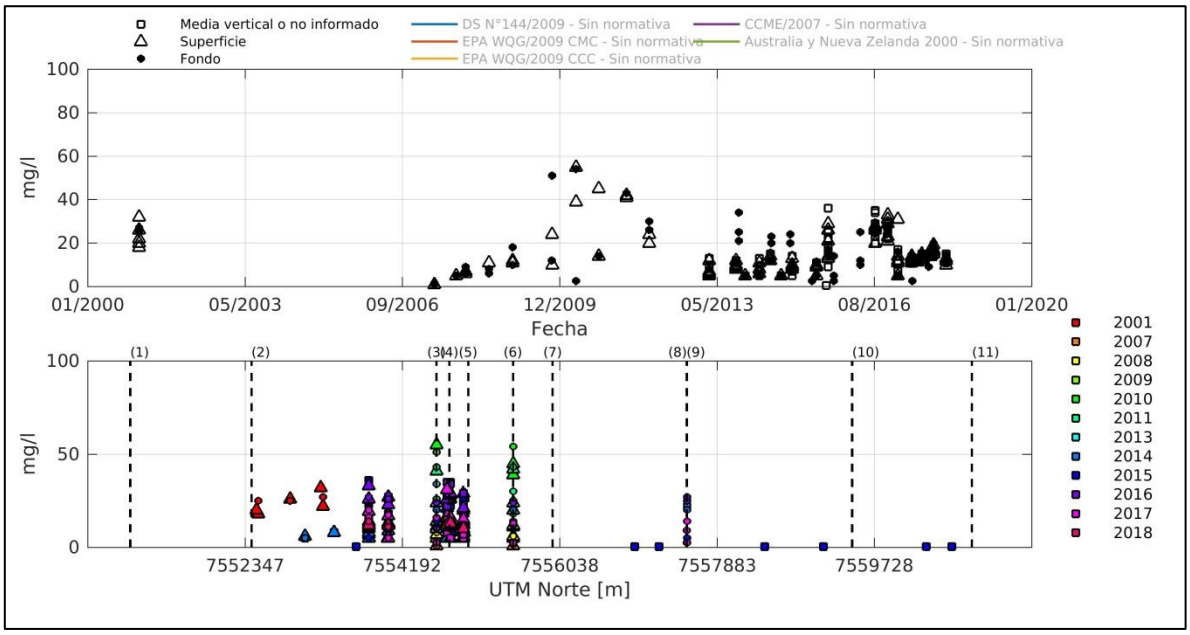


Figura 4.1-17. Concentración de Sólidos suspendidos en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los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

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

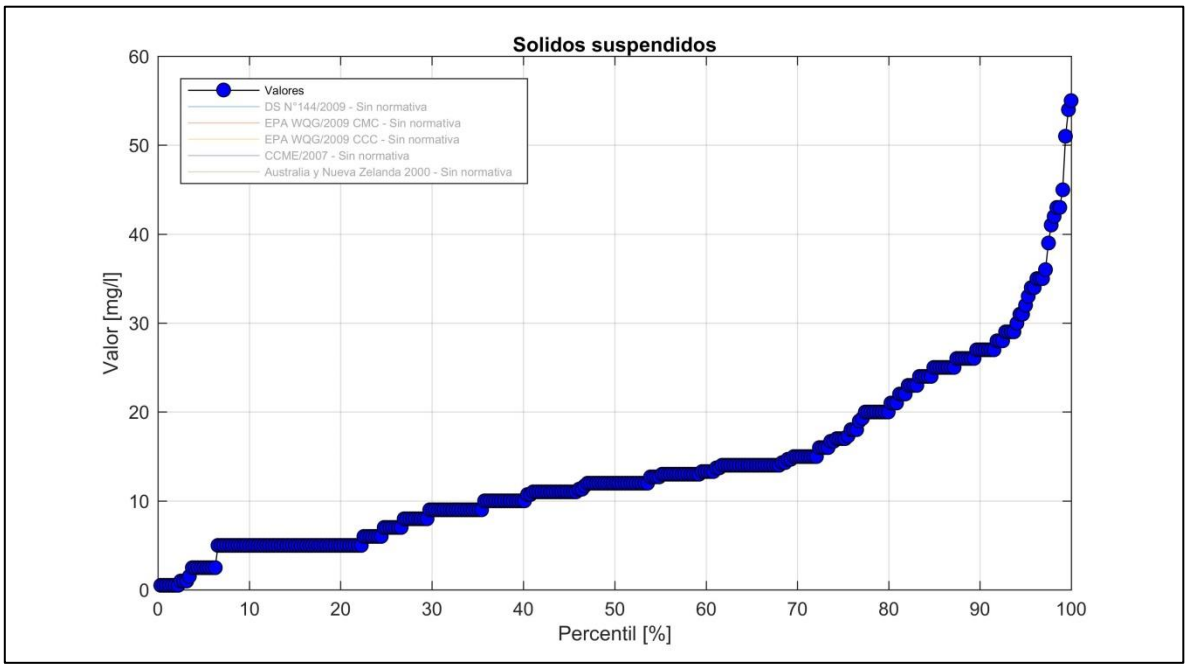


Figura 4.1-18. Concentración de Sólidos suspendidos en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Sólidos Disueltos

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

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

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

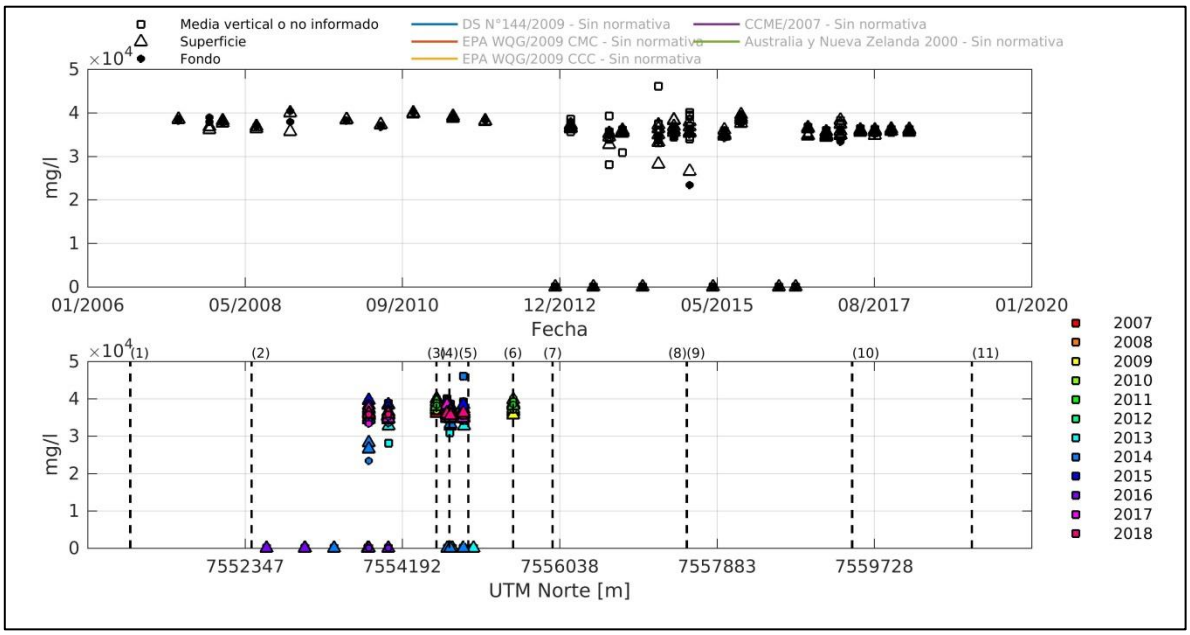


Figura 4.1-19. Concentración de Sólidos disueltos en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los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

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

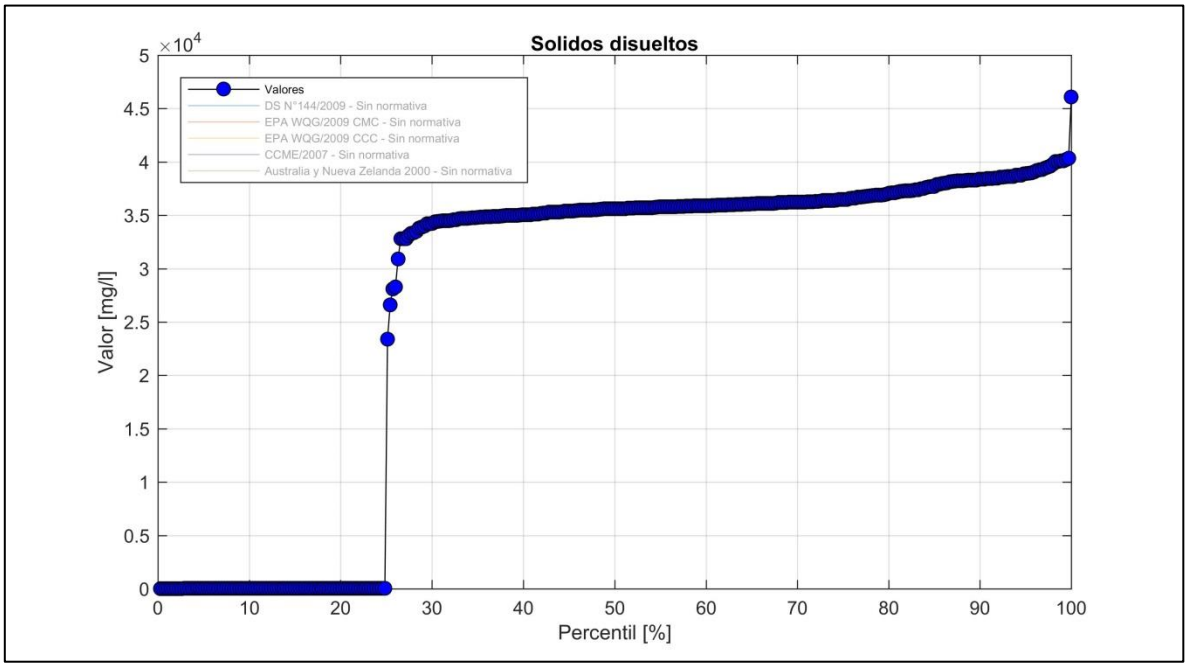


Figura 4.1-20. Concentración de Sólidos disueltos en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Turbidez

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

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

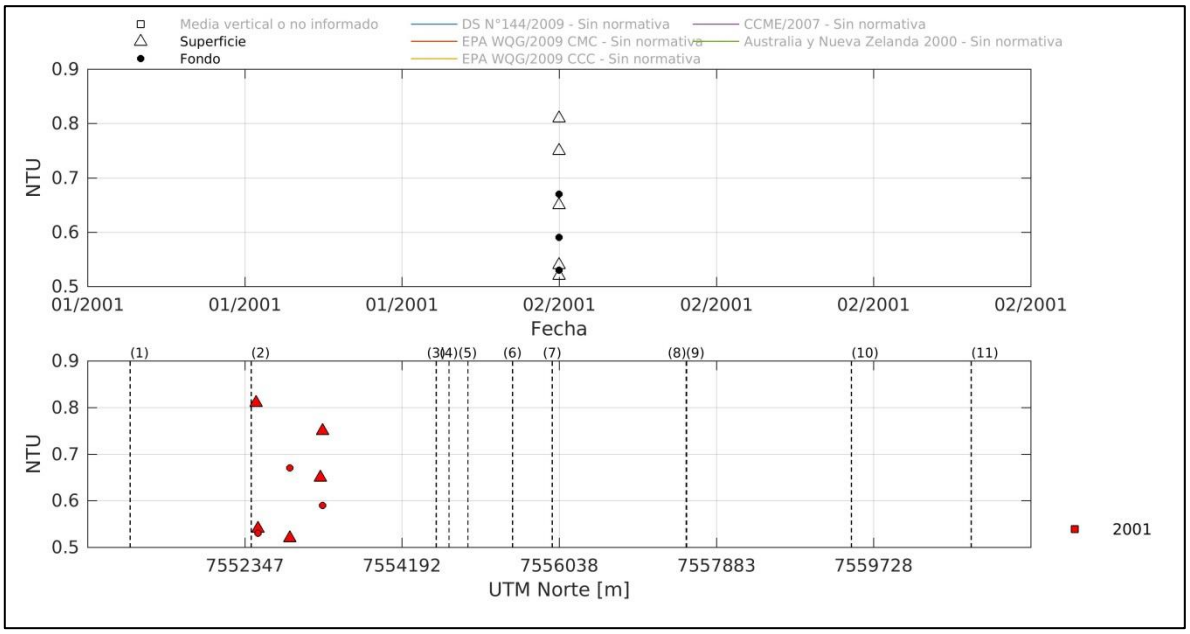


Figura 4.1-21. Turbidez en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas de observación,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

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

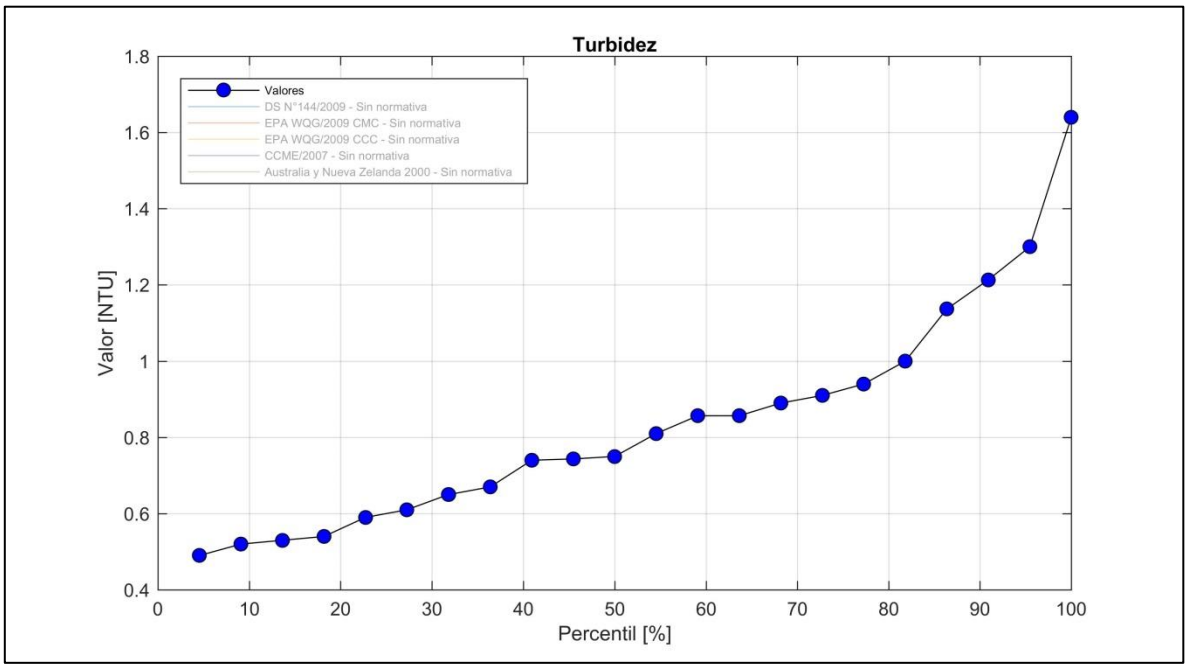


Figura 4.1-22. Turbidez en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Aceites y Grasas

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

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

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

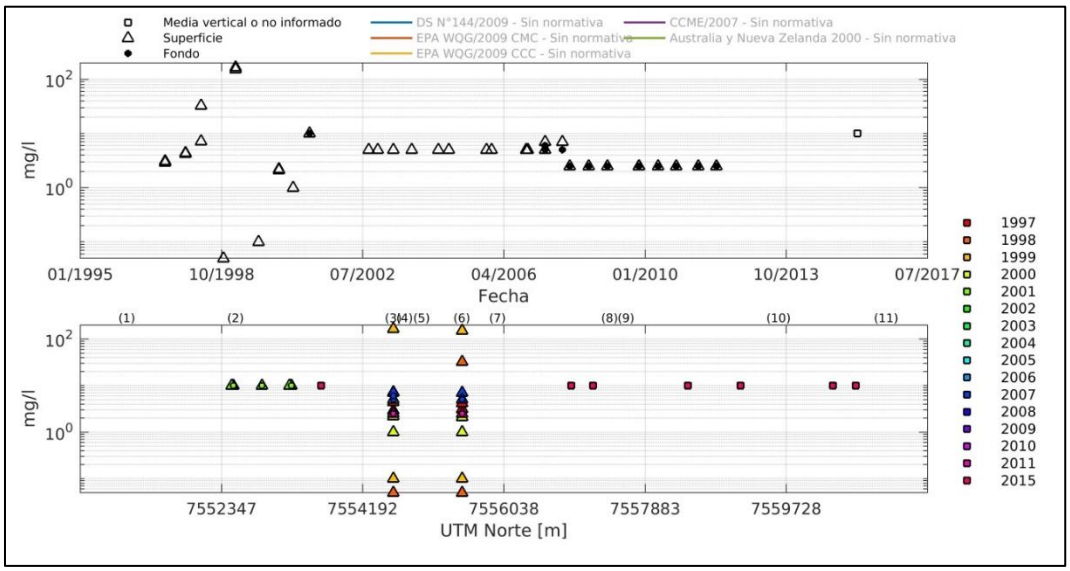


Figura 4.1-23. Concentración de Aceites y Grasas en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los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

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

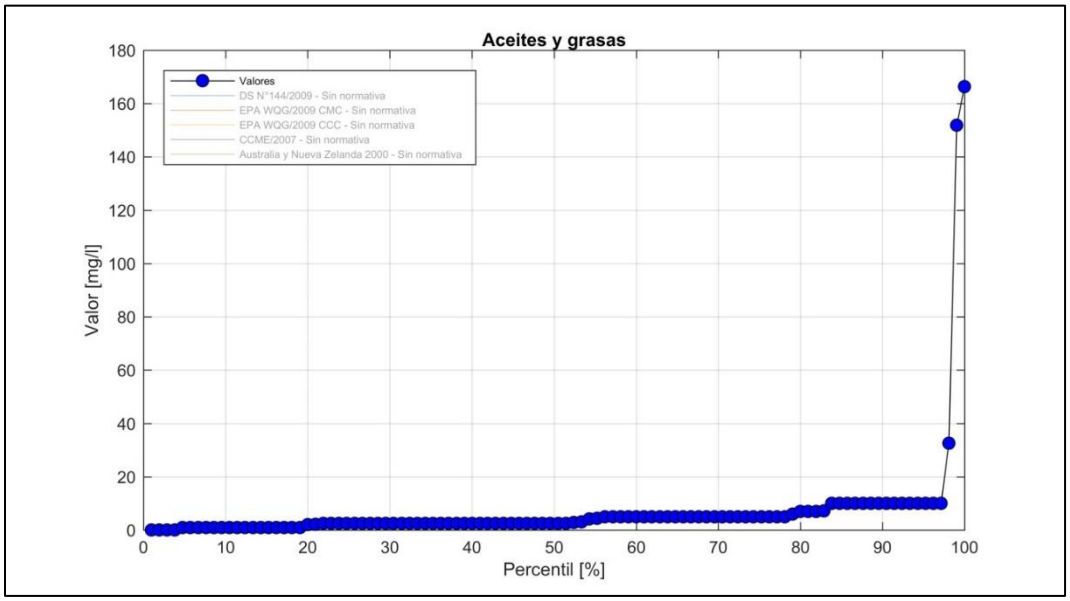


Figura 4.1-24. Concentración de Aceites y Grasas en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

c) Agentes contaminantes no metálicos

· Cloruro libre

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

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

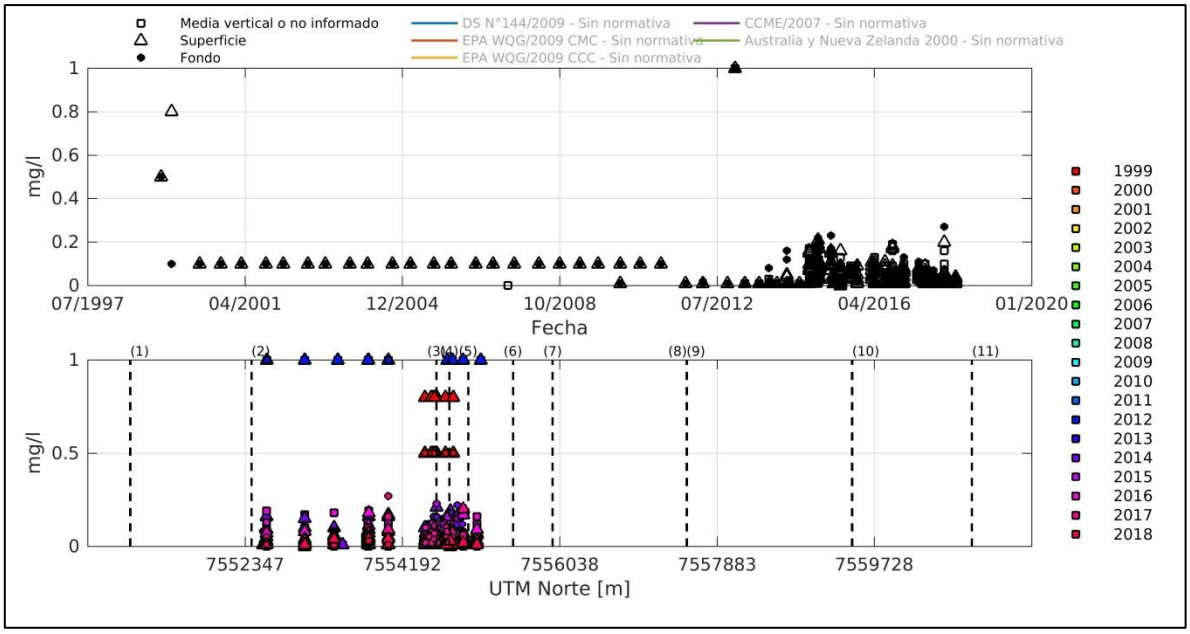


Figura 4.1-25. Concentración del ión Cloruro libre en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los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

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

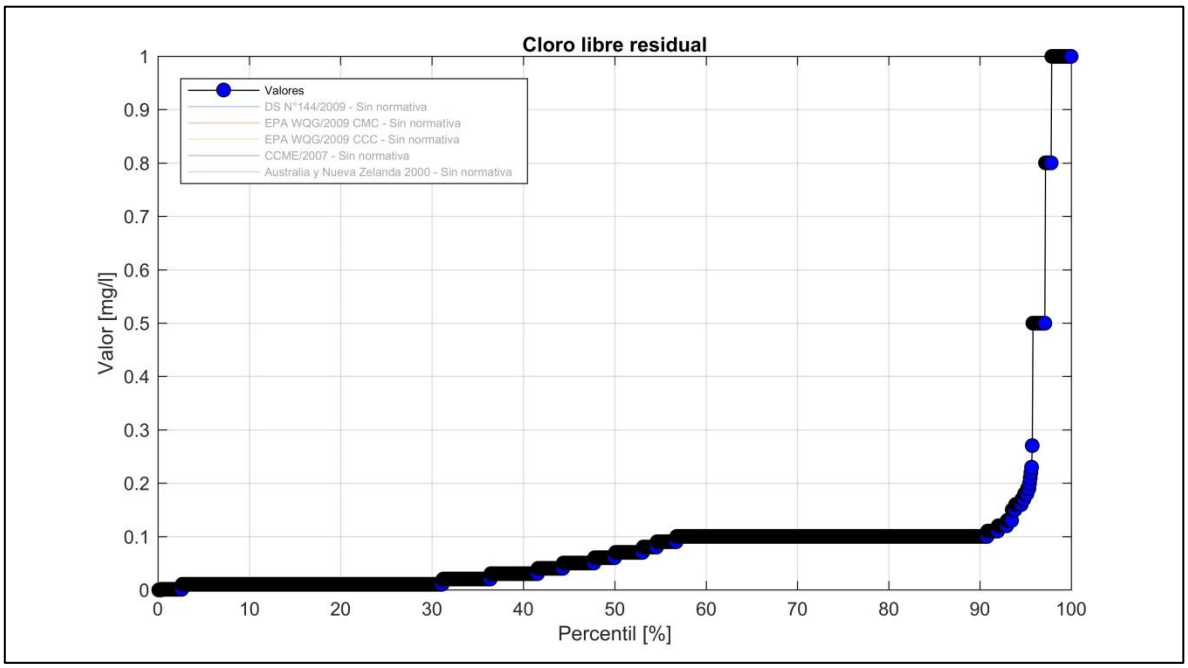


Figura 4.1-26. Concentración de Cloruro libre en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Nitrógeno Amoniacal o Amonio (NH3+)

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

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

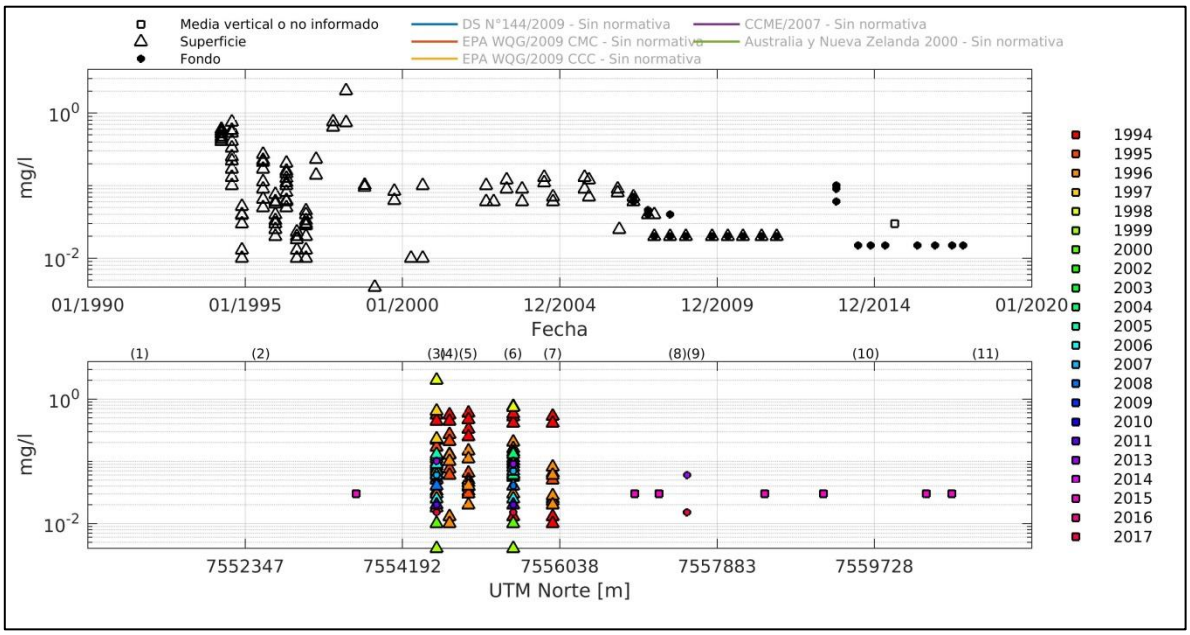


Figura 4.1-27. Concentración de Amonio en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

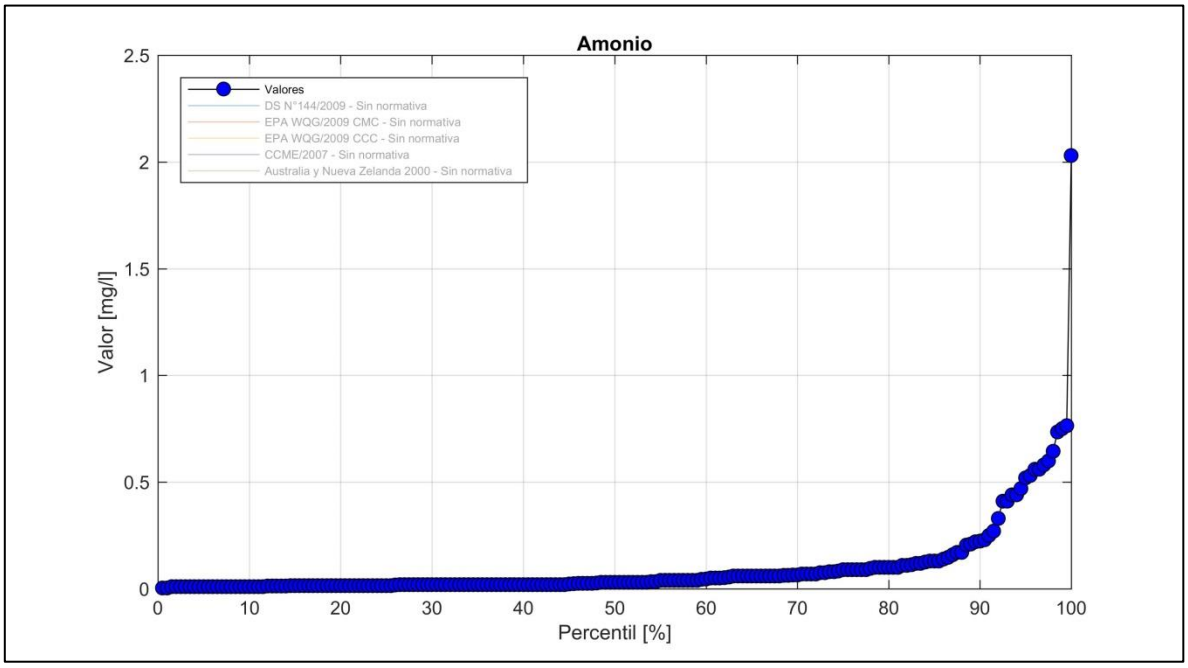


Figura 4.1-28. Concentración de Amonio en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Hidrocarburos totales

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

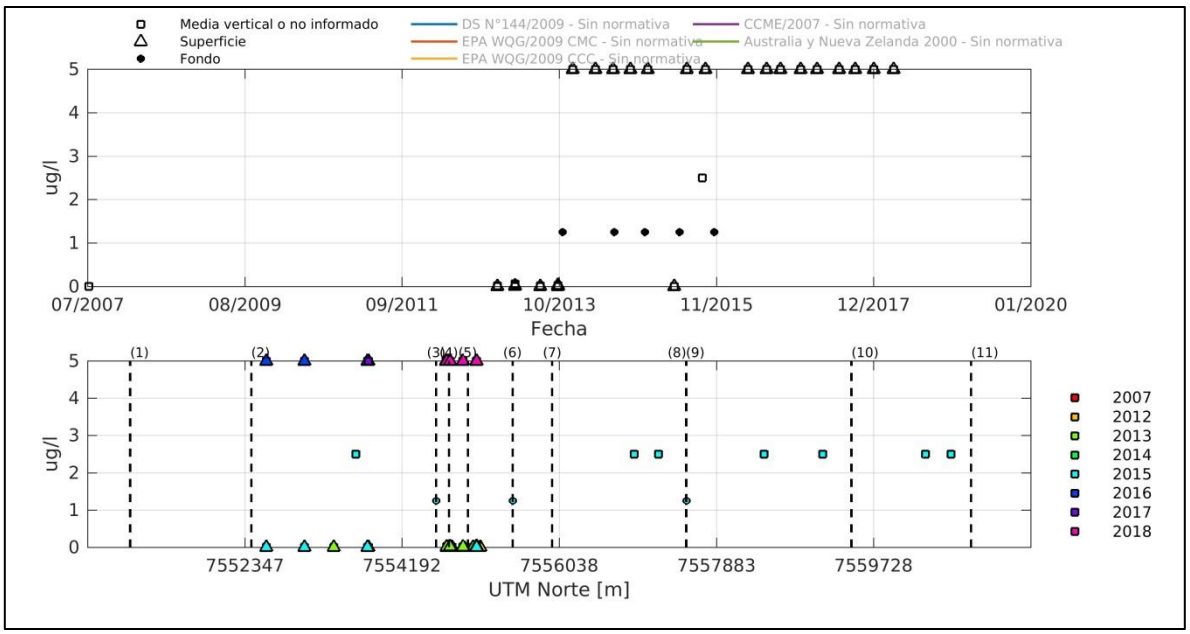


Figura 4.1-29. Hidrocarburos totales en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos programas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

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

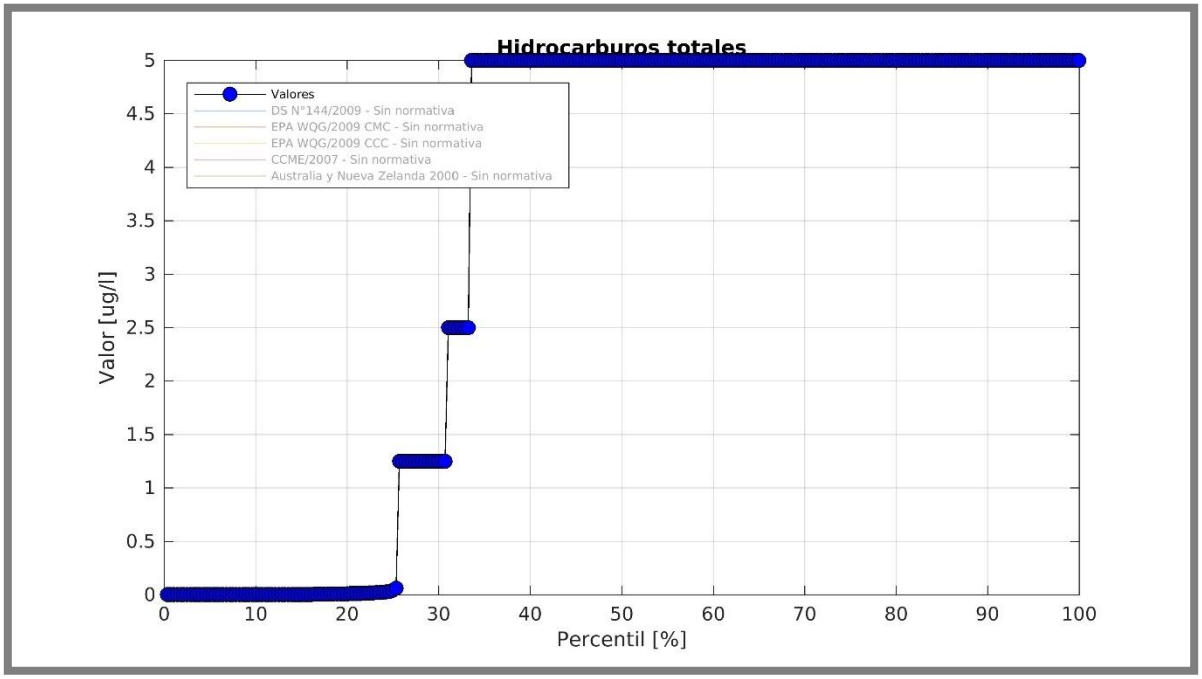


Figura 4.1-30. Hidrocarburos totales en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Hidrocarburos aromáticos totales

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

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

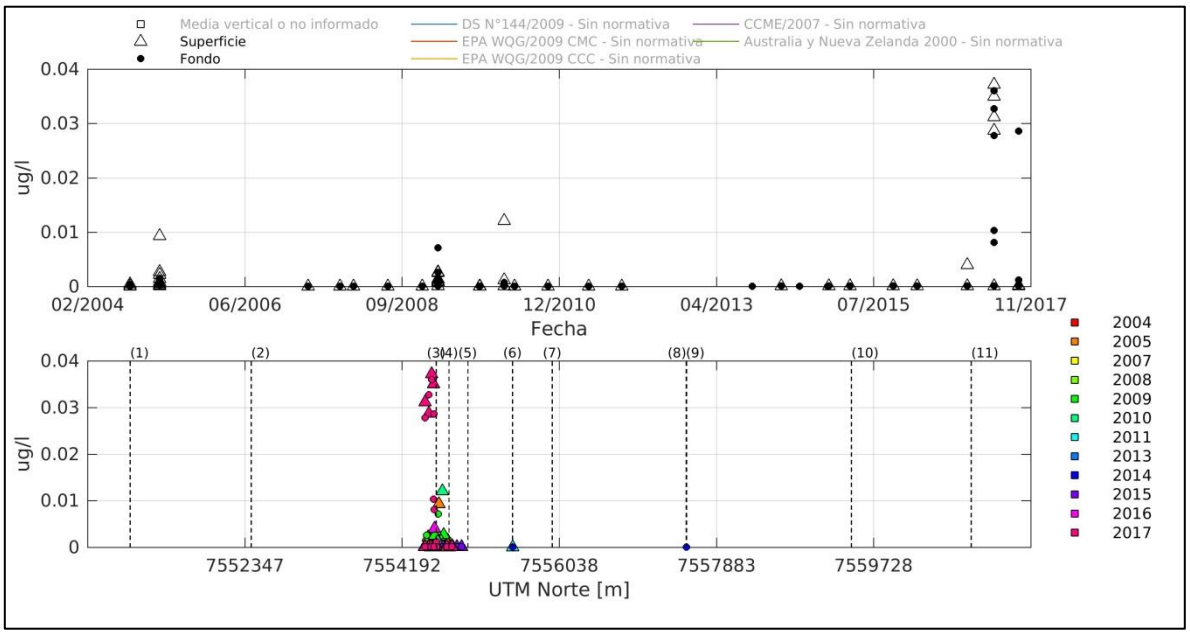


Figura 4.1-31. Hidrocarburos Aromáticos totales en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

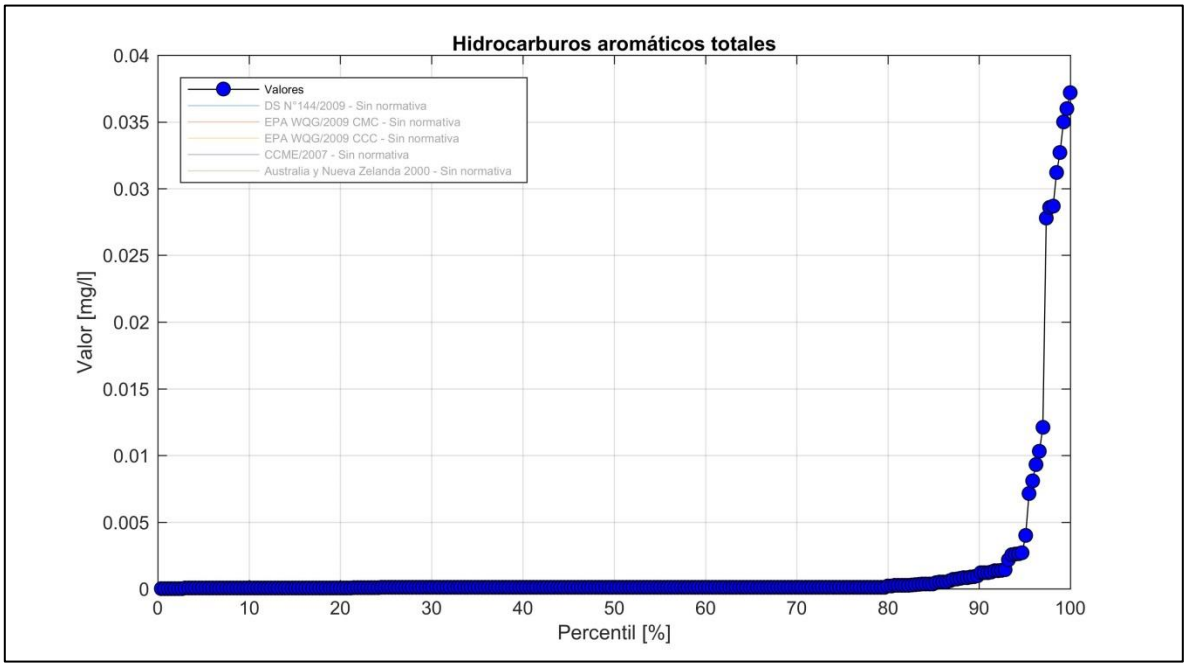


Figura 4.1-32. Hidrocarburos aromáticos en fracción total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

d) Metales y metaloides

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

- Arsénico disuelto

Las concentraciones de arsénico disuelto en la sección transversal de la columna de agua de la bahía Algodonales históricamente han variado entre un valor mínimo de 0,90 µg/L registrado en 2016 y un máximo de 3,40 µg/L en 2014, ambos medidos en la estación 050-A-To.En este sentido, se observa que las mayores concentraciones se han registrado de forma homogénea espacialmente en los puntos de monitoreo distribuidos en la zona de la bahía Algodonales, esto es, entre los puntos de referencia 3 y 8, entre Villa Las Rocas y Estadio, respectivamente (Figura 4.1-33, abajo). En términos temporales, en promedio, las menores concentraciones se registraron durante 2013 y las mayores durante 2014, sin un patrón histórico definido (Figura 4.1-33, arriba).

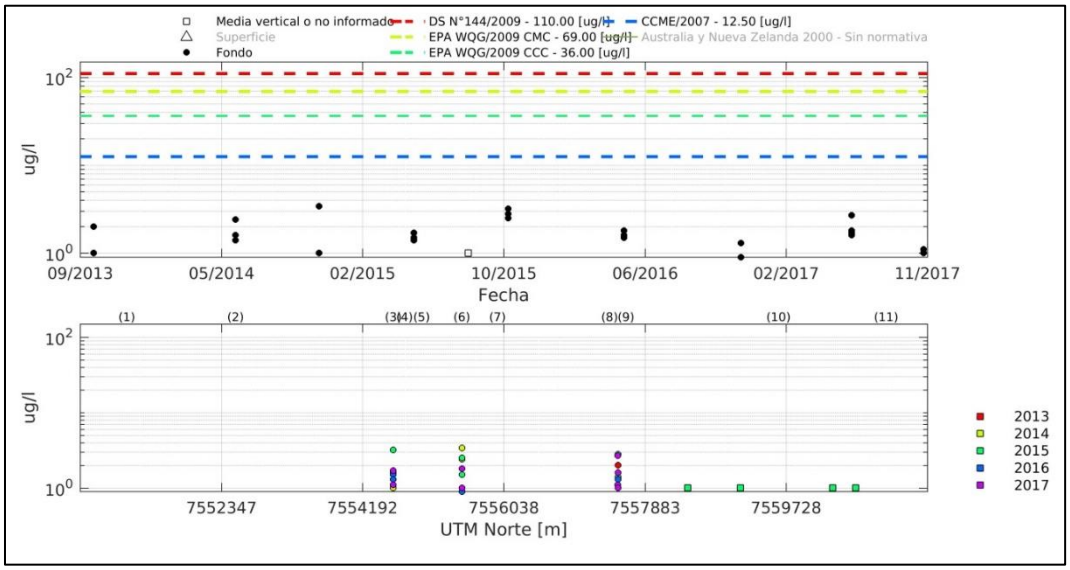


Figura 4.1-33. Concentración de Arsénico disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los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

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

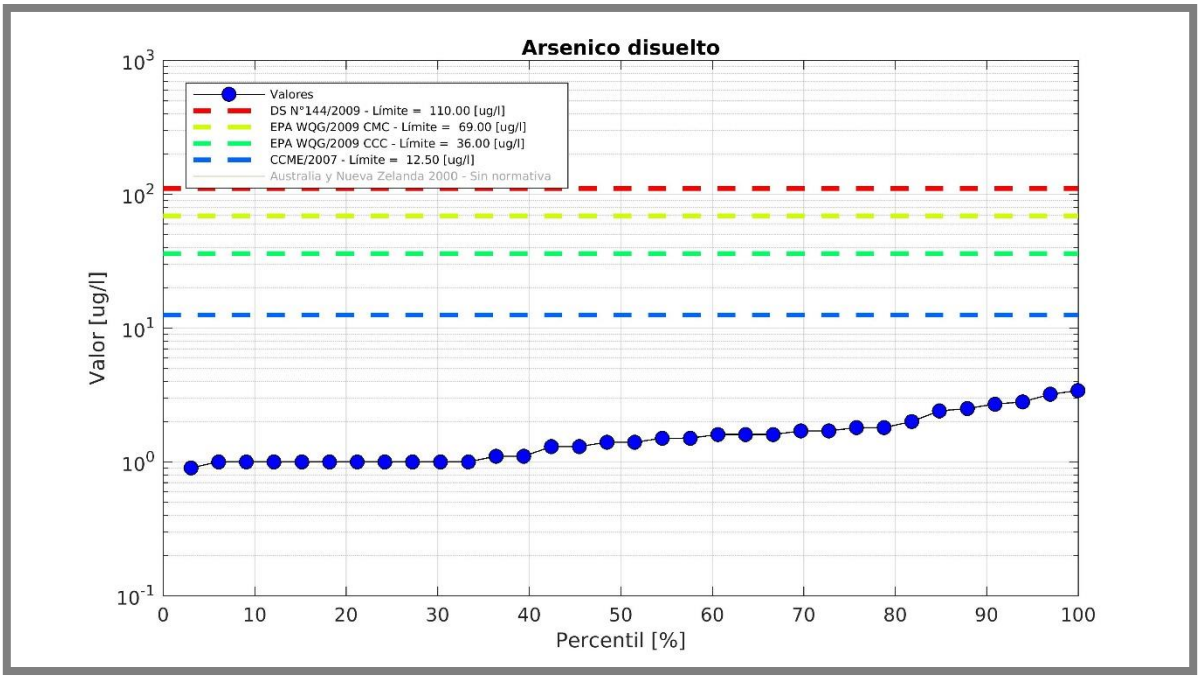


Figura 4.1-34. Concentración de Arsénico disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009), CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*;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

- Arsénico total

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

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

En términos temporales, las concentraciones promedio, han oscilado entre las menores concentraciones durante 2013 y las mayores durante 2005, y en términos generales se ha observado una disminución desde 2005 a la fecha solo alterada por un valor relativamente

alto durante 2017, pero que se encuentra muy por debajo de los valores máximos históricos (Figura 4.1-35, arriba).

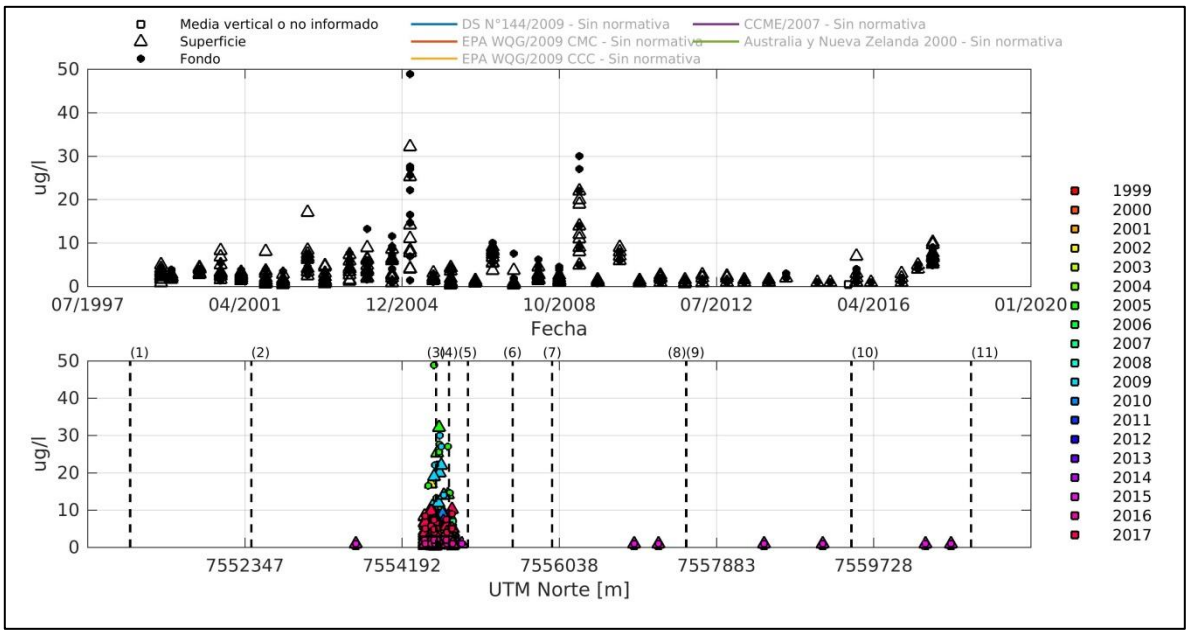


Figura 4.1-35. Concentración de Arsénico total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

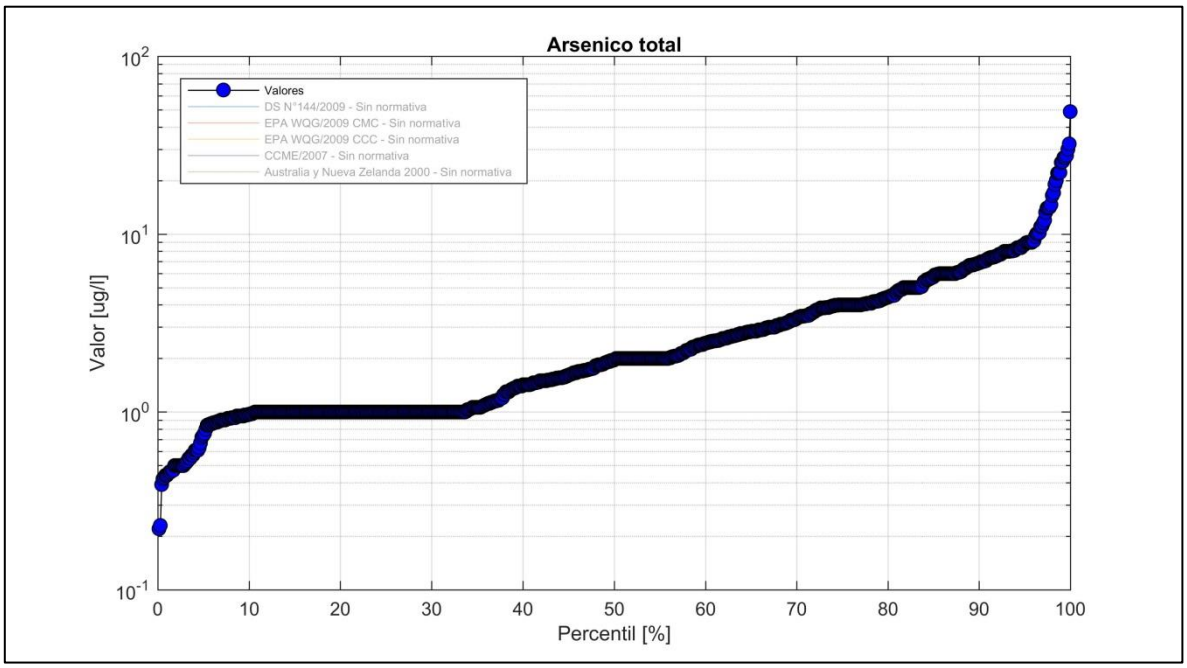


Figura 4.1-36. Concentración de Arsénico total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Cadmio disuelto

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

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

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

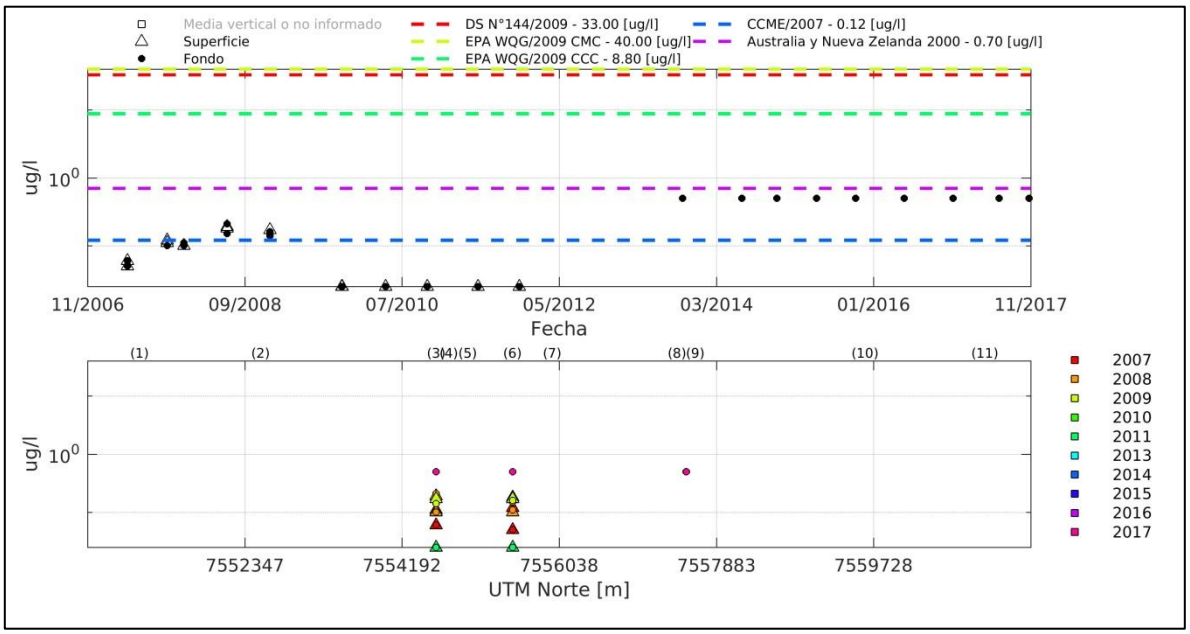


Figura 4.1-37. Concentración de Cadmio disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

En lo que respecta a la normativa que establece valores máximos de concentración en las normas analizadas, se observa que el 24% de los valores registrados en el periodo de monitoreo histórico de Cadmio en la columna de agua han estado por sobre el valor máximo permitido, considerando en primer lugar el límite más restrictivo sugerido por Persaud (1993; efecto leve sobre los organismos). En cuanto a la normativa nacional, el máximo definido por MOP (1994) de concentración de Cadmio en sedimentos fue superado por el 23% de los registros históricos (Figura 4.1-38).

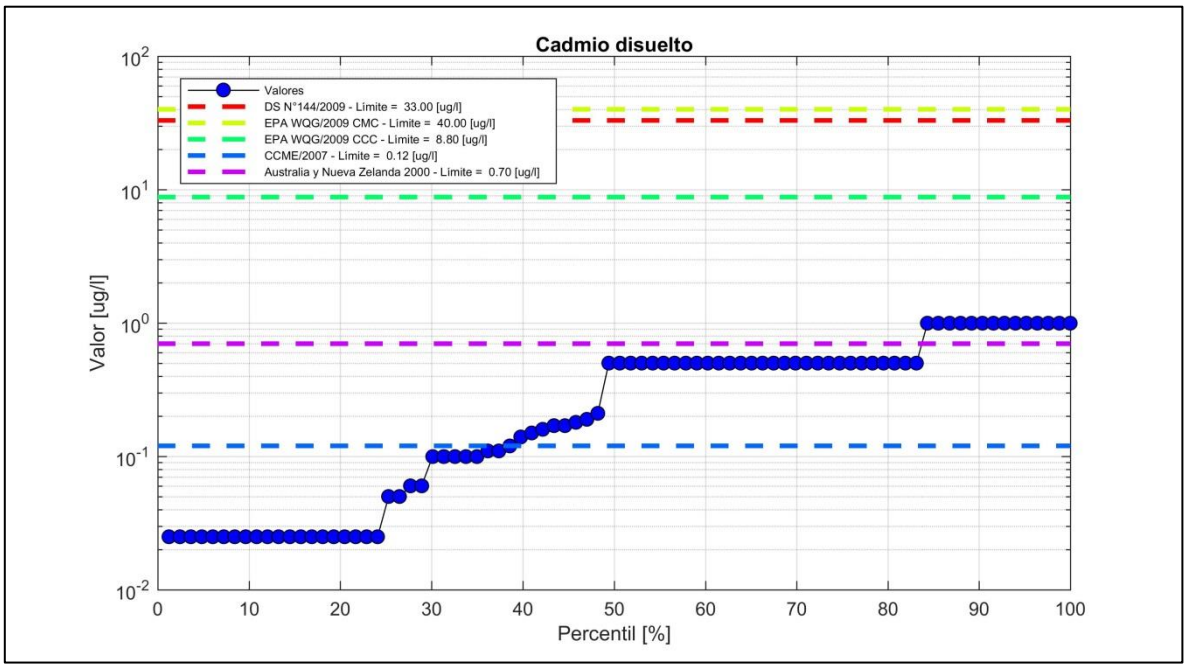


Figura 4.1-38. Concentración de Cadmio disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009), CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*;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

- Cadmio total

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

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

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

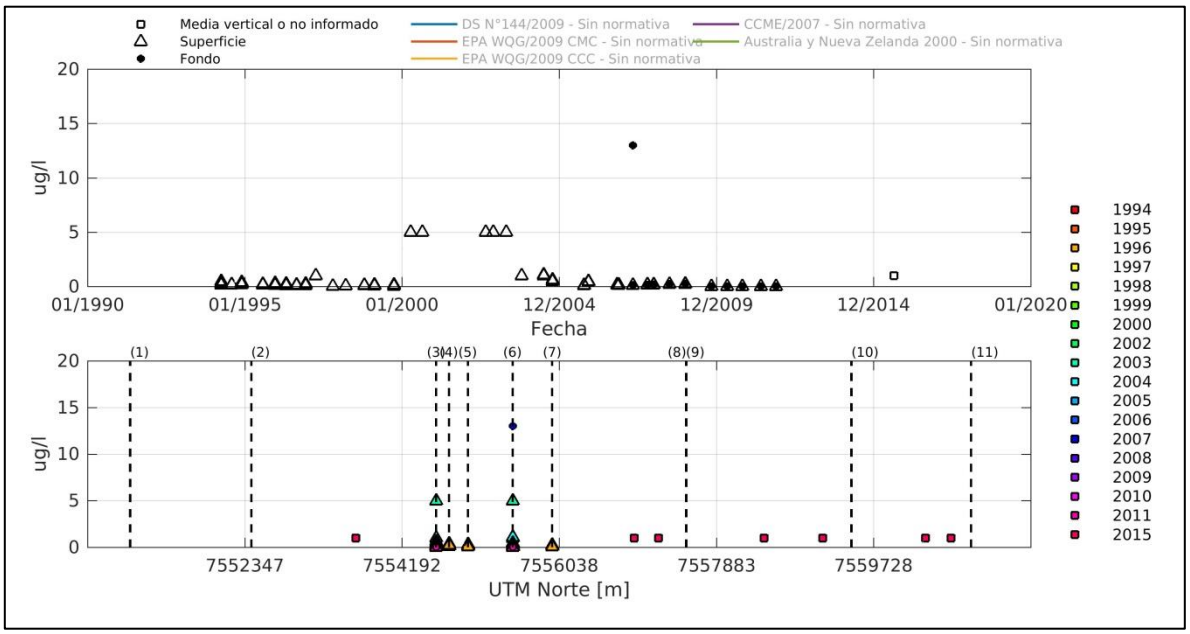


Figura 4.1-39. Concentración de Cadmio total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

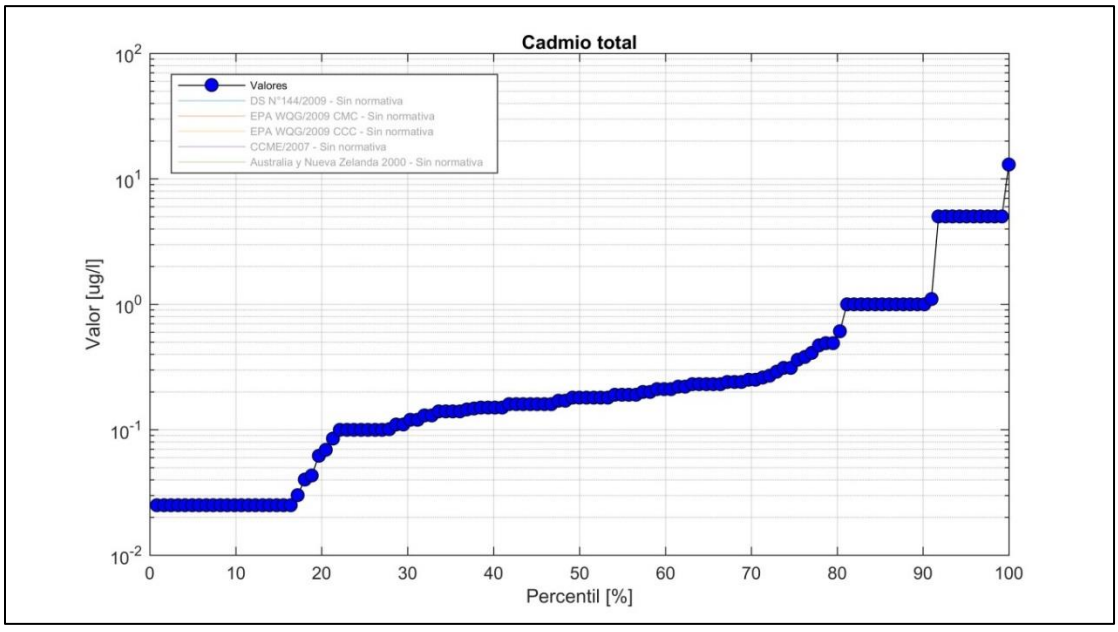


Figura 4.1-40. Concentración de Cadmio total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Cobre disuelto

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

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

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

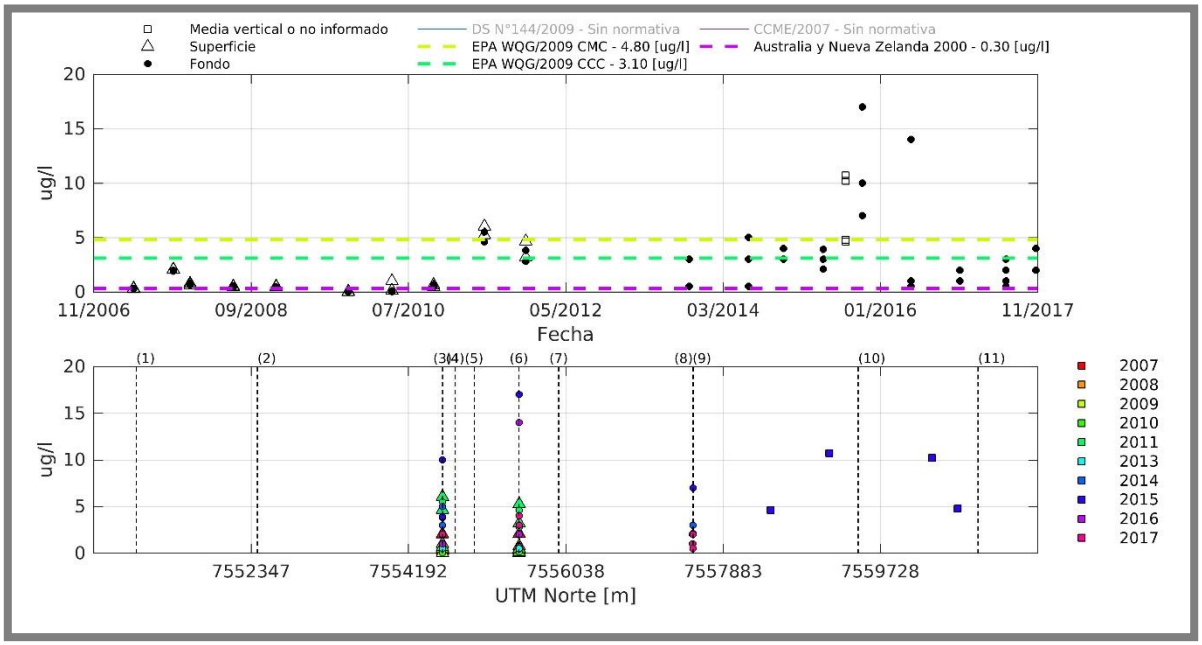


Figura 4.1-41. Concentración de Cobre disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

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

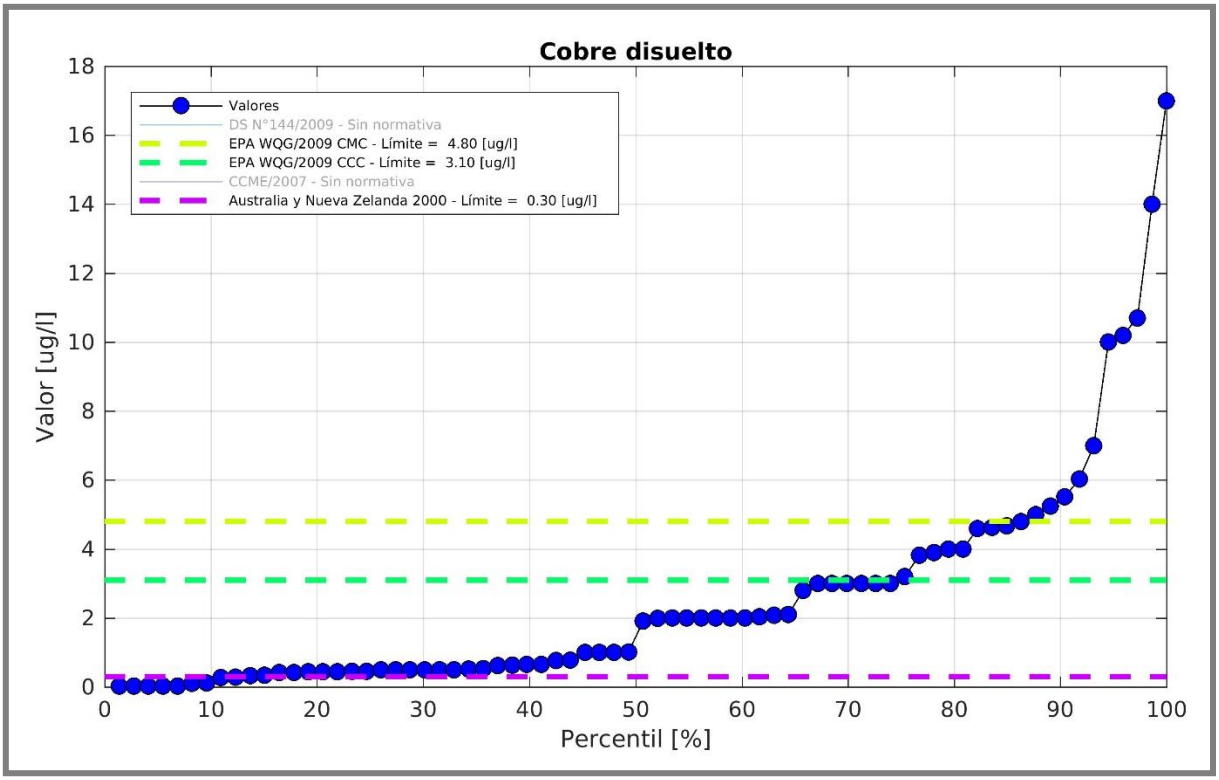


Figura 4.1-42. Concentración de Cobre disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*)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

- Cobre total

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

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

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

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

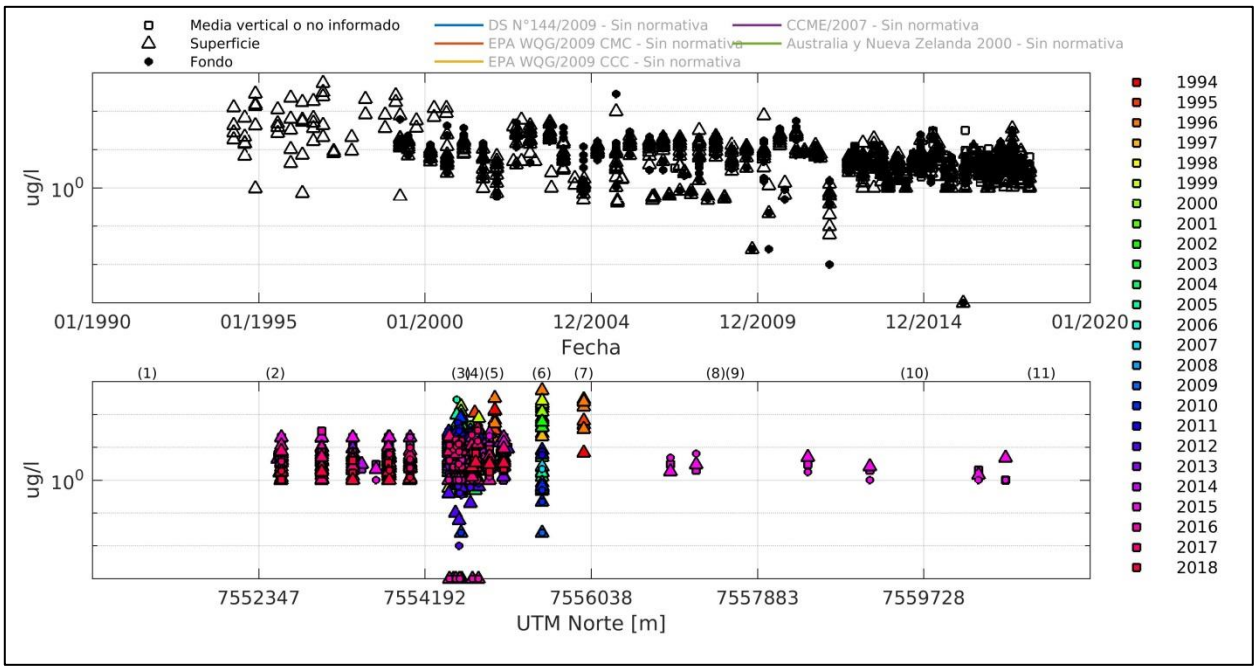


Figura 4.1-43. Concentración de Cobre total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

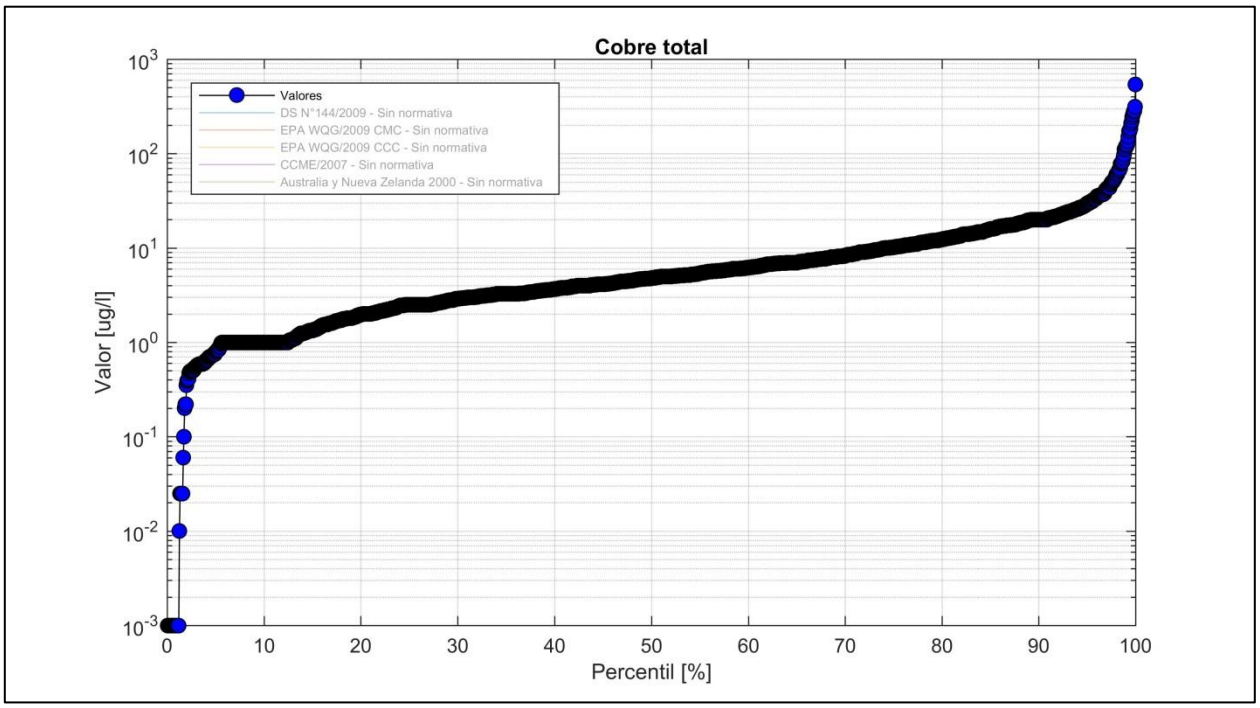


Figura 4.1-44. Concentración de Cobre total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Cromo disuelto

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

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

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

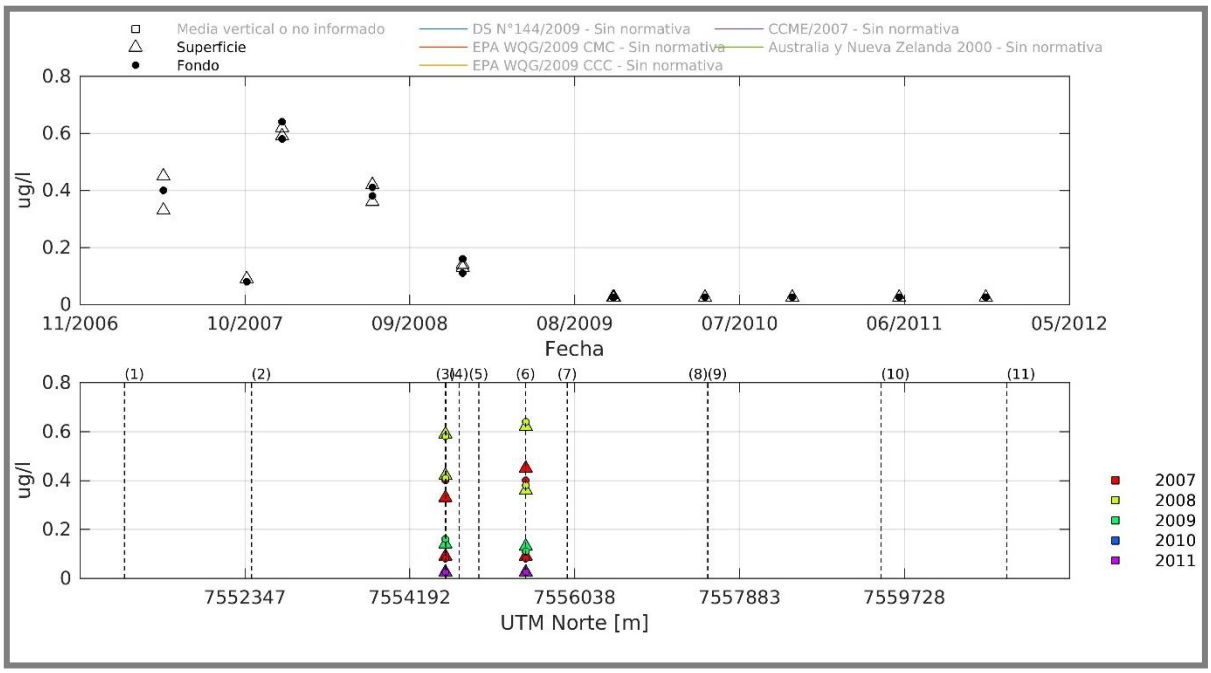


Figura 4.1-45. Concentración de Cromo disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

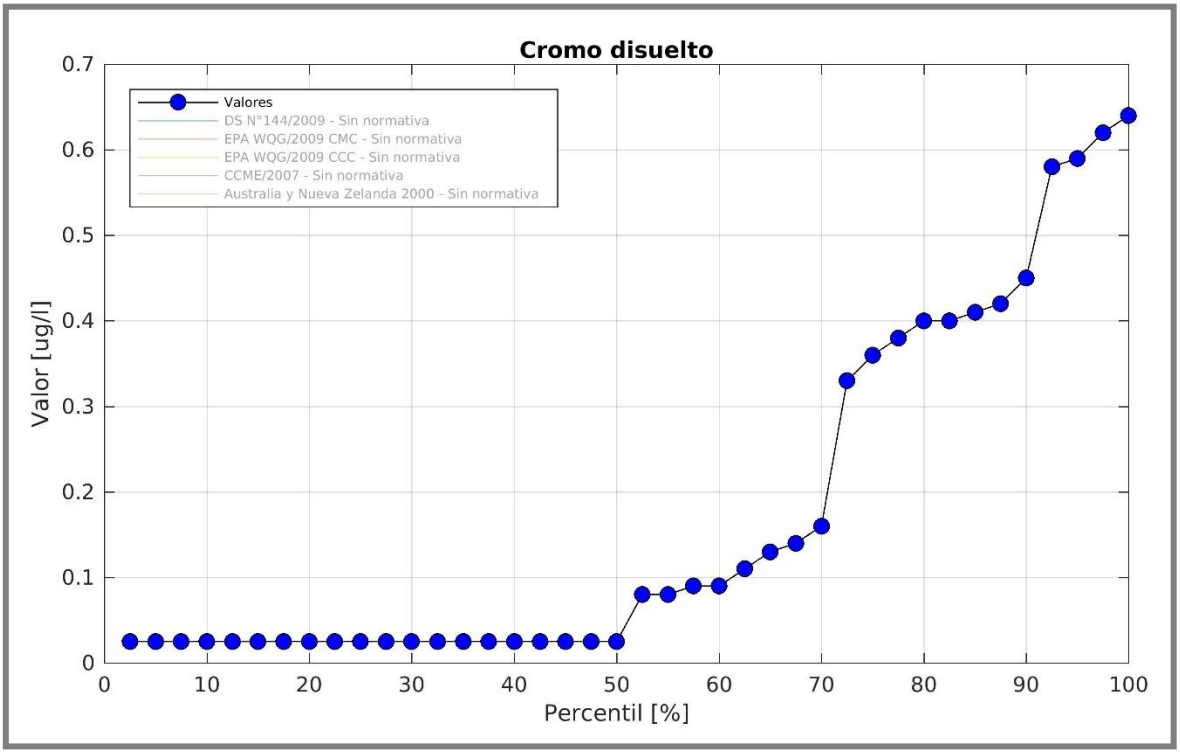


Figura 4.1-46. Concentración de Cromo disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Cromo total

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

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

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

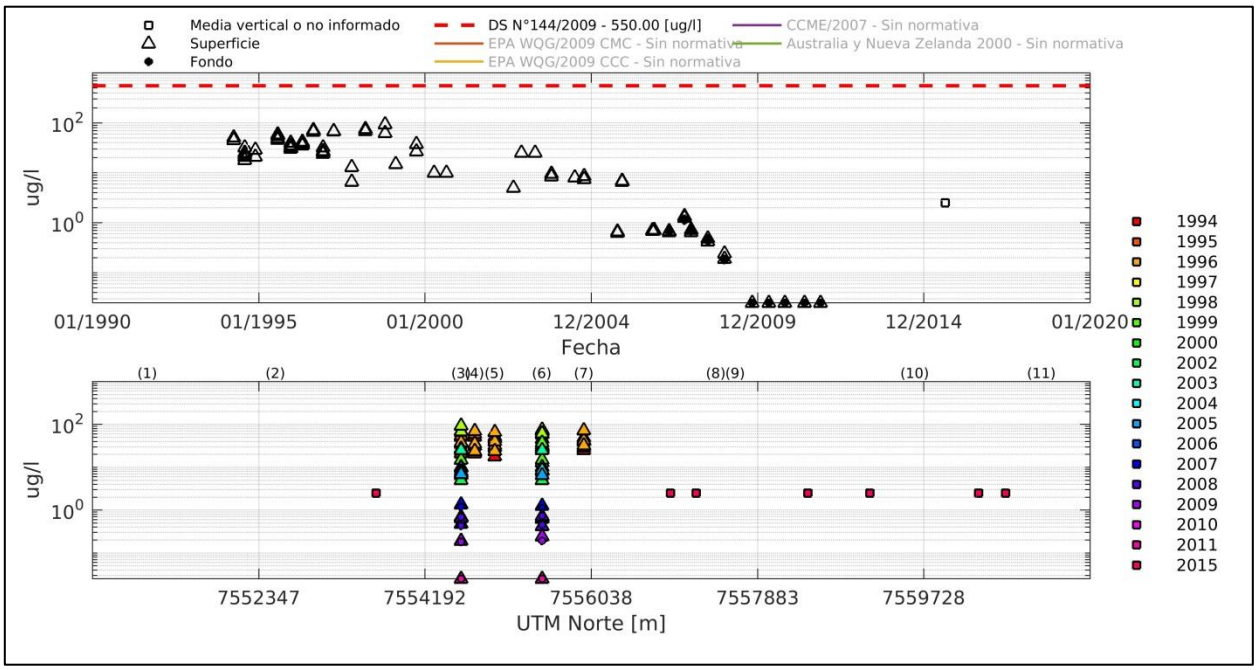


Figura 4.1-47. Concentración de Cromo total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

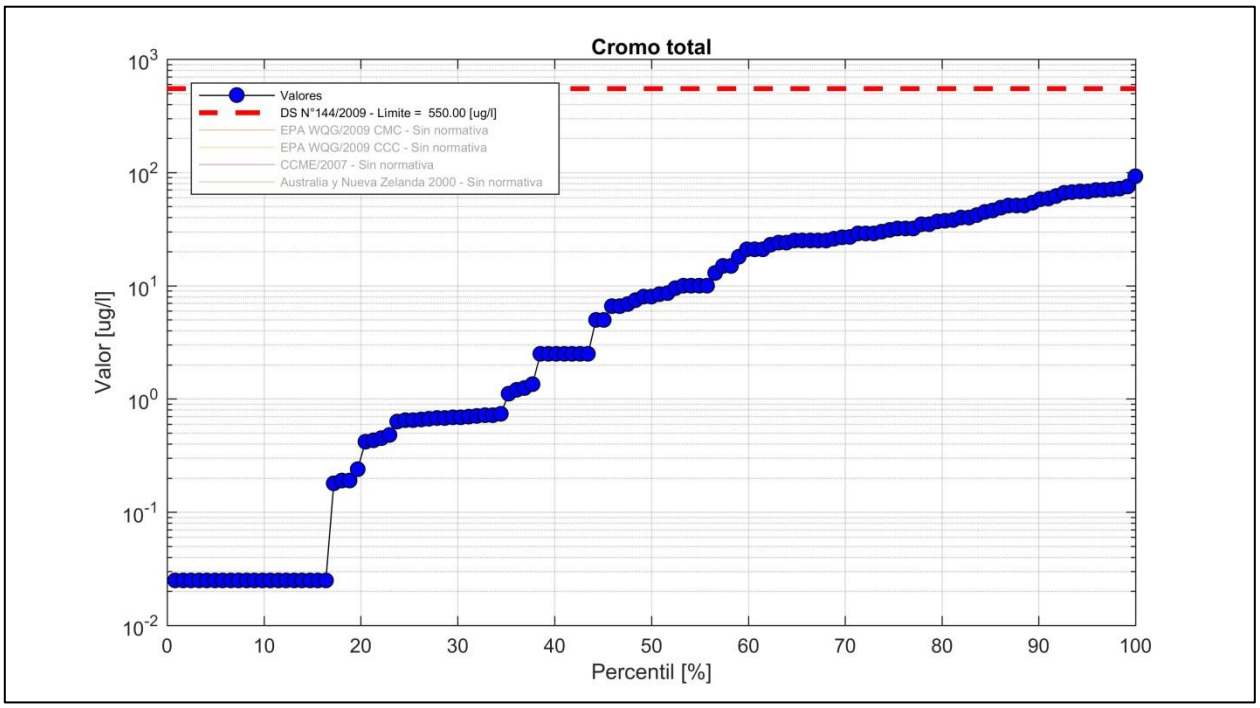


Figura 4.1-48. Concentración de Cromo total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en el D.S. N°144 (2009).

- Hierro disuelto

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

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

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

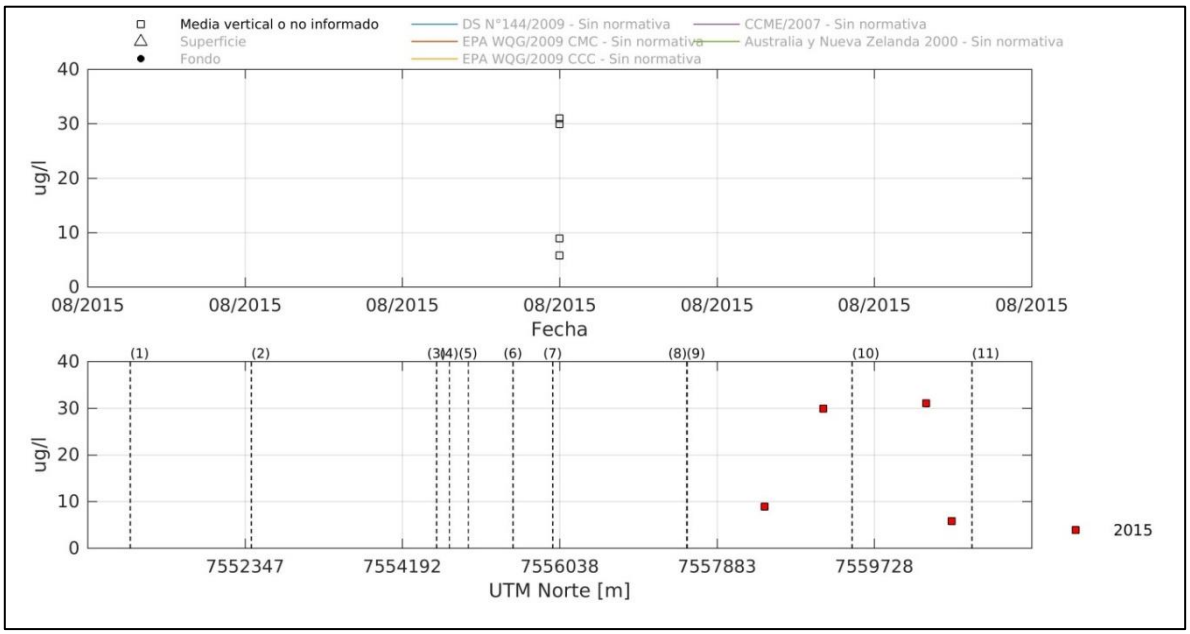


Figura 4.1-49. Concentración de Hierro disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

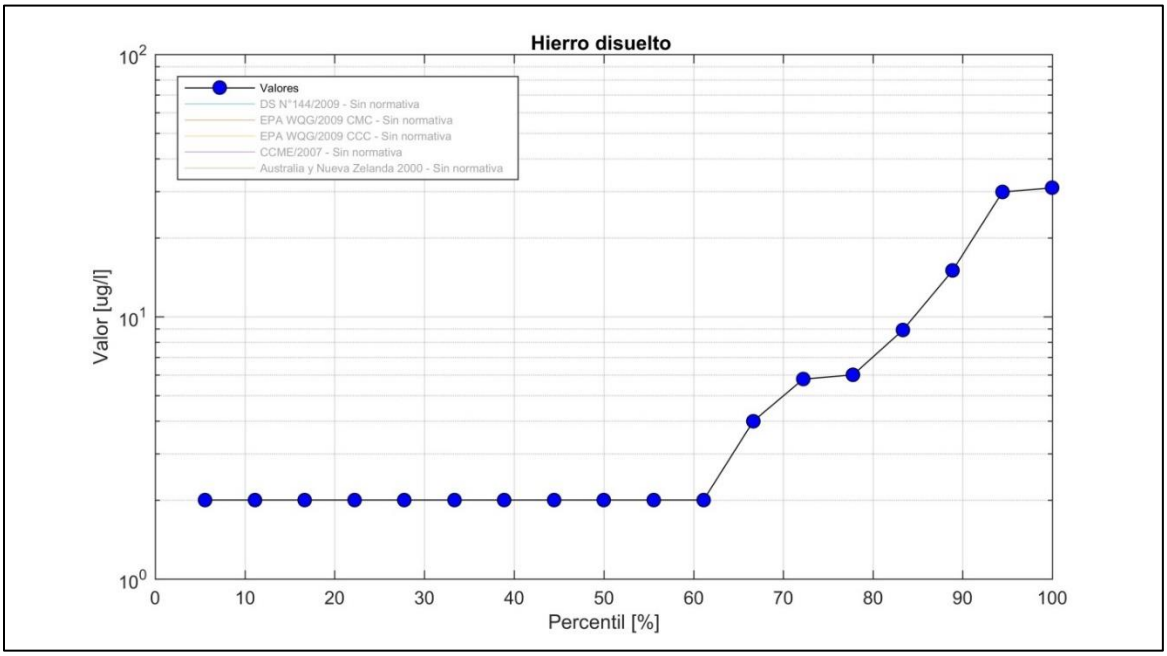


Figura 4.1-50. Concentración de Hierro disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Hierro total

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

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

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

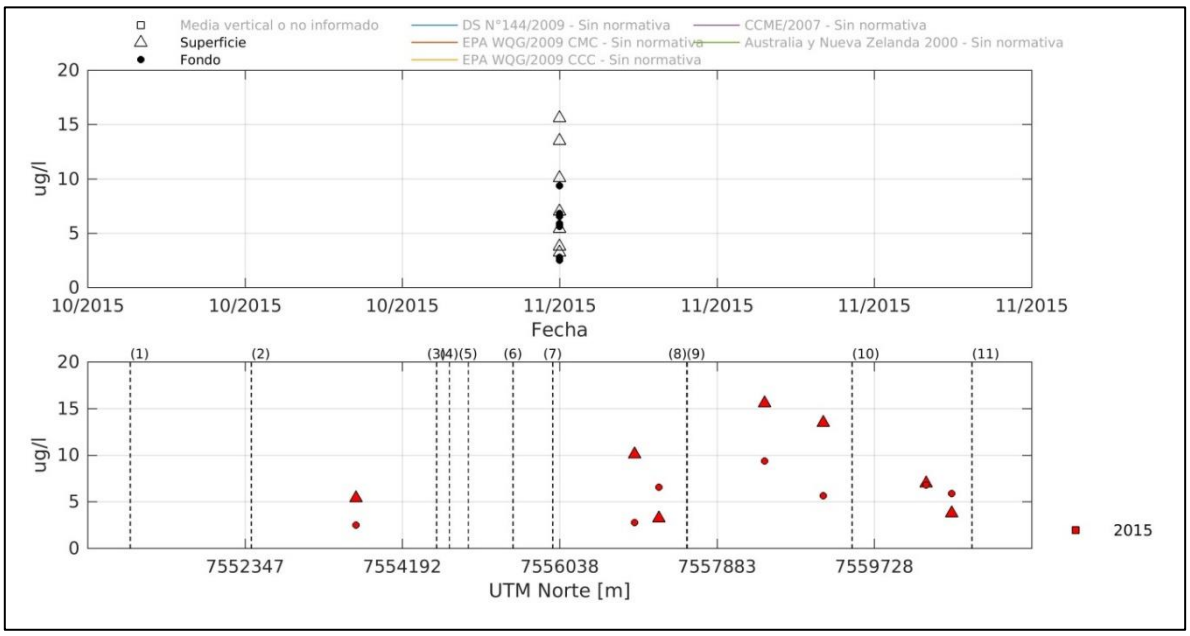


Figura 4.1-51. Concentración de Hierro total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

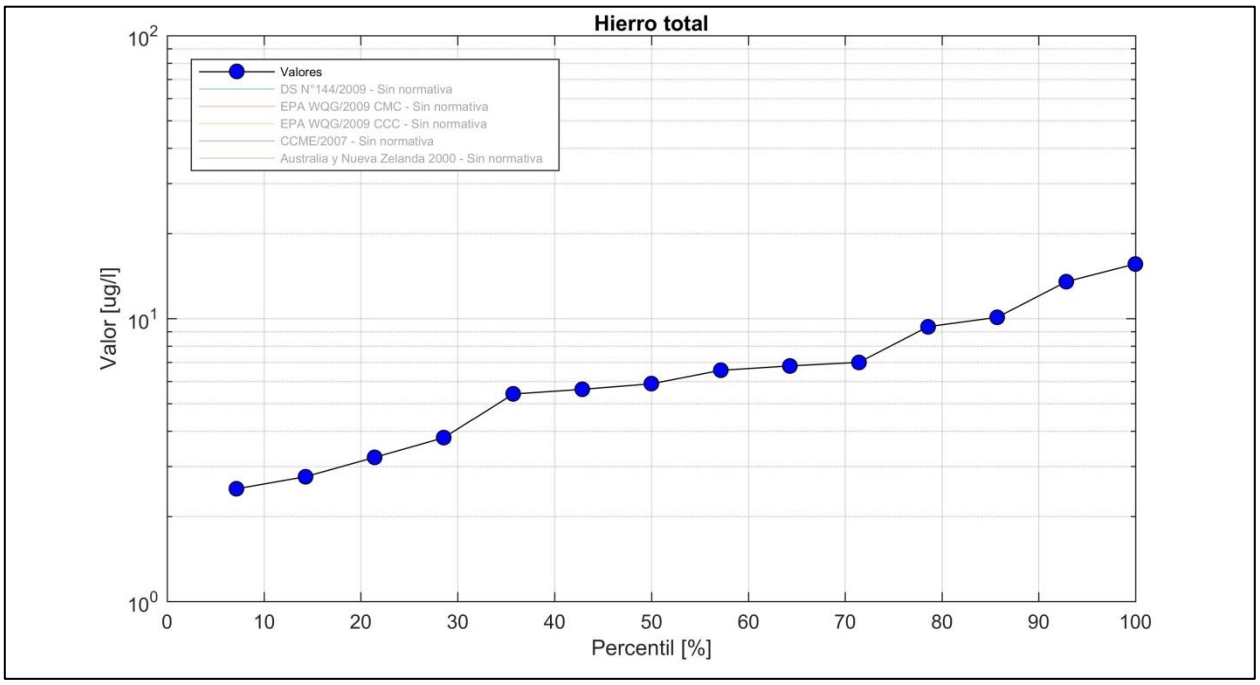


Figura 4.1-52. Concentración de Hierro total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Mercurio disuelto

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

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

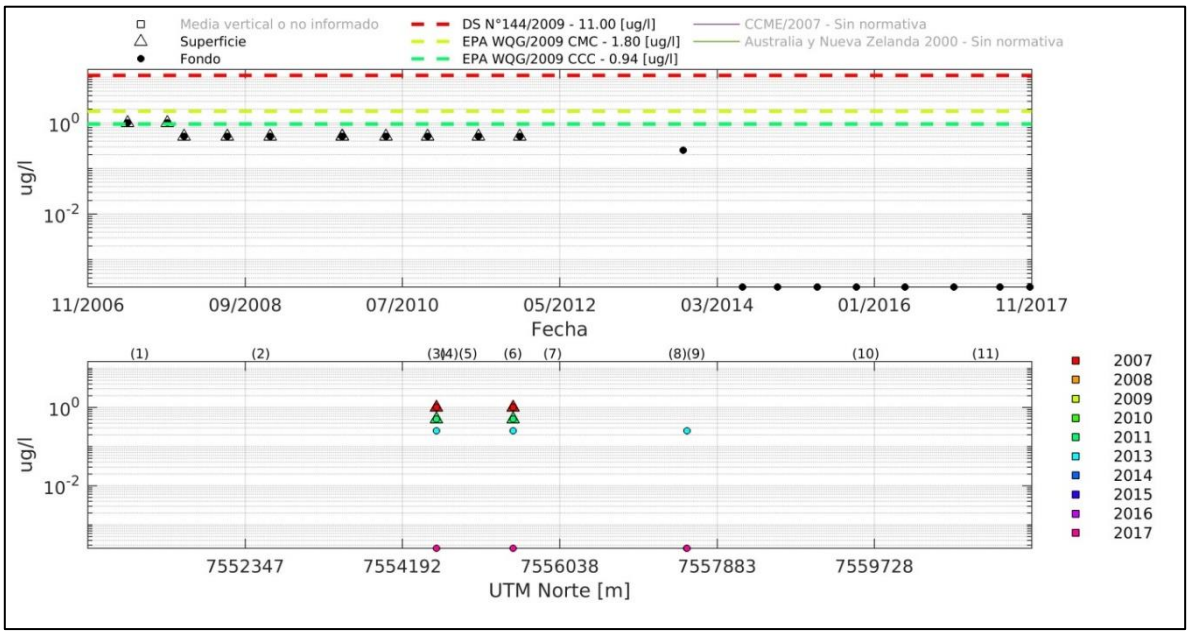


Figura 4.1-53. Concentración de Mercurio disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los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

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

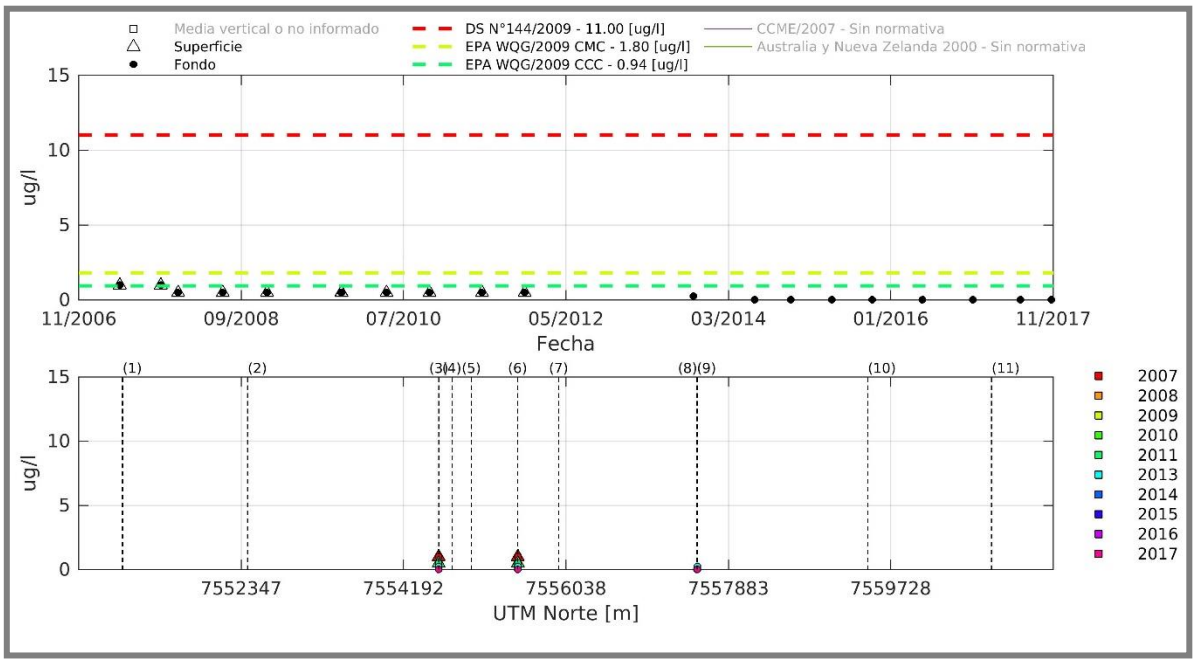


Figura 4.1-54. Concentración de Mercurio disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009), CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria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

- Mercurio total

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

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

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

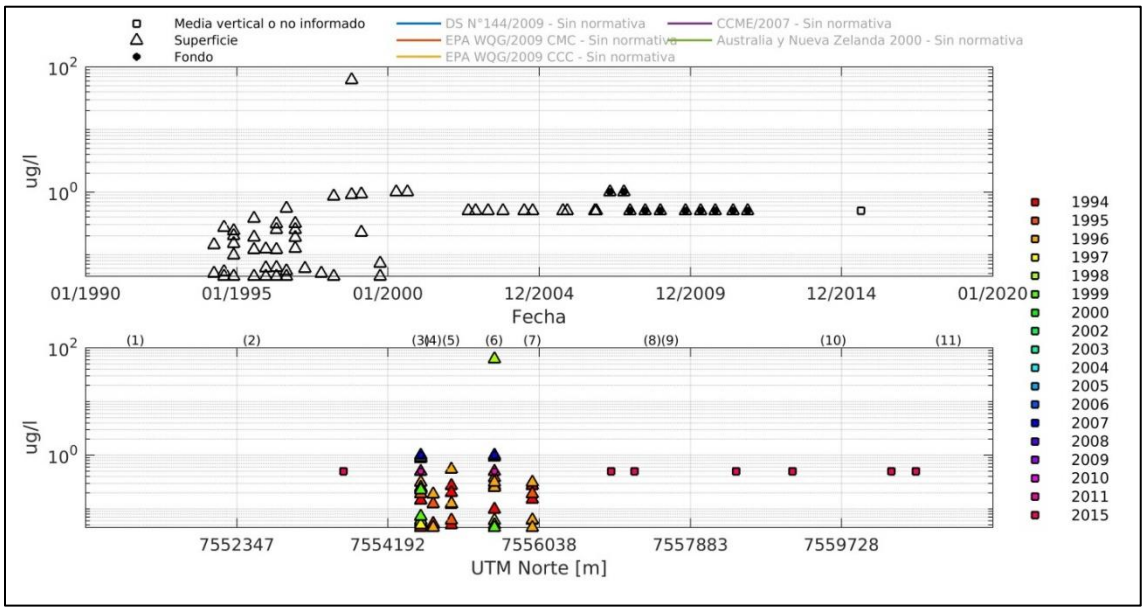


Figura 4.1-55. Concentración de Mercurio total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

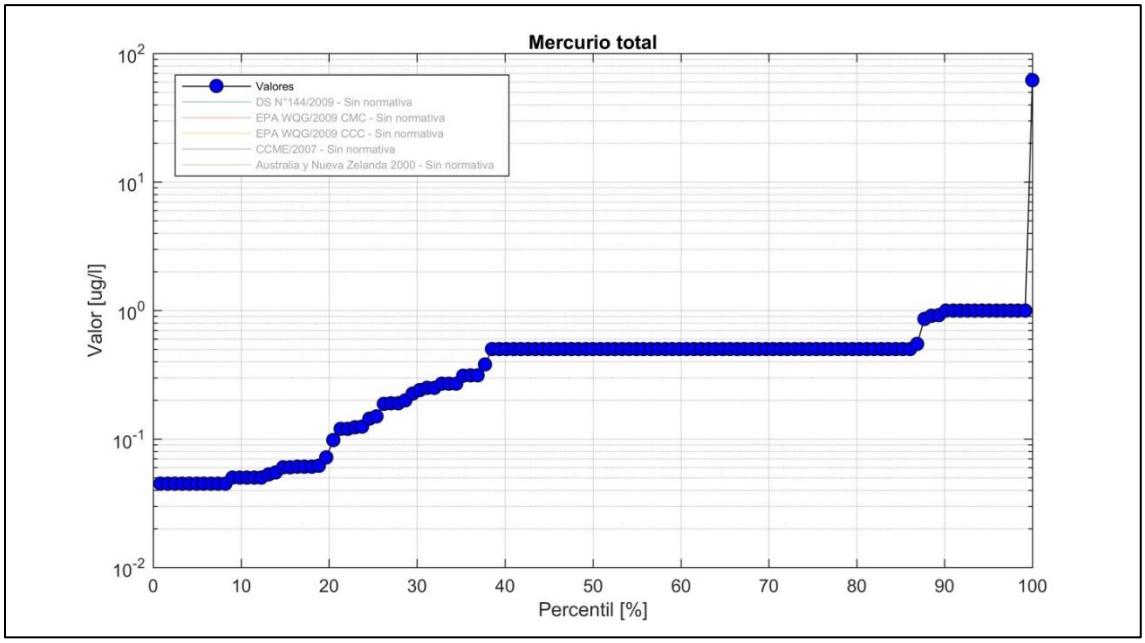


Figura 4.1-56. Concentración de Mercurio total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Níquel disuelto

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

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

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

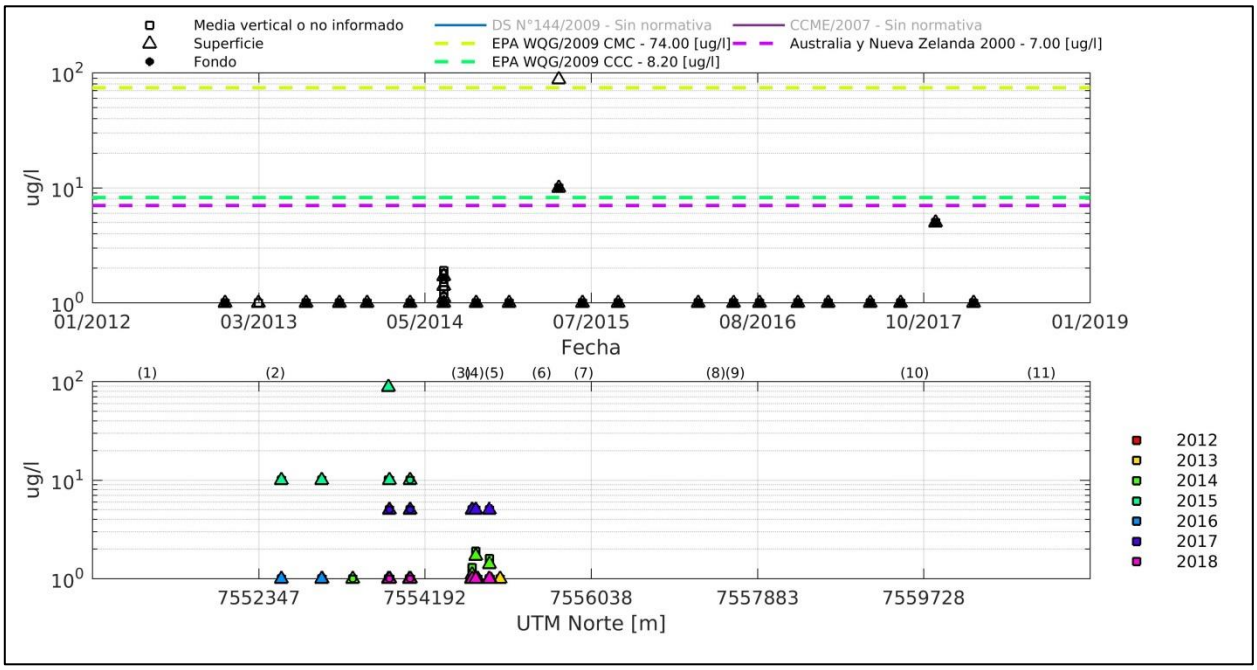


Figura 4.1-57. Concentración de Níquel disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

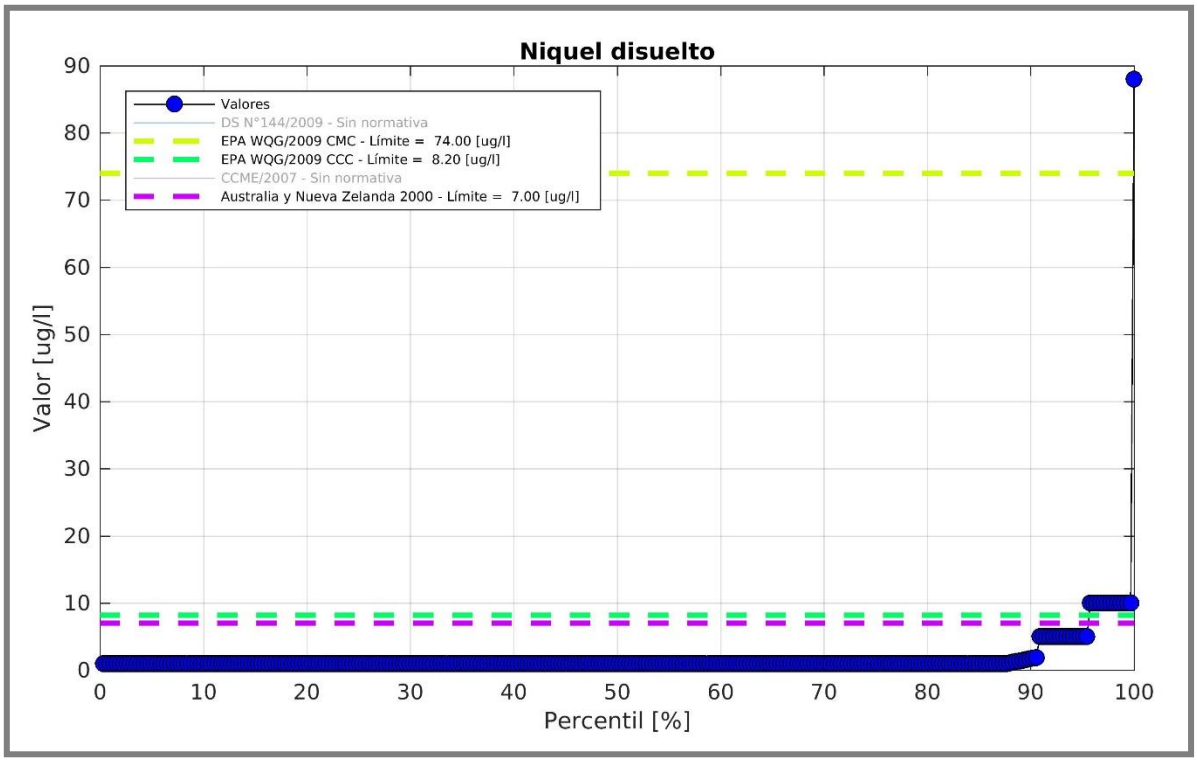


Figura 4.1-58. Concentración de Níquel disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*)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

- Níquel total

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

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

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

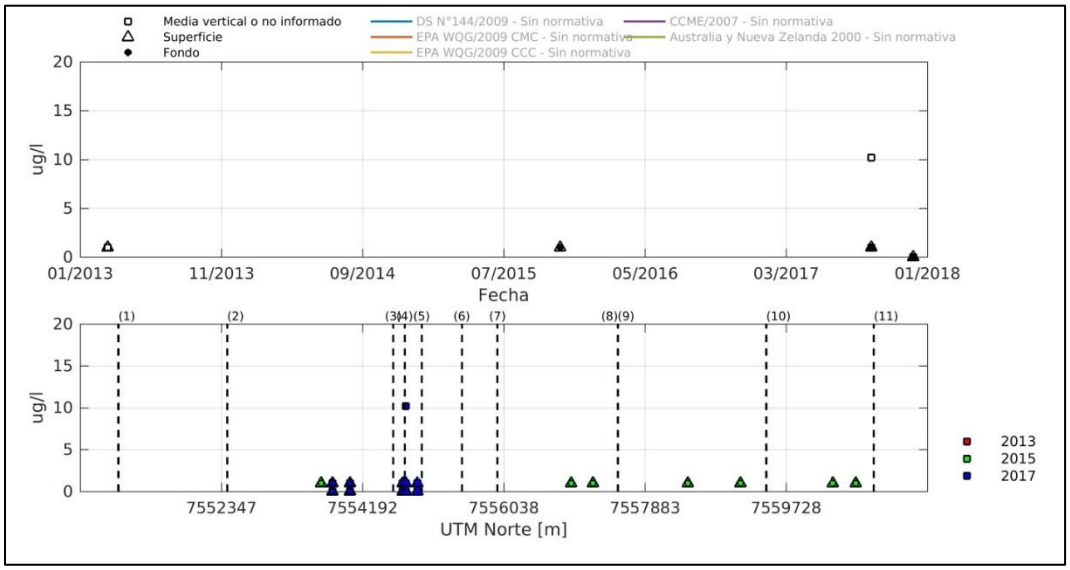


Figura 4.1-59. Concentración de Níquel total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

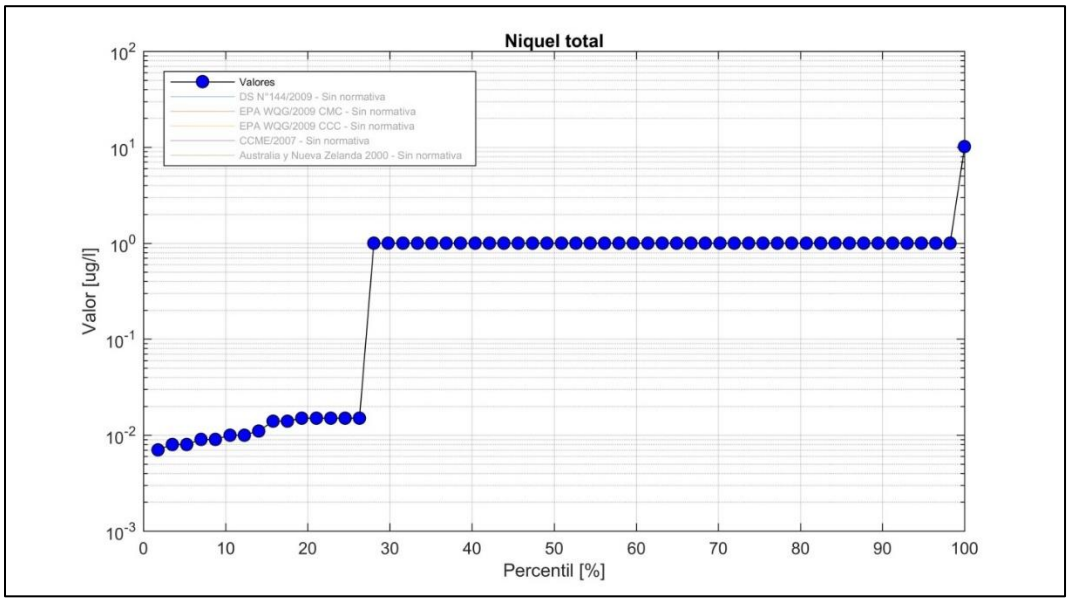


Figura 4.1-60. Concentración de Níquel total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Plomo disuelto

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

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

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

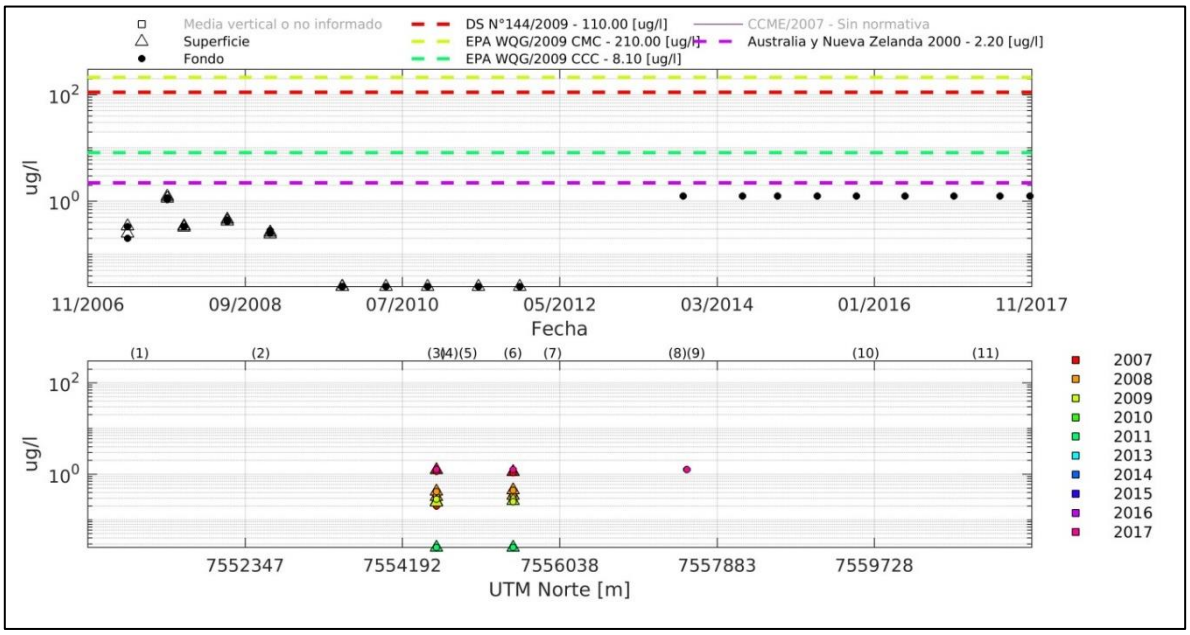


Figura 4.1-61. Concentración de Plomo disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

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

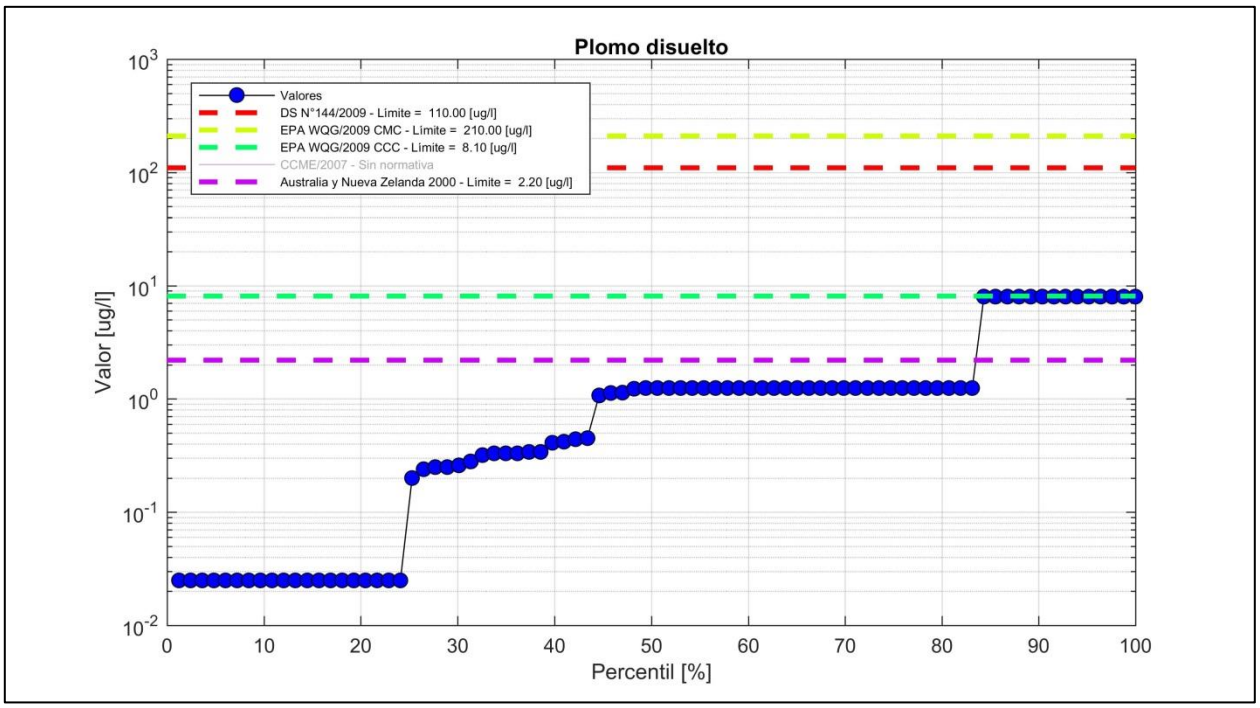


Figura 4.1-62. Concentración de Plomo disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos DS N°144 (2009), CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria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

- Plomo total

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

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

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

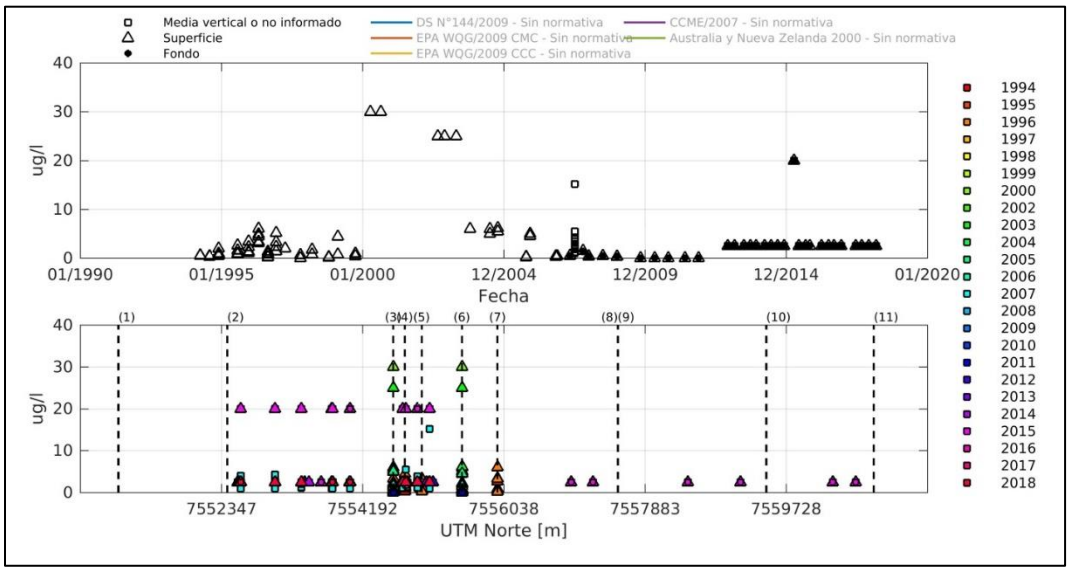


Figura 4.1-63. Concentración de Plomo total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

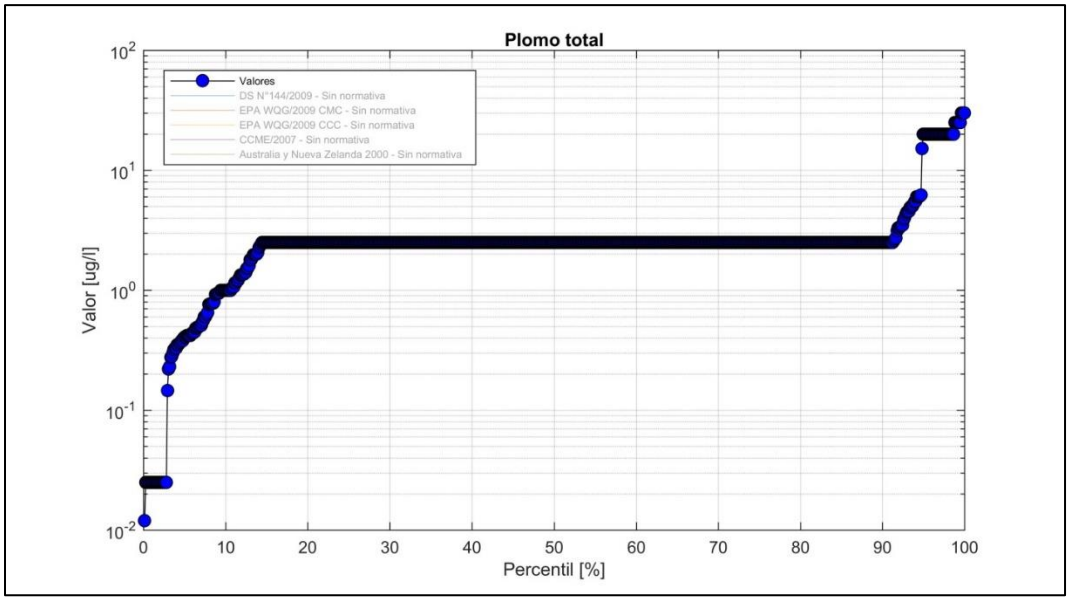


Figura 4.1-64. Concentración de Plomo total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Selenio total

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

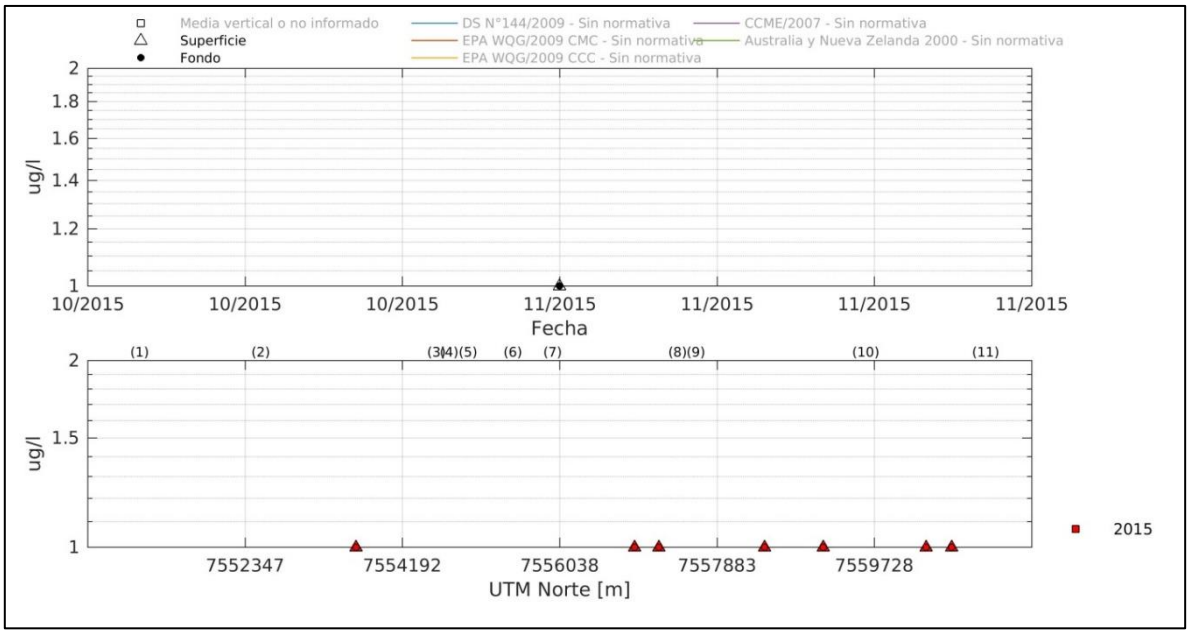


Figura 4.1-65. Concentración de Selenio total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

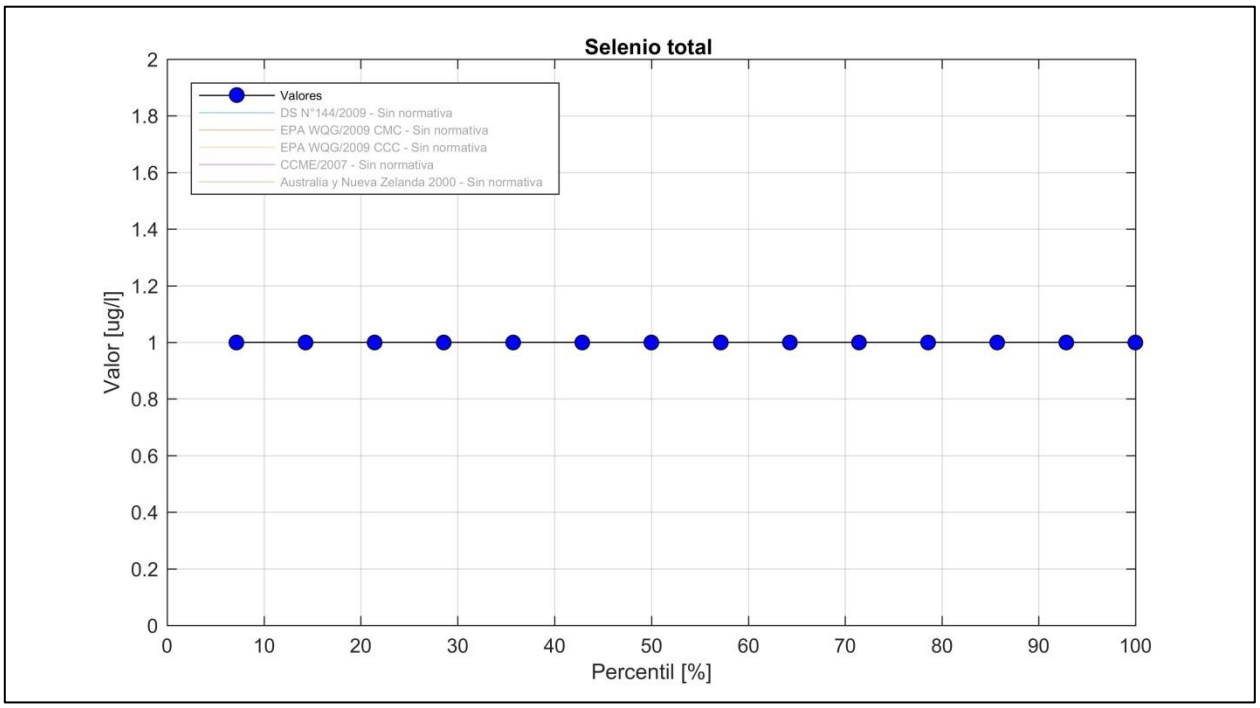


Figura 4.1-66. Concentración de Selenio total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Vanadio disuelto

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

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

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

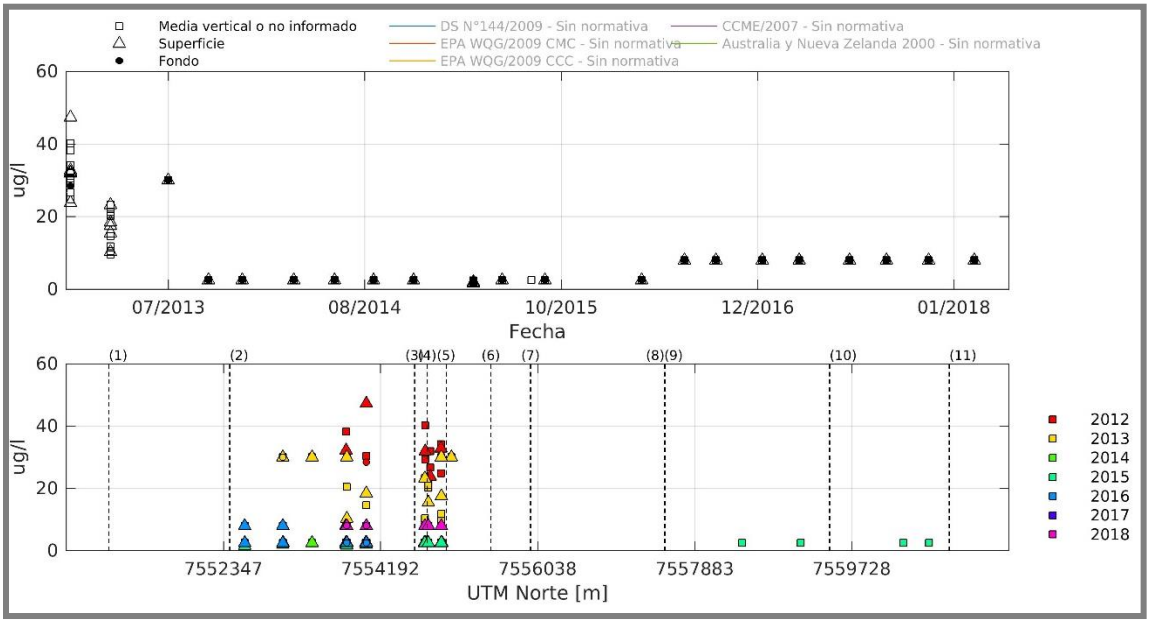


Figura 4.1-67. Concentración de Vanadio disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los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

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

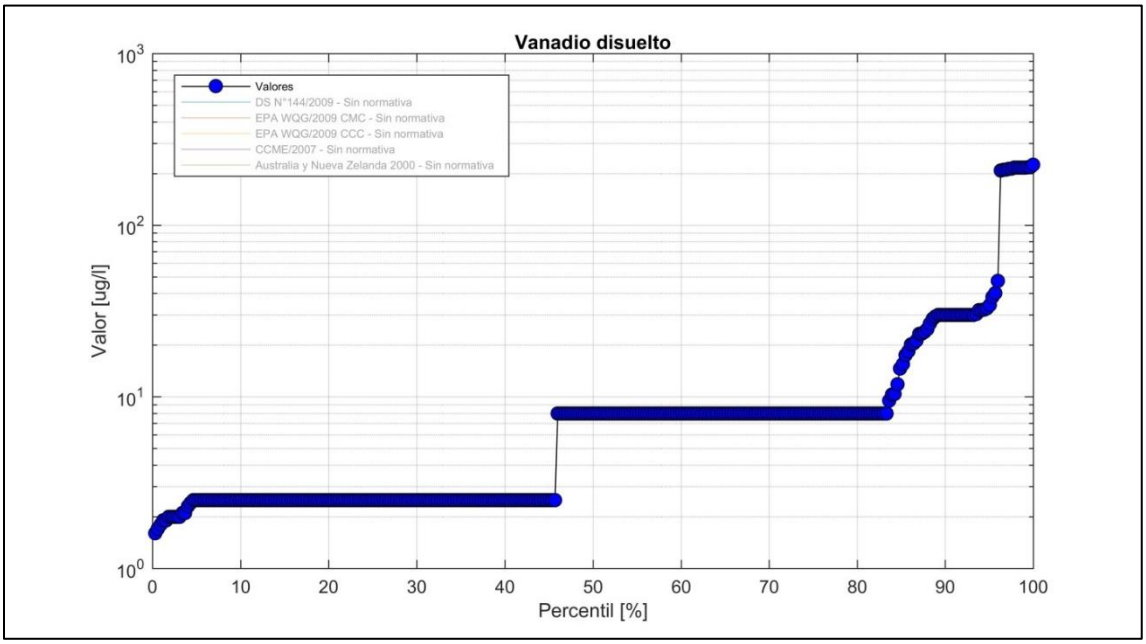


Figura 4.1-68. Concentración de Vanadio disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

· Vanadio total

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

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

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

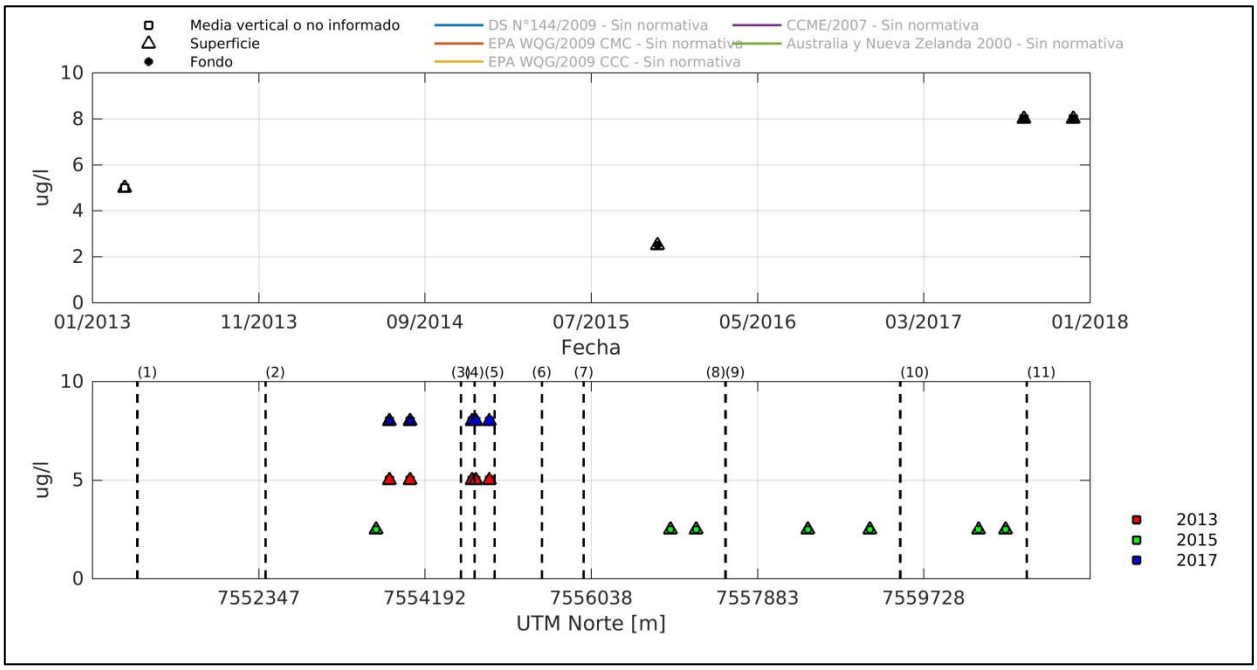


Figura 4.1-69. Concentración de Vanadio total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

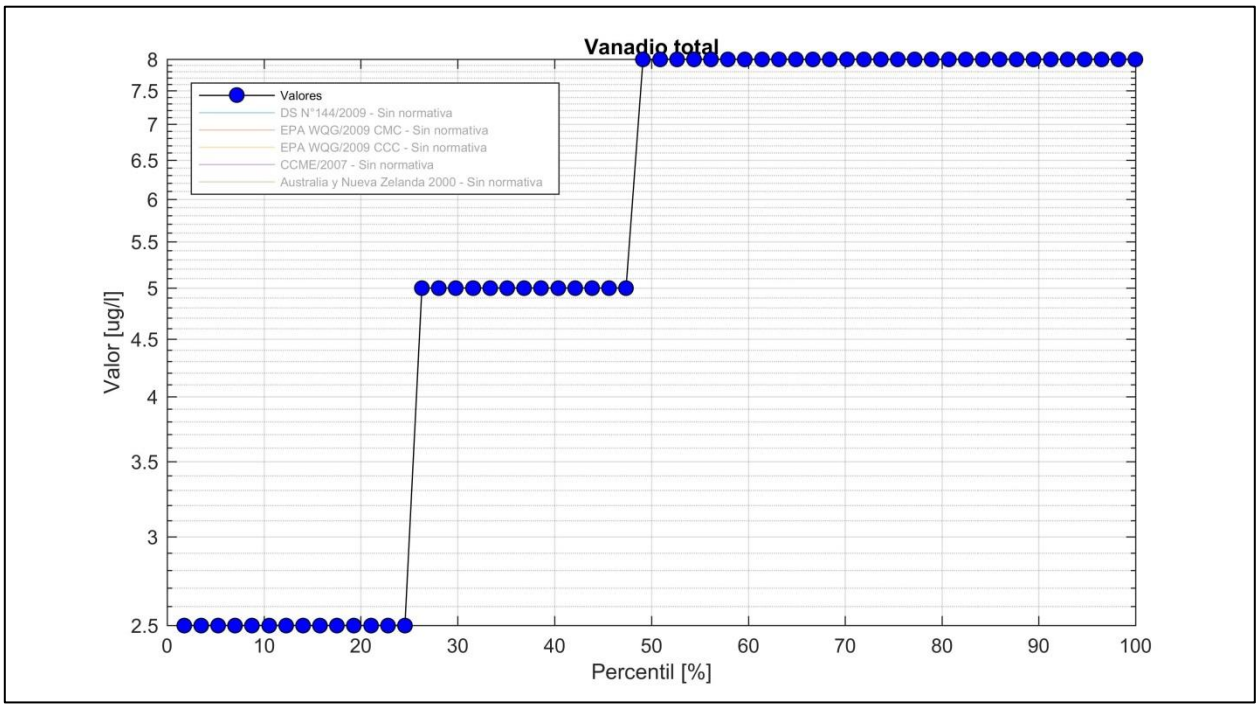


Figura 4.1-70. Concentración de Vanadio total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Zinc disuelto

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

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

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

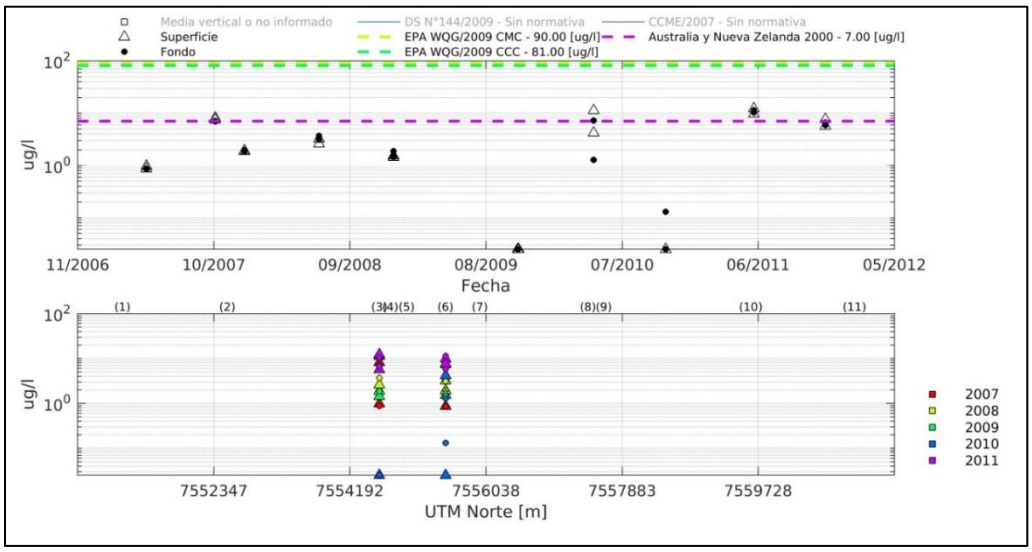


Figura 4.1-71. Concentración de Zinc disuelto en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

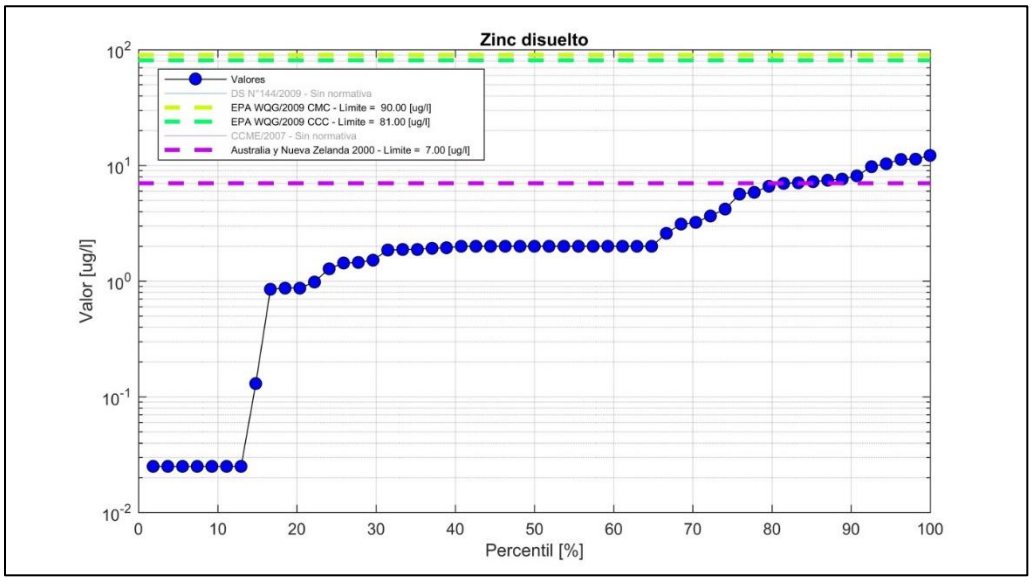


Figura 4.1-72. Concentración de Zinc disuelto en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos CCC (*Criterion Continuous Concentration*) y CMC (*Criteria Maximum Concentration*)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

· Zinc total

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

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

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

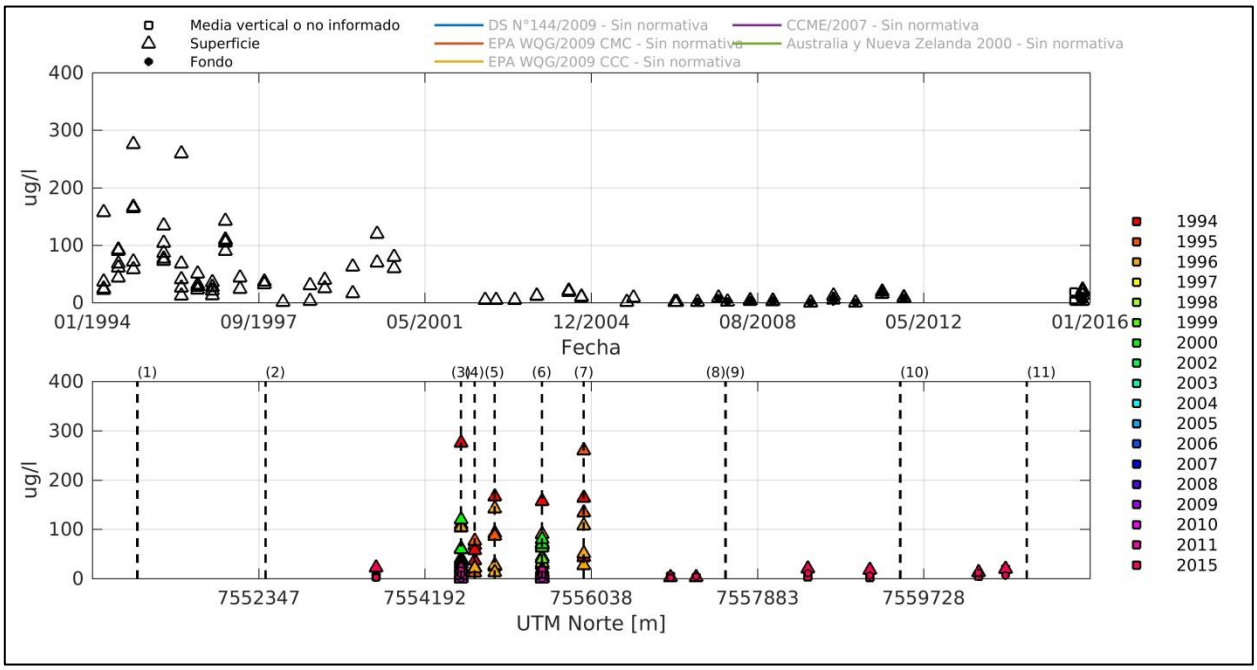


Figura 4.1-73. Concentración de Zinc total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

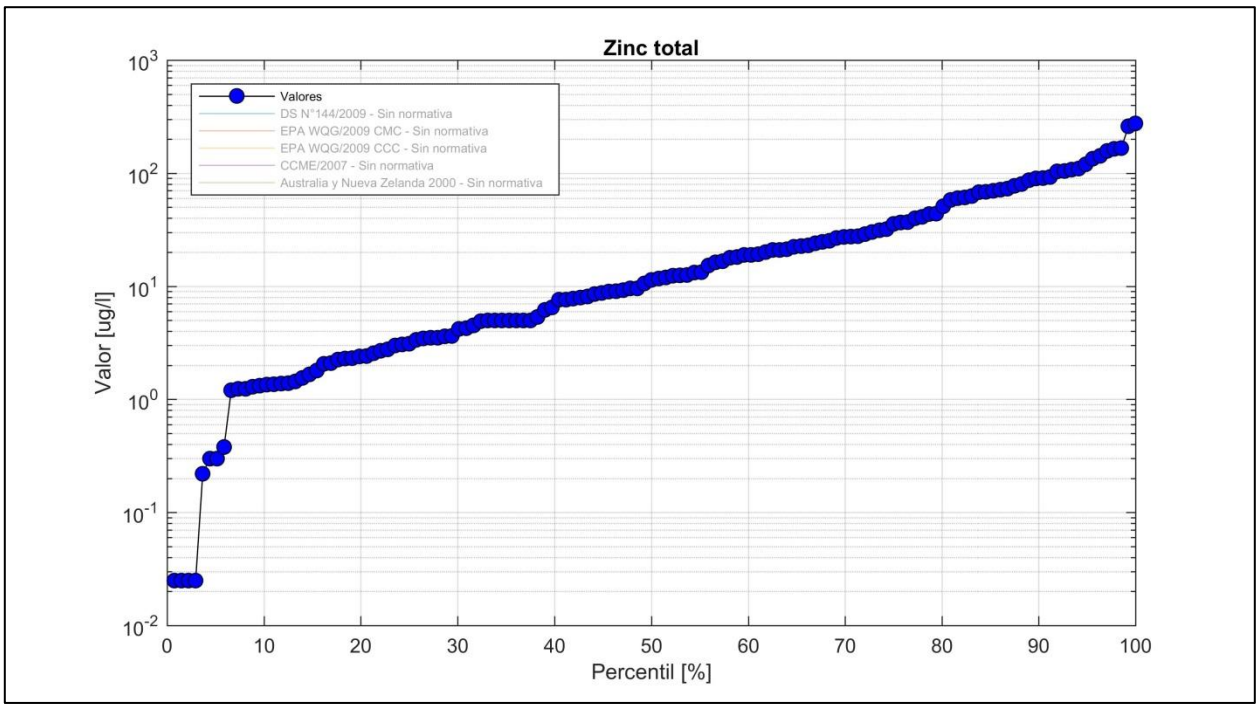


Figura 4.1-74. Concentración de Zinc total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

e) Parámetros de Productividad y Nutrientes

· Nitratos

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

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

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

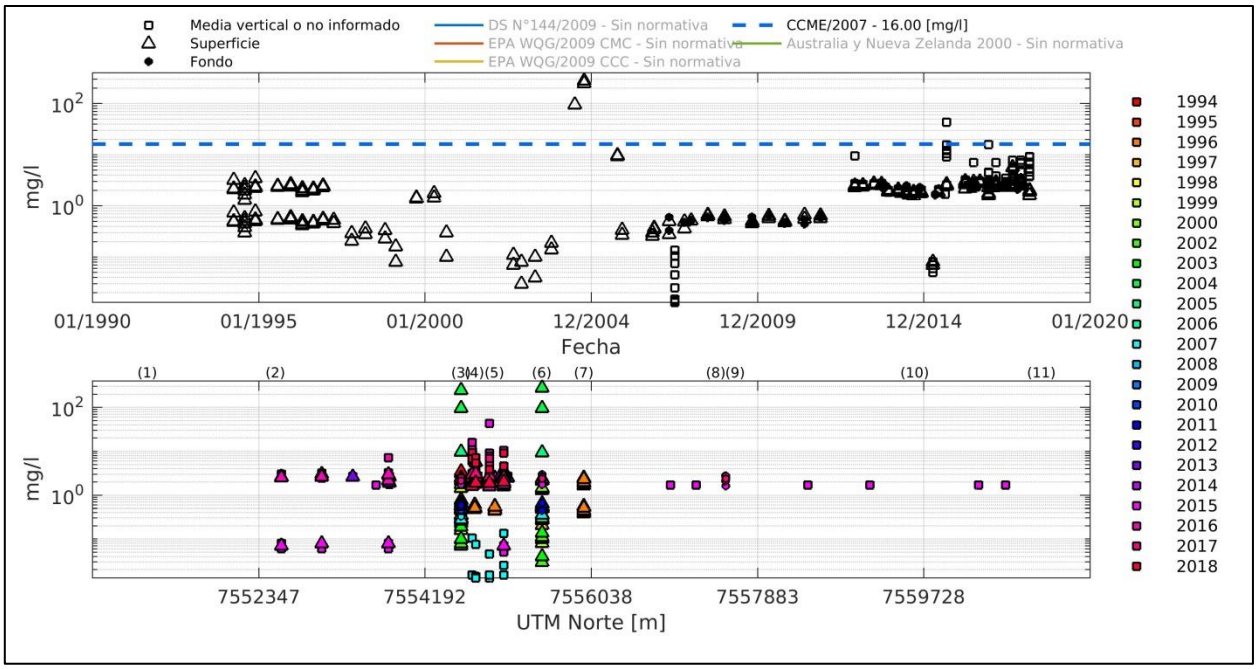


Figura 4.1-75. Concentración de Nitrato en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

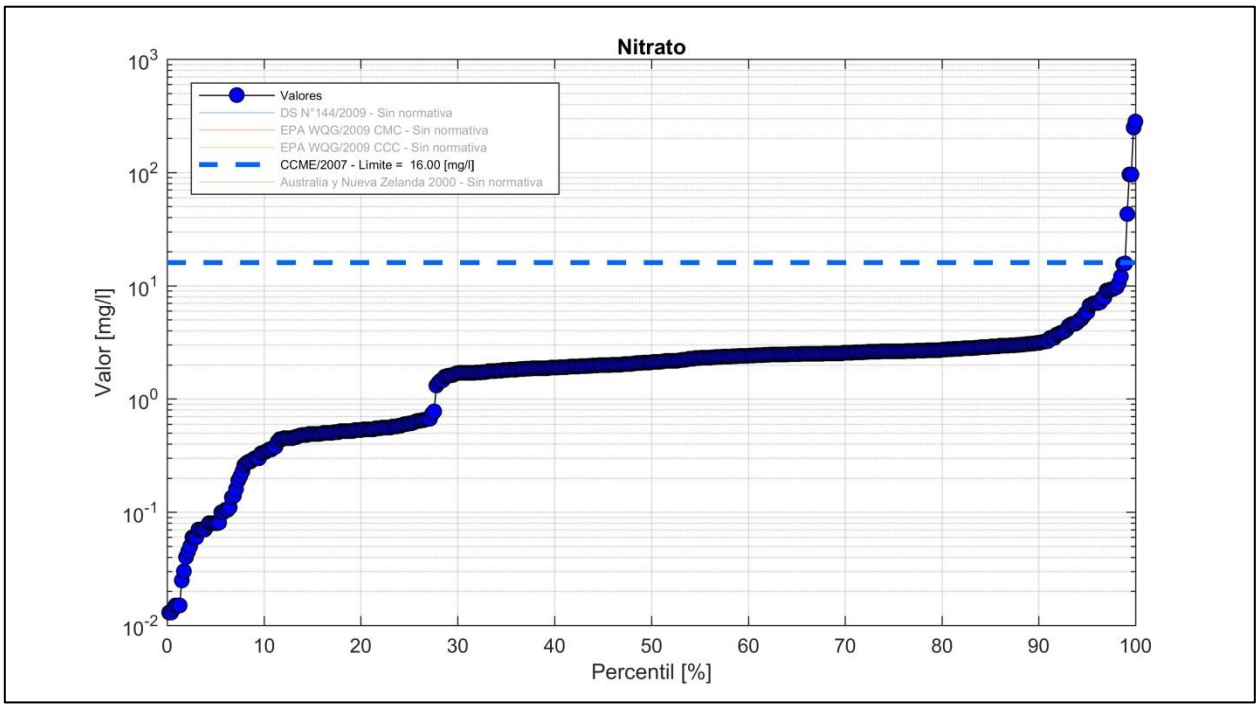


Figura 4.1-76. Concentración de Nitrato en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorpora el umbral máximo definido en CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*; 2007).

- Fósforo Total

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

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

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

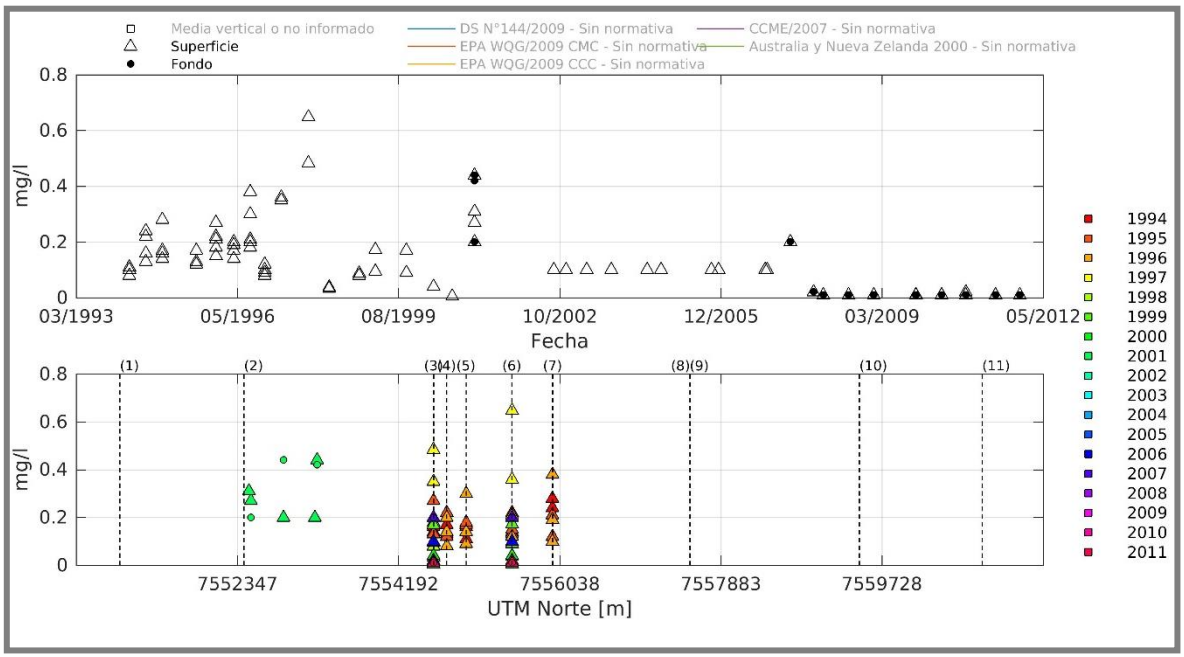


Figura 4.1-77. Concentración de Fósforo total en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

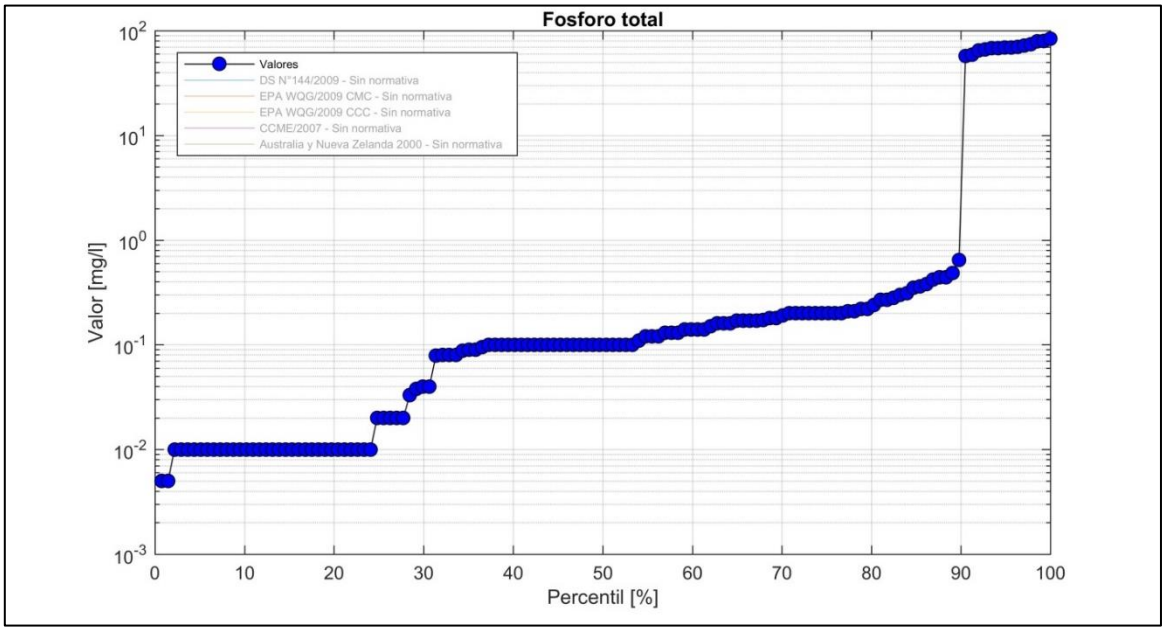


Figura 4.1-78. Concentración de Fósforo total en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

f) Contaminantes Biológicos

- Coliformes Totales

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

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

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

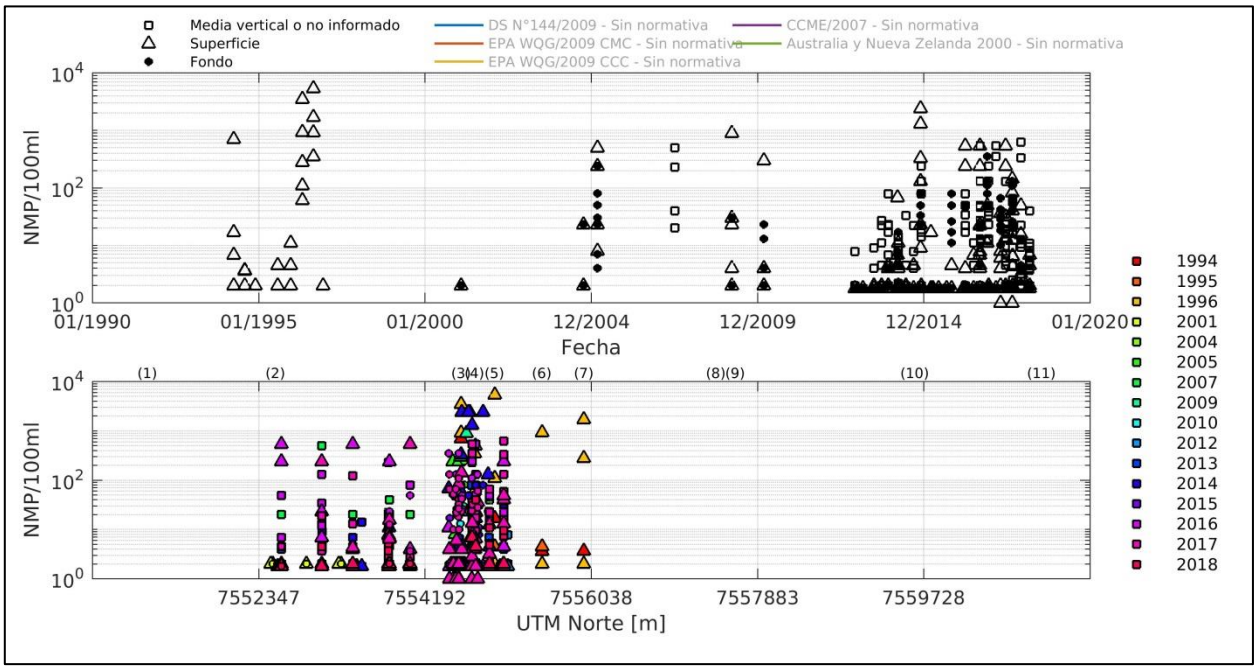


Figura 4.1-79. Concentración de bacterias Coliformes Totales en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados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

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

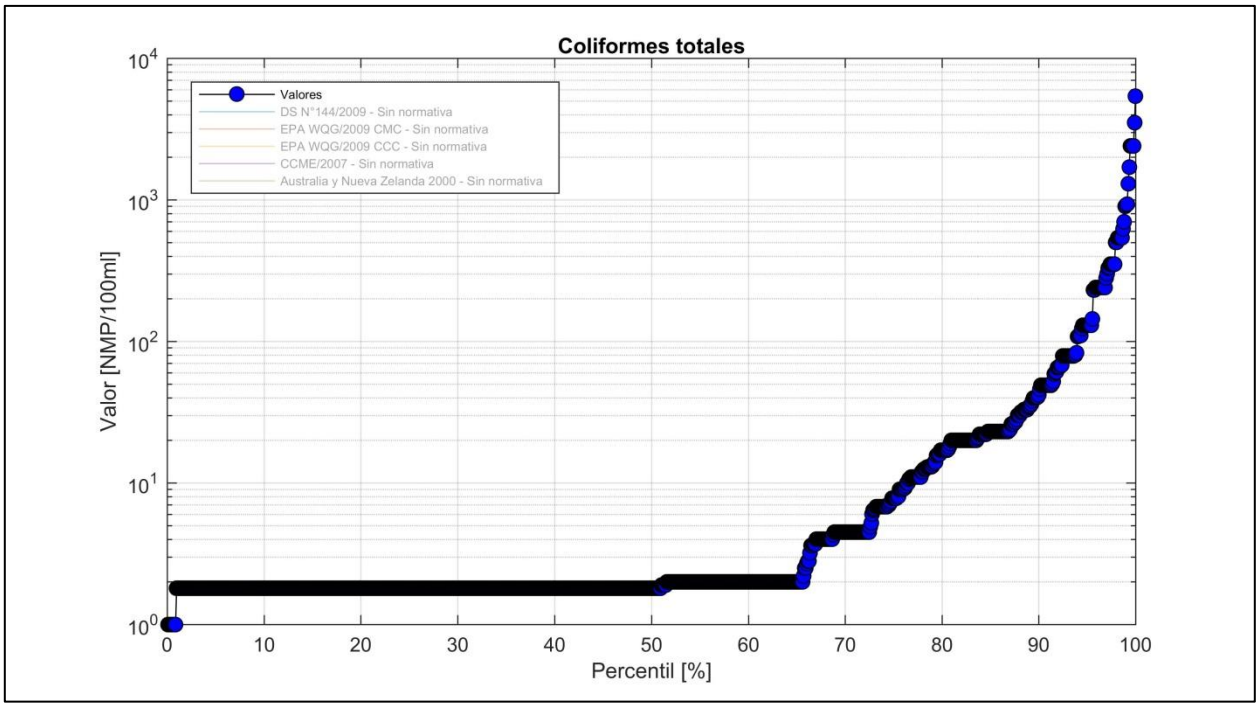


Figura 4.1-80. Concentración de Coliformes Totales en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles.

- Coliformes Fecales

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

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

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

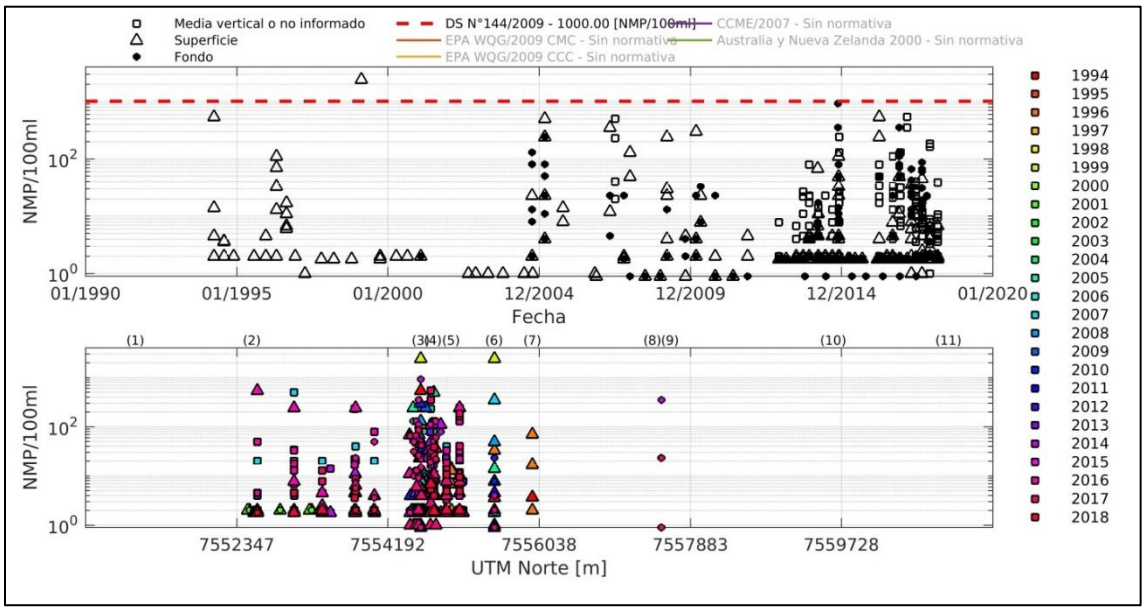


Figura 4.1-81. Concentración de Coliformes Fecales en la columna de agua en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los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

En cuanto al porcentaje de excedencia de los umbrales de concentraciones máximas encontrados en los distintos cuerpos normativos analizados, se observa que el sólo en 1% de los registros históricos de concentración de bacterias Coliformes Fecales en la columna de agua han estado por sobre el valor máximo establecido en la normativa nacional por el D.S. N°144 del 2009 (Figura 4.1-82).

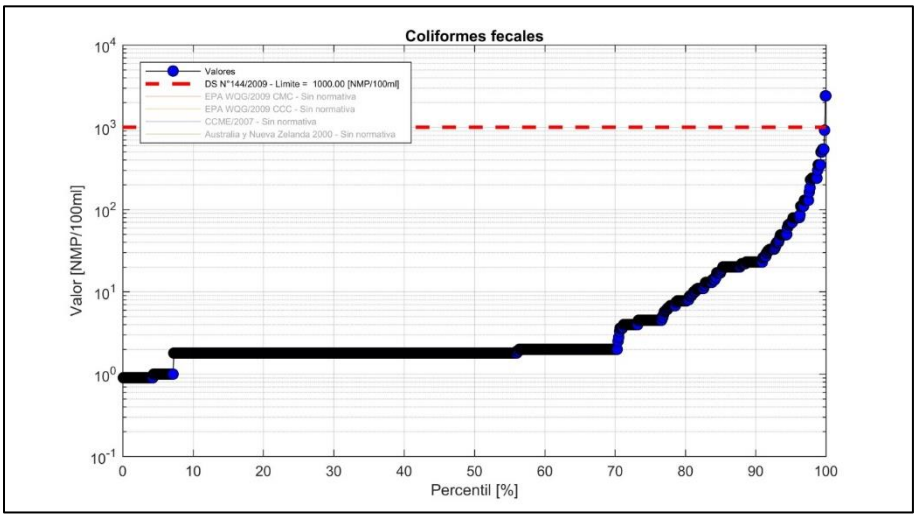


Figura 4.1-82. Concentración de Coliformes Fecales en la columna de agua en bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles. Además, se presenta el umbral de concentración máxima establecido por el D.S. N°144 del 2009.

ii. Sedimentos

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

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

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

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

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

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

Parámetros	Unidad	MOP, 1994	Persaud, 1993 (Canadá)		CCME, 2002 (Canadá)		Buchman, 2008 (NOAA)		Australia and New Zealand Environment, 2000		Ecological Screening Criteria ASM (New Jersey)	
			LEL	SEL	ISQG	PEL	ERL	ERM	ISQG (Low)	ISQG (High)	ERL	ERM
Arsénico	mg/kg	57	6	33	7,24	41,6	8,2	70	20	70	8,2	70
Cadmio	mg/kg	1	0,6	10	0,7	4,2	1,2	9,6	1,5	10	1,2	9,6
Cromo Total	mg/kg	55	26	110	52,3	160	81	370	80	370	81	370
Cobre	mg/kg	130	16	110	18,7	108	34	270	65	270	34	270
Zinc	mg/kg	160	120	820	124	271	150	410	200	410	150	410
Plomo	mg/kg	66	31	250	30,2	112	46,7	218	50	220	47	218
Mercurio	mg/kg	0,2	0,2	2	0,13	0,7	0,15	0,71	0,15	1	0,15	0,71
Níquel	mg/kg	35	16	75	-	-	20,9	51,6	21	52	21	52
Hierro	mg/kg	-	20000	40000	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganeso	mg/kg	-	460	1100	-	-	-	-	-	-	-	260
Plata	mg/kg	-	-	-	-	-	1	3,7	1	3,7	1	3,7
Antimonio	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	2	25	-	9,3
Aluminio	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8
Carbono Orgánico Total	%	-	1	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg/kg	-	550	4800	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/kg	-	600	2000	-	-	-	-	-	-	-	-
Aldrin	mg/kg	-	0,002	8	-	-	-	-	-	-	-	-
BHC	mg/kg	-	0,003	12	-	-	-	-	-	-	-	-
α-BHC	mg/kg	-	0,006	10	-	-	-	-	-	-	-	-
β-BHC	mg/kg	-	0,005	21	-	-	-	-	-	-	-	-
Clordano	mg/kg	-	0,007	6	0,00226	0,00479	0,0005	0,006	0,0005	0,006	-	-
DDT Total	mg/kg	-	0,007	12	-	-	-	-	0,0016	0,046	0,0016	0,046
op + pp-DDT	mg/kg	-	0,008	71	0,00119	0,00477	-	-	-	-	-	-
pp-DDD	mg/kg	-	0,008	6	-	-	-	-	-	-	-	-
pp-DDE	mg/kg	-	0,005	19	-	-	-	-	-	-	-	-
Dieldrin	mg/kg	-	0,002	91	0,00071	0,0043	0,00002	0,008	0,00002	0,008	-	-
Endrin	mg/kg	-	0,003	130	0,00267	0,00624	-	-	0,00002	0,008	-	-
HCB	mg/kg	-	0,02	24	-	-	-	-	-	-	-	-
Mirex	mg/kg	-	0,007	130	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB Total	mg/kg	-	0,07	530	-	-	-	-	-	-	-	-
op + pp-DDE	mg/kg	-	-	-	0,00207	0,00374			-	-	-	-
op + pp-DDD	mg/kg	-	-	-	0,00122	0,00781	-	-	0,002	0,02	-	-
Lindano	mg/kg	-	-	-	0,00032	0,00099	-	-	0,00032	0,001	-	-
Antraceno	mg/kg	-	0,22	370	0,0469	0,245	0,085	1,1	0,085	1,1	0,085	1,1
Benzo(a)antraceno	mg/kg	-	0,32	1480	0,0748	0,693	0,261	1,6	0,261	1,6	0,261	1,6
Benzo(k)fluorantreno	mg/kg	-	0,24	1340	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	mg/kg	-	0,37	1440	0,0888	0,763	0,43	1,6	0,43	1,6	0,43	1,6

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

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

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

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

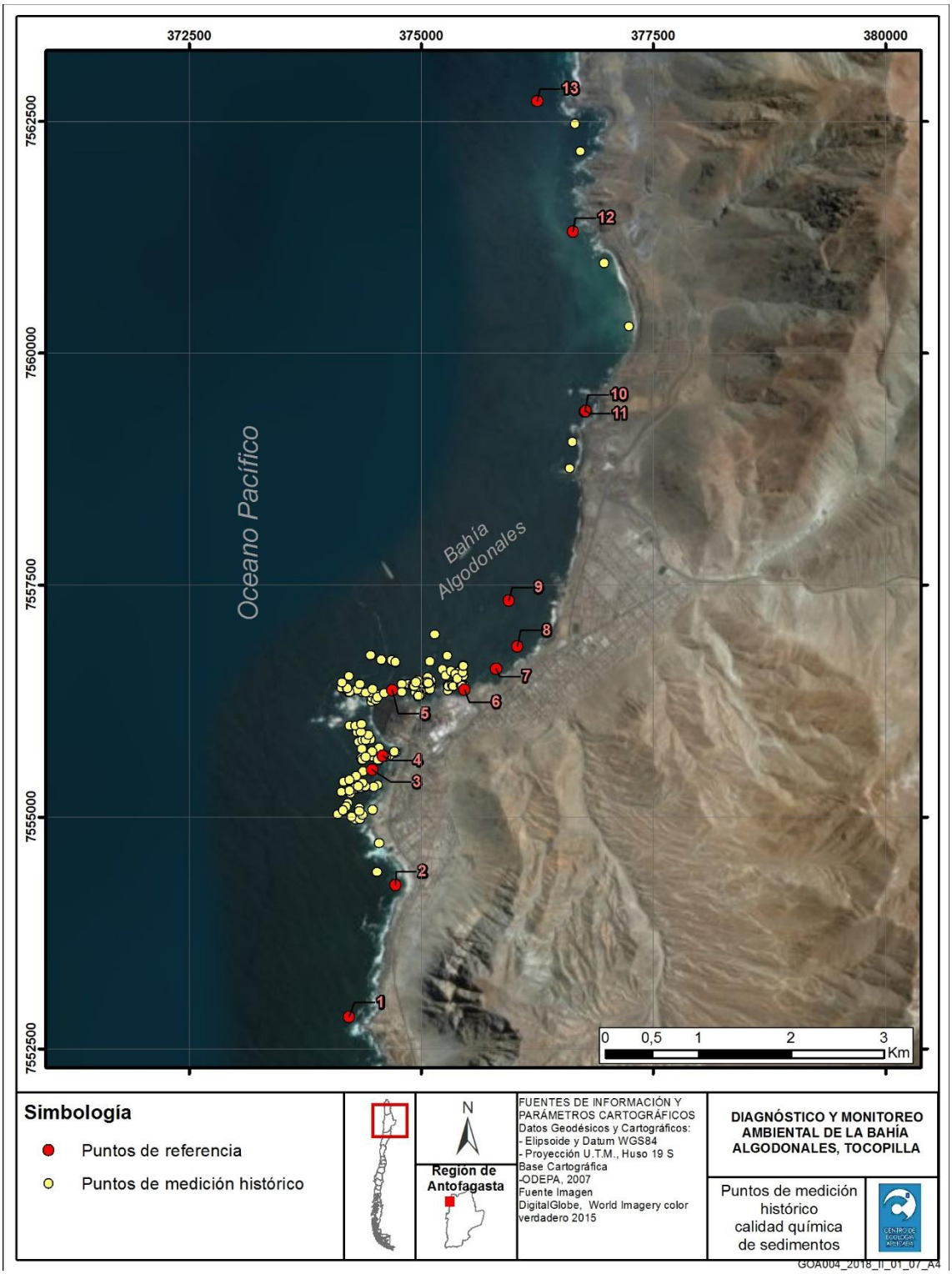


Figura 4.1-83: Puntos de medición históricos recopilados de calidad química de sedimentos (puntos amarillos) y puntos de referencia utilizados (puntos rojos).

g) Hidrocarburos

- Hidrocarburos Totales

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

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

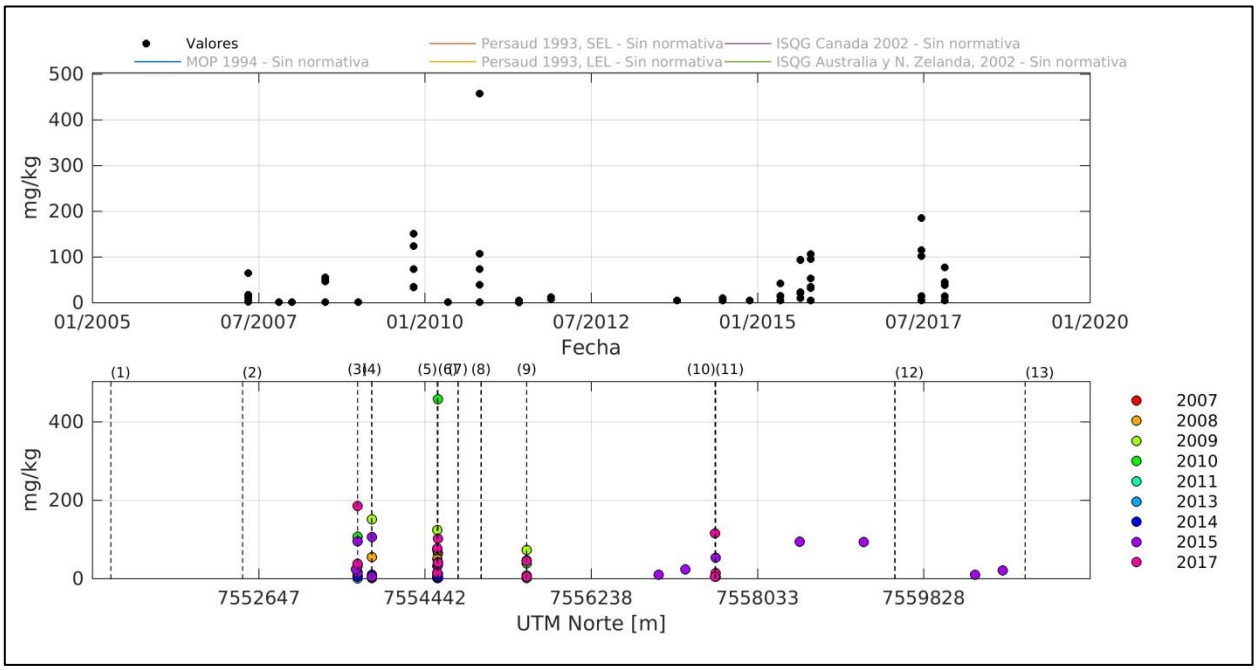


Figura 4.1-84. Concentración de Hidrocarburos Totales en sedimentos intermareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados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

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

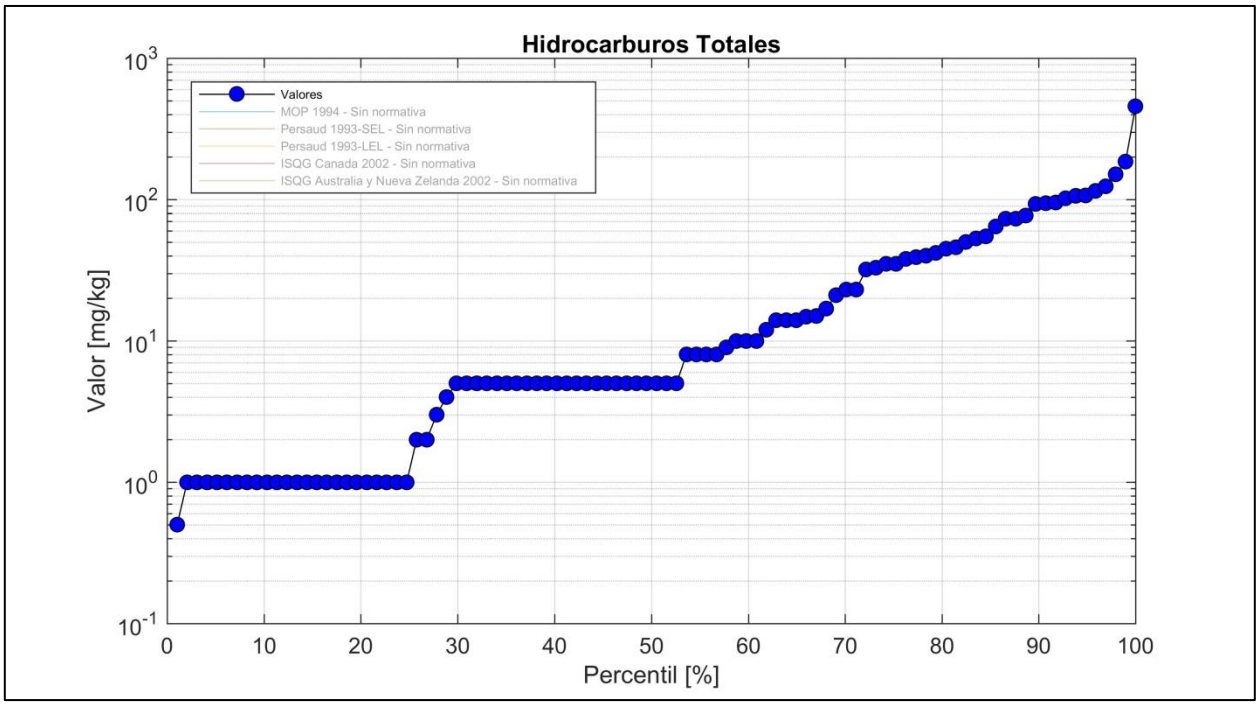


Figura 4.1-85. Concentración de Hidrocarburos Totales en sedimentos intermareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

- Hidrocarburos Aromáticos Totales

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

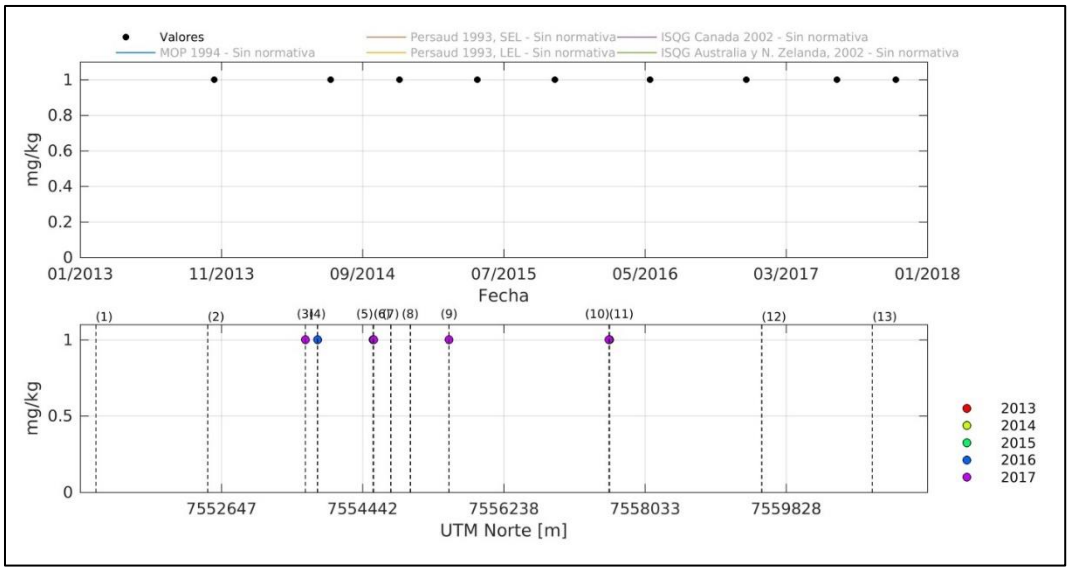


Figura 4.1-86. Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Totales en sedimentos intermareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo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

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

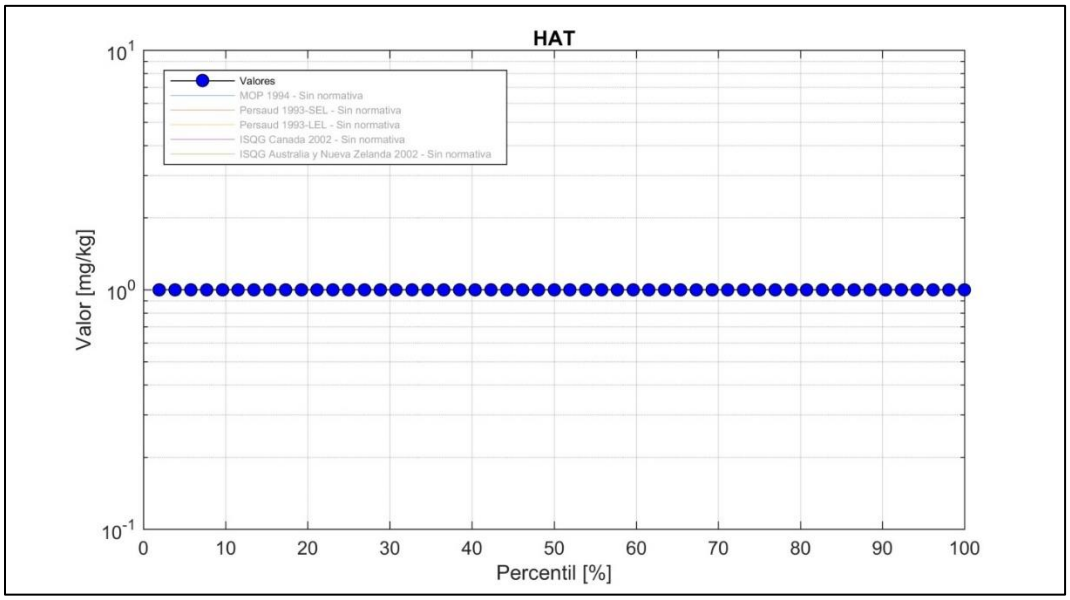


Figura 4.1-87. Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Totales en sedimentos intermareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, no existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

h) Metales y metaloides

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

- Arsénico

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

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

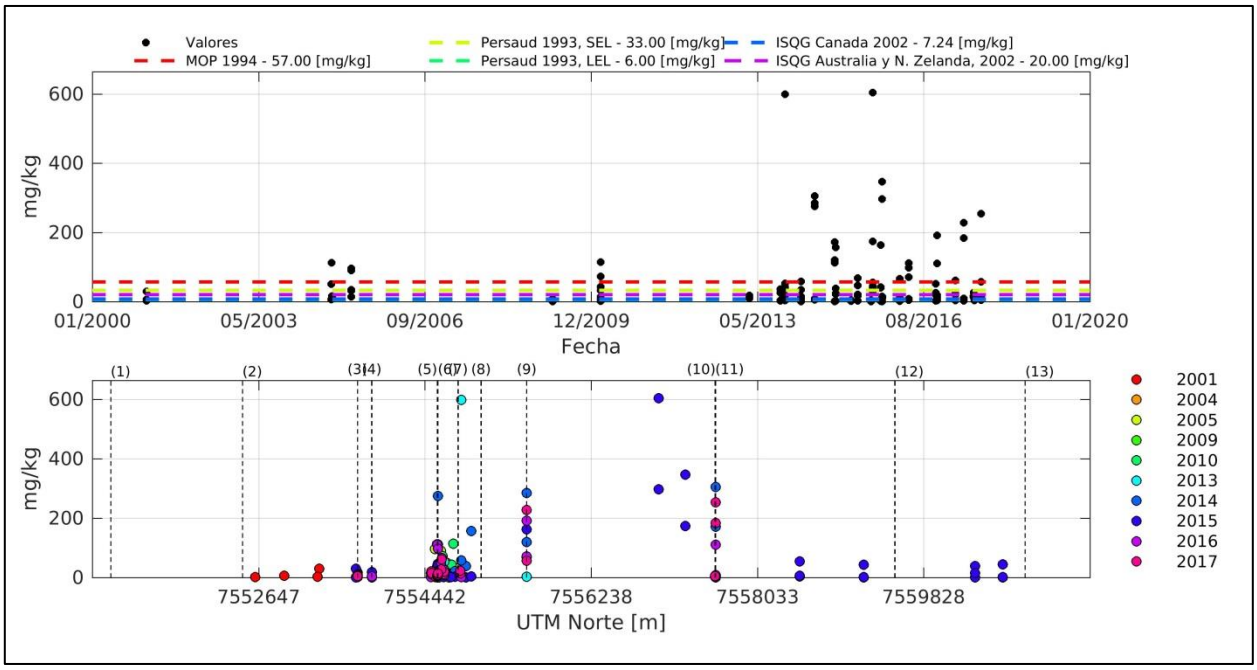


Figura 4.1-88. Concentración de arsénico en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

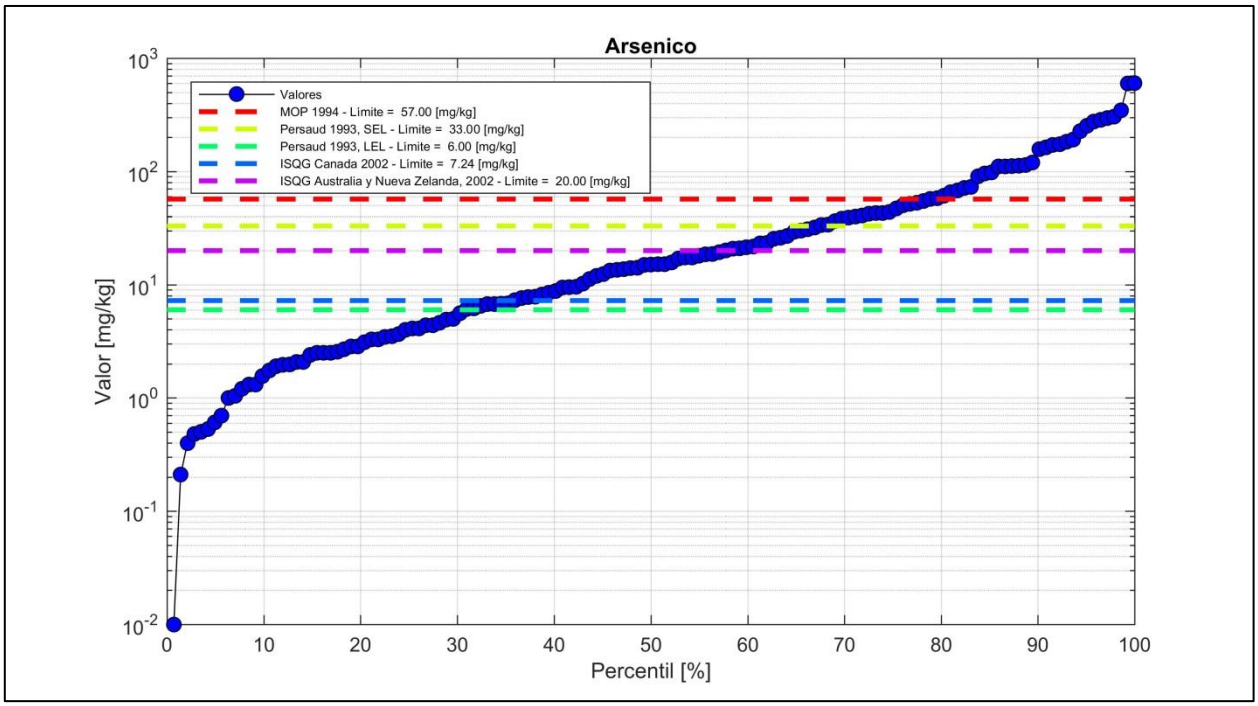


Figura 4.1-89. Concentración de arsénico disuelto en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit)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

- Cadmio

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

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

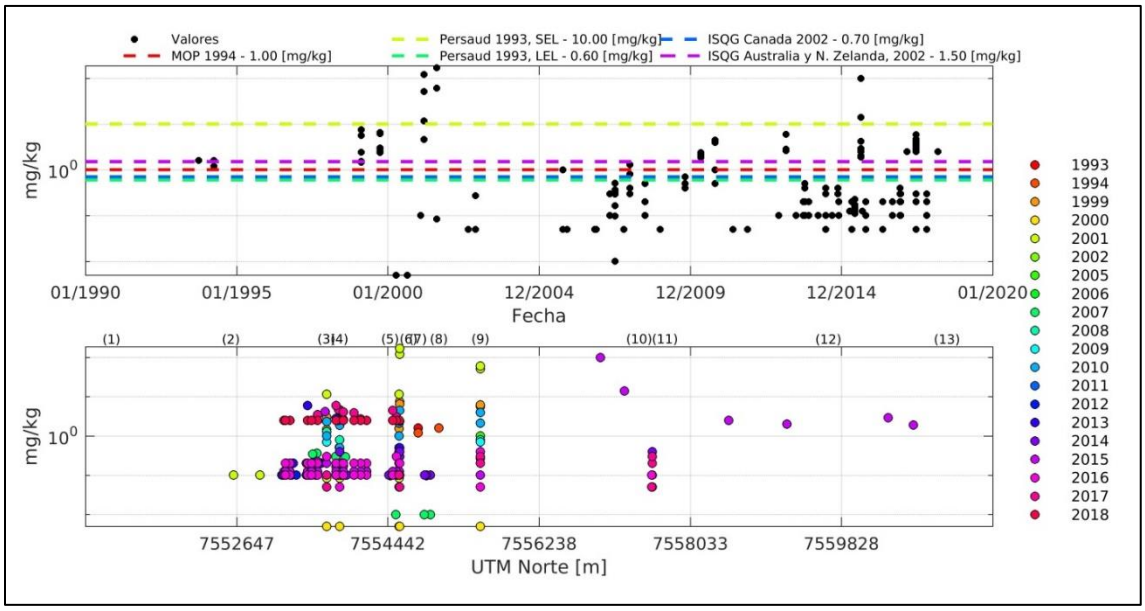


Figura 4.1-90. Concentración de Cadmio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

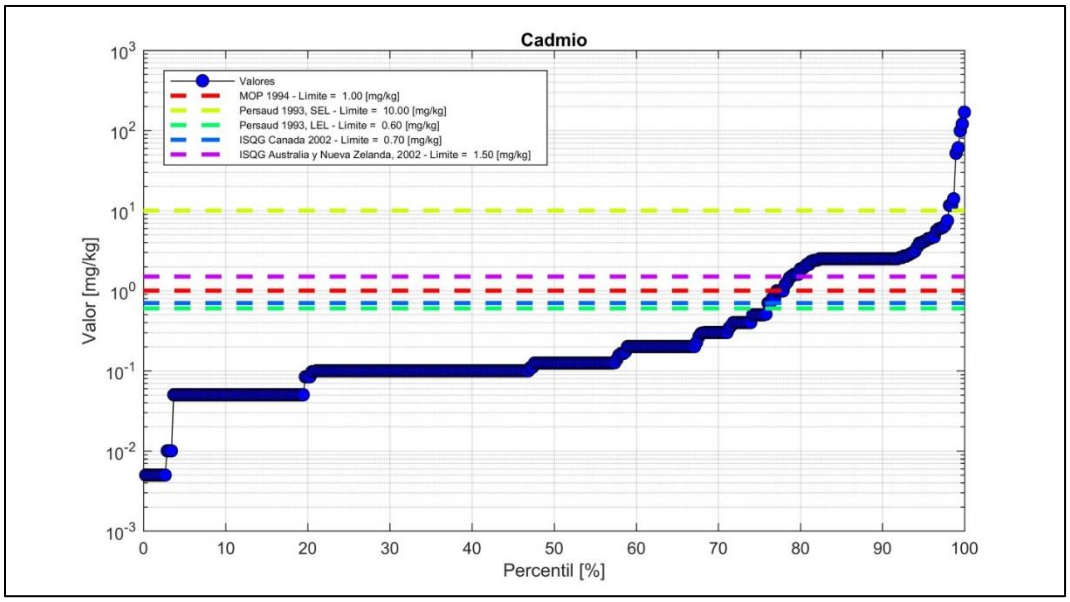


Figura 4.1-91. Concentración de Cadmio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud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

- Cobre

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

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

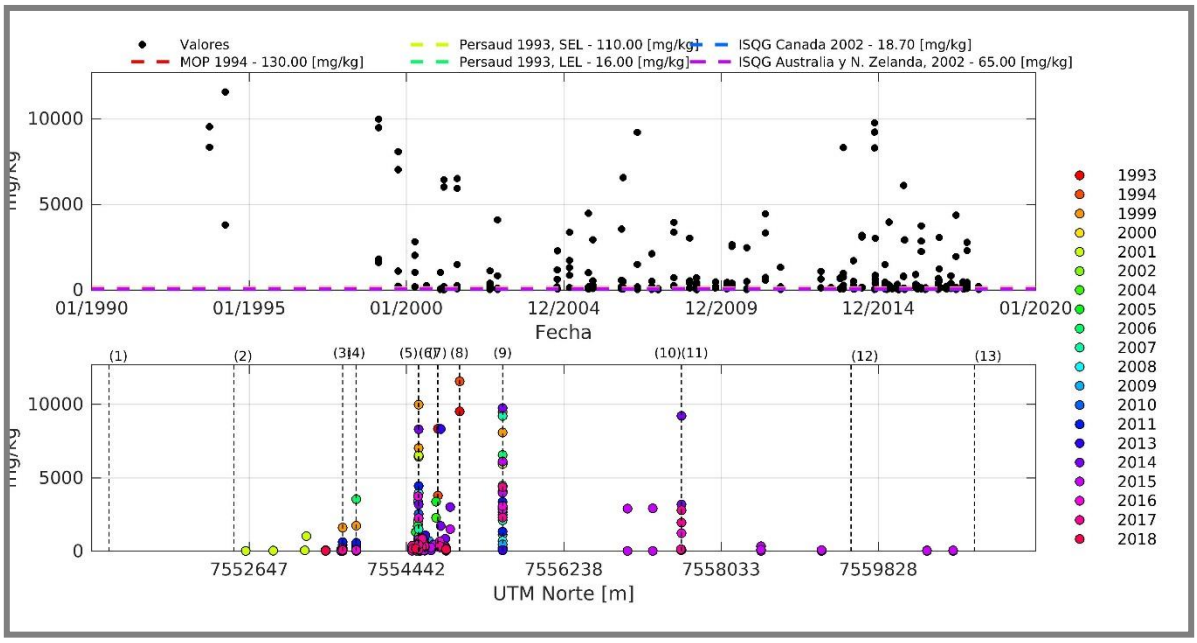


Figura 4.1-92. Concentración de Cobre en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

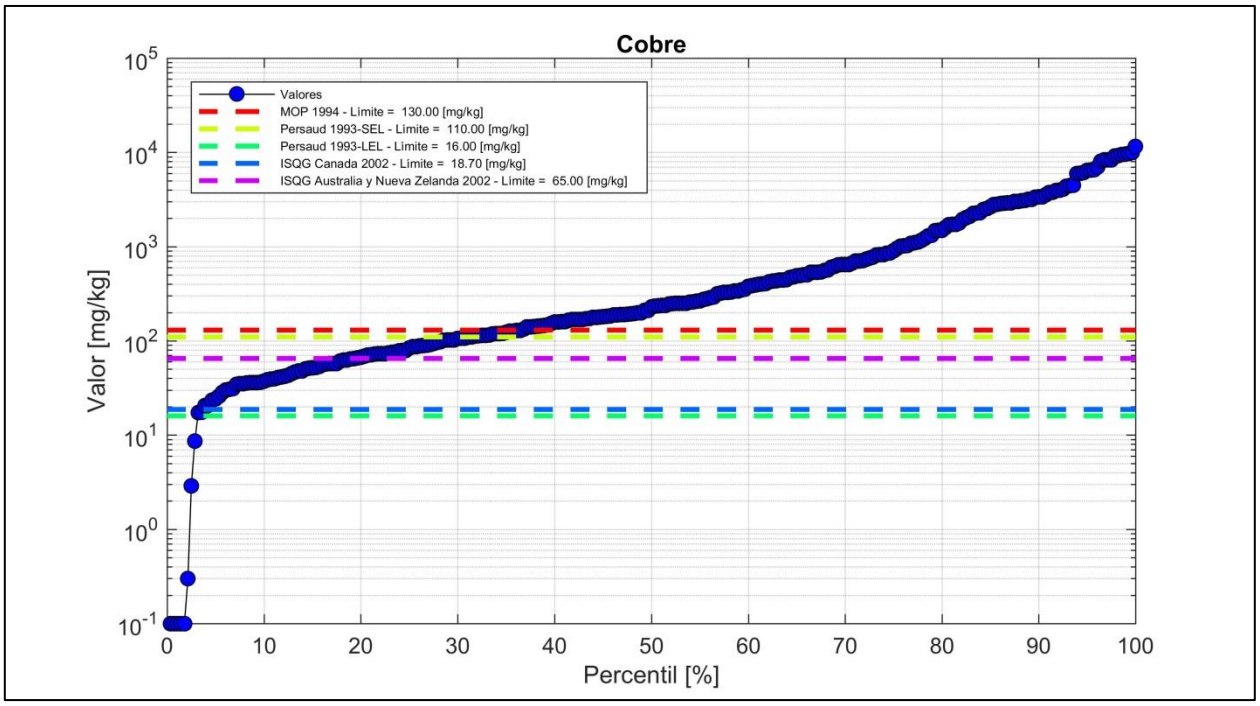


Figura 4.1-93. Concentración de Cobre en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993), ISQG Canadá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

- Cromo

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

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

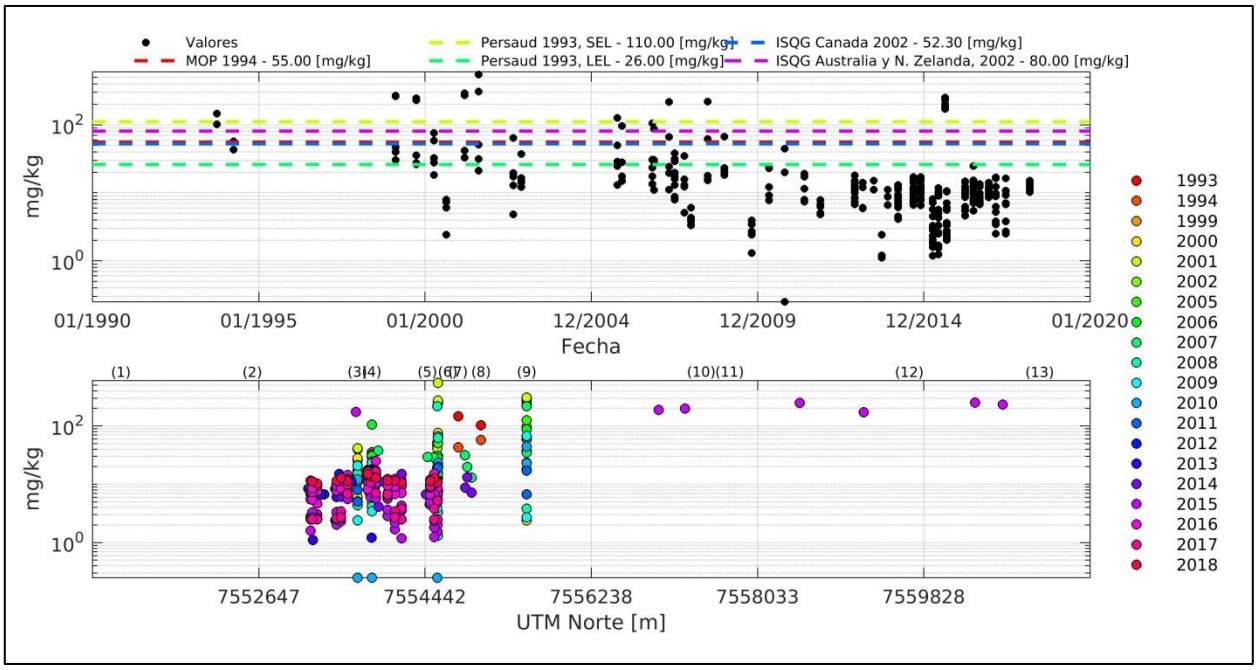


Figura 4.1-94. Concentración de Cromo en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

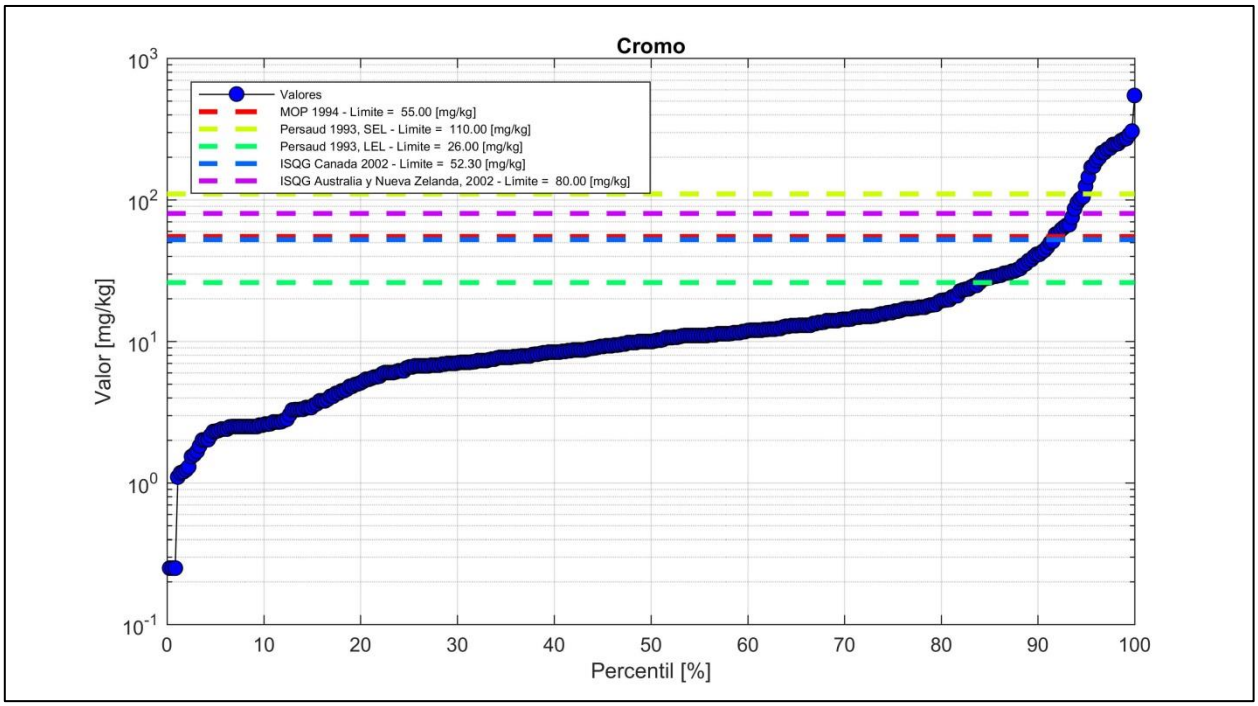


Figura 4.1-95. Concentración de Cromo en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud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

- Hierro

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

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

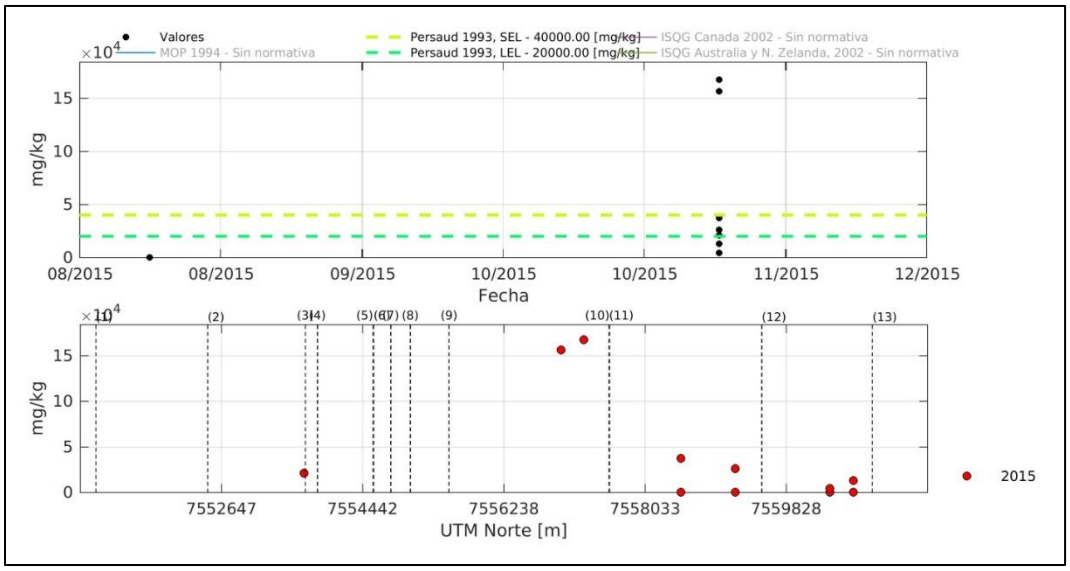


Figura 4.1-96. Concentración de Hierro en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

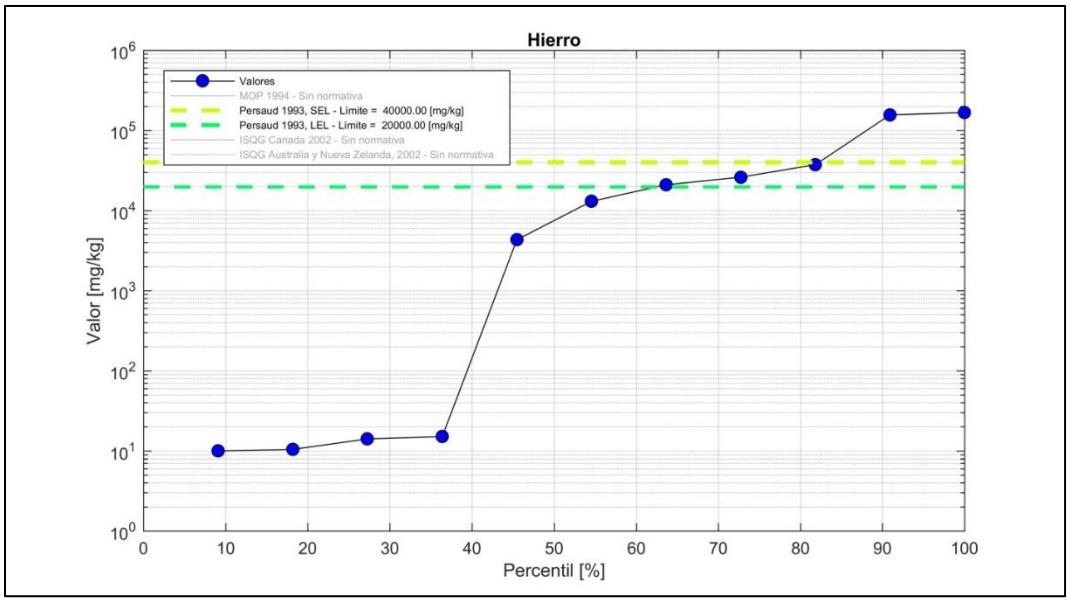


Figura 4.1-97. Concentración de Hierro en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos como SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993).

· Mercurio

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

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

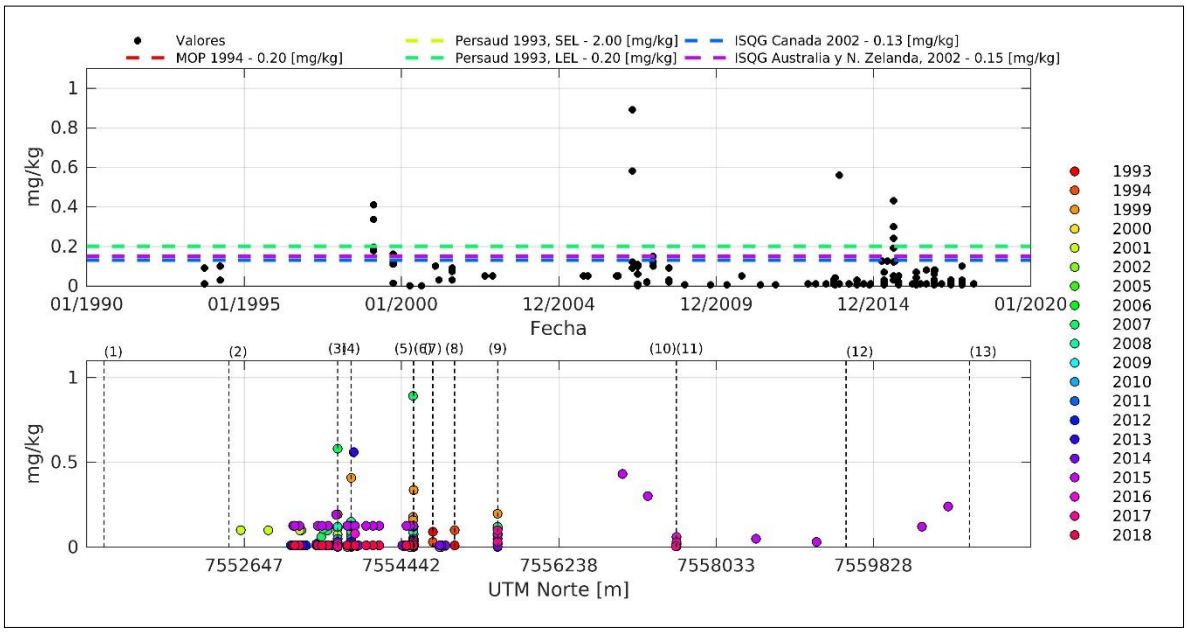


Figura 4.1-98. Concentración de Mercurio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

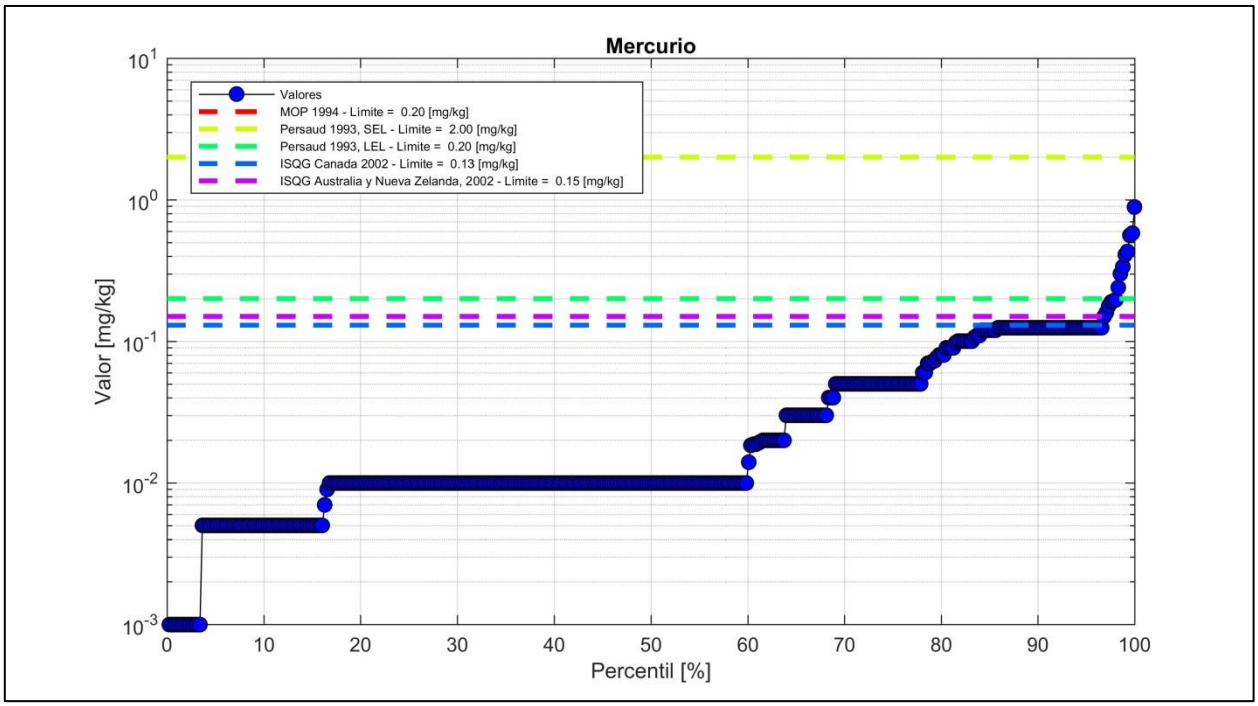


Figura 4.1-99. Concentración de Mercurio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles. No existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

- Níquel

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

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

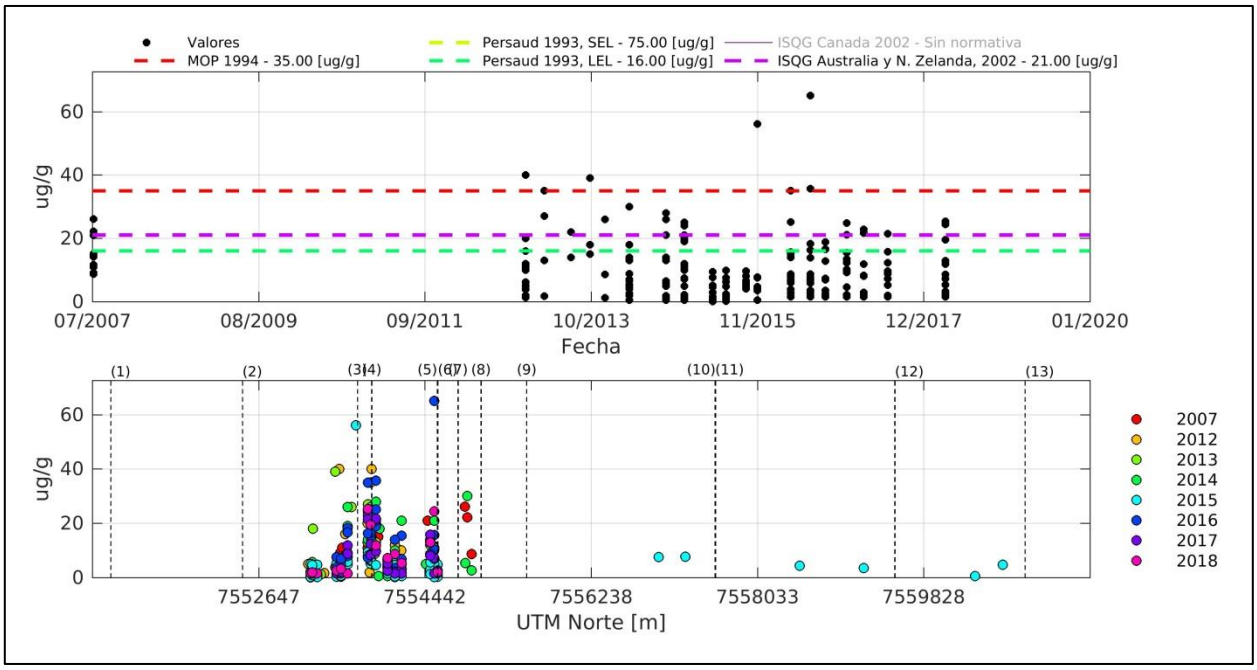


Figura 4.1-100. Concentración de Níquel en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

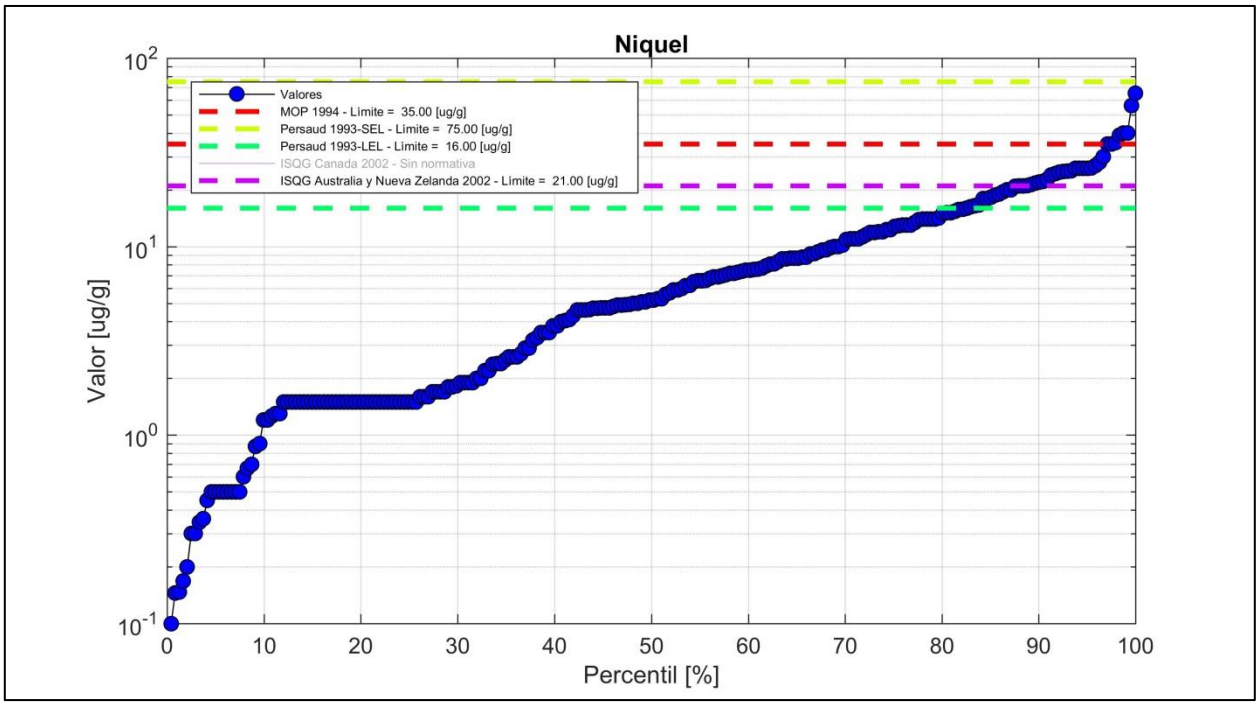


Figura 4.1-101. Concentración de Níquel en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos por SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud (1993) y ISQG Australia y Nueva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

- Plomo

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

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

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

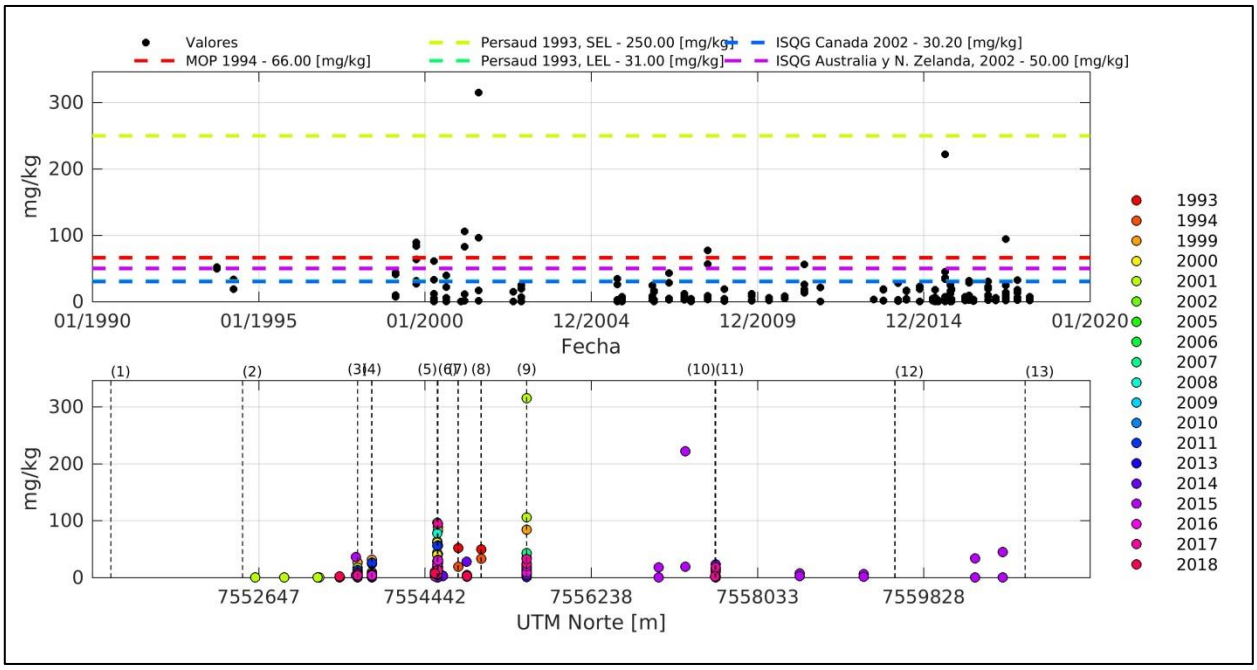


Figura 4.1-102. Concentración de Plomo en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

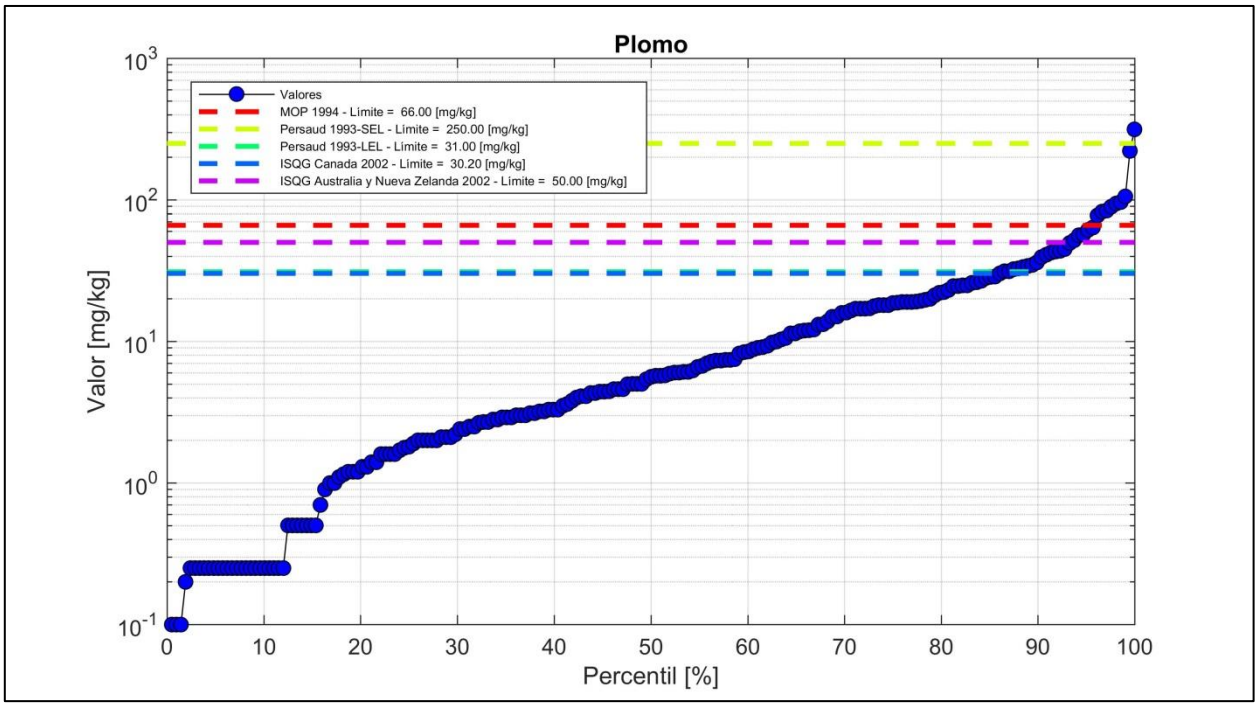


Figura 4.1-103. Concentración de Plomo en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud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

- Selenio

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

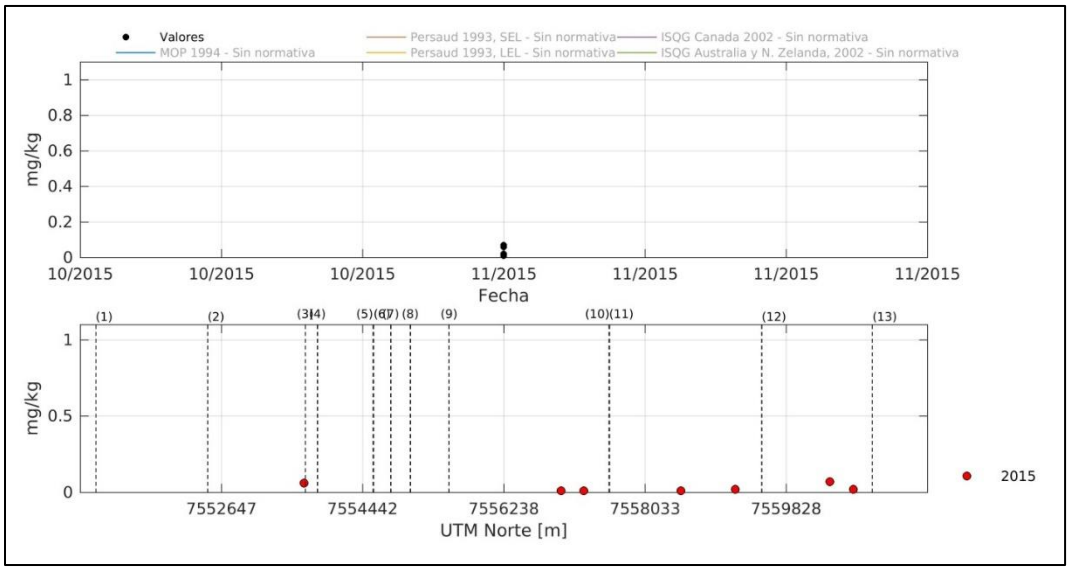


Figura 4.1-104. Concentración de Selenio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

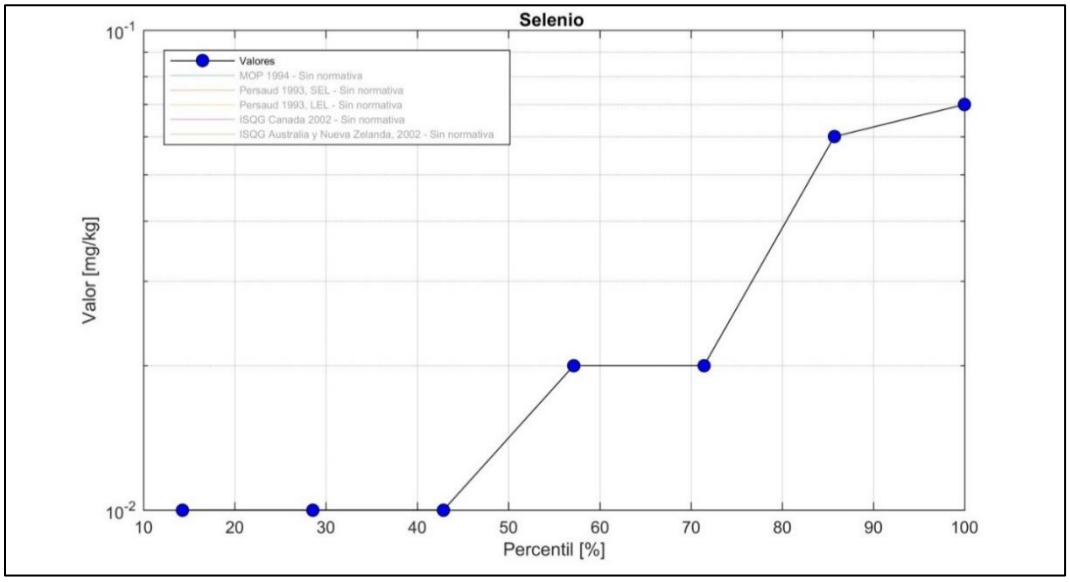


Figura 4.1-105. Concentración de Selenio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles en escala logarítmica.

· Vanadio

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

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

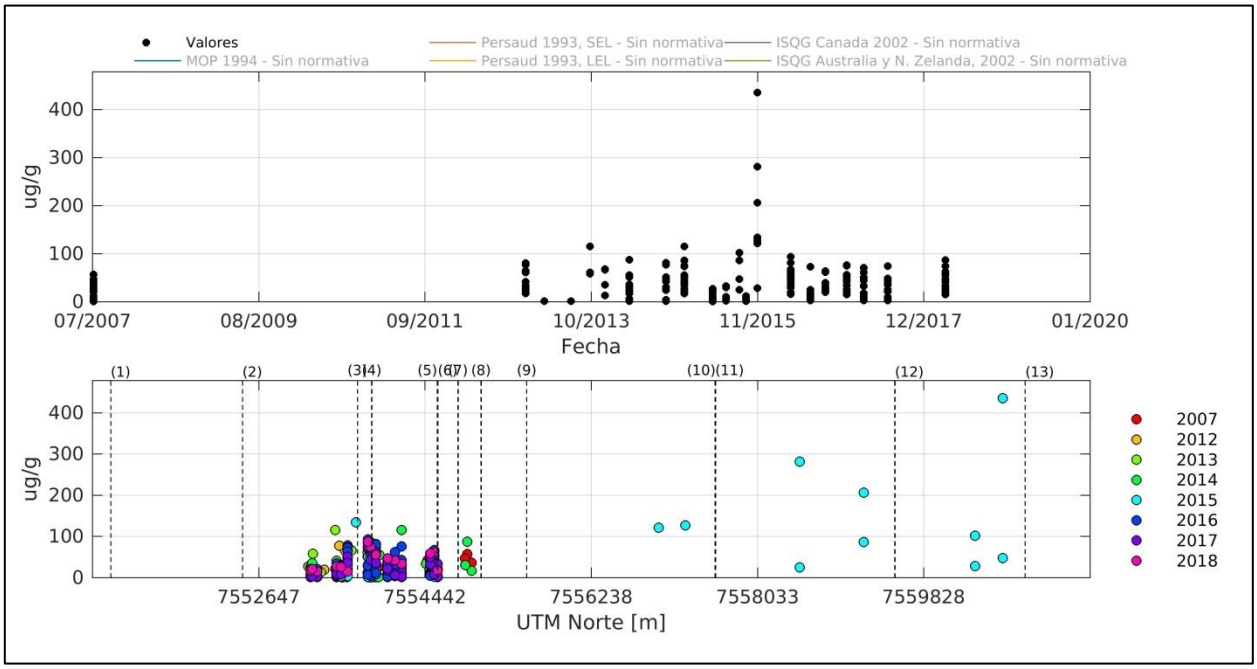


Figura 4.1-106. Concentración de Vanadio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

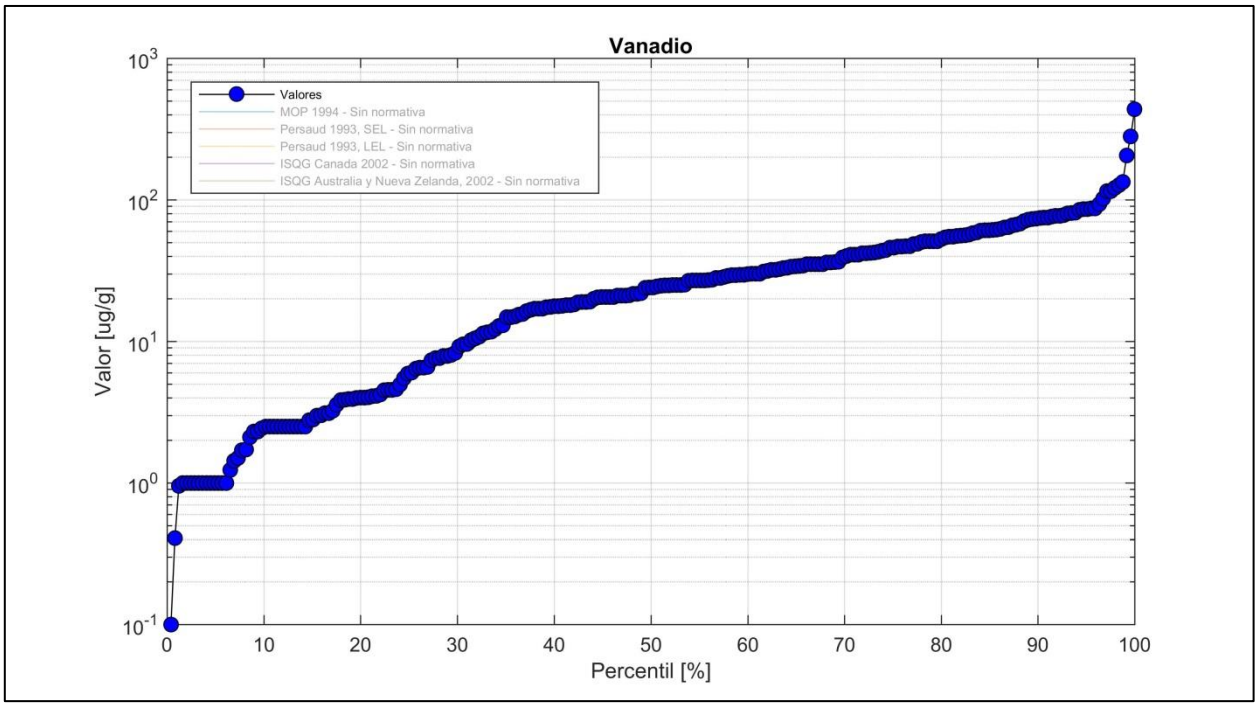


Figura 4.1-107. Concentración de Vanadio en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles. No existe cuerpo normativo asociado al parámetro en la matriz sedimento.

- Zinc

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

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

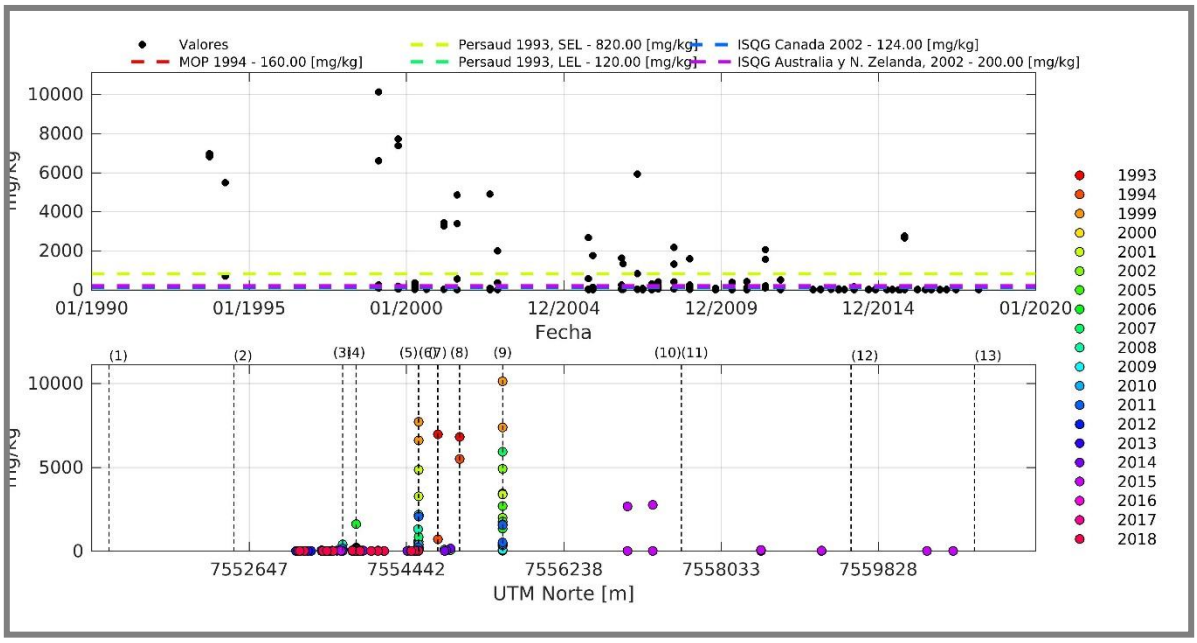


Figura 4.1-108. Concentración de Zinc en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Arriba se presenta la serie de datos histórica completa. Abajo se muestran los registros ordenados por latitud, cada serie en este gráfico representa los distintos años de monitoreo considerados en los distintos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

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

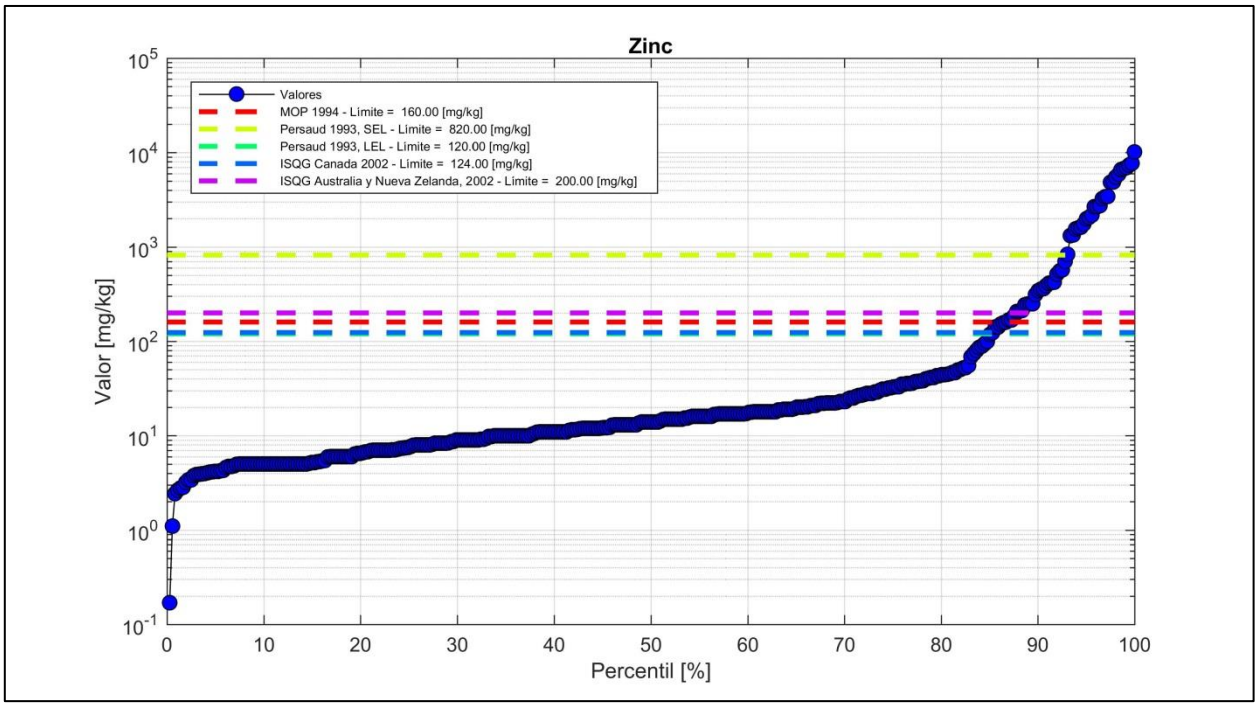


Figura 4.1-109. Concentración de Zinc en sedimentos submareales en la bahía de Algodonales. Se presenta la distribución de los valores en percentiles, además se incorporan los umbrales máximos definidos en los cuerpos normativos MOP (1994), SEL (Several effect limit) y LEL (Low effect limit) de Persaud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

4.1.1.3.3 Caracterización de los componentes bióticos

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

iii. Comunidades planctónicas

i) Fitoplancton

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

j) Zooplancton

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

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

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

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

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

iv. Comunidades bentónicas

k) Submareales

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

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

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

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

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

l) Intermareales

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

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

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

v. Ictiofauna

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

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

vi. Concentración de metales y metaloides en organismos

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

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

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

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

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

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

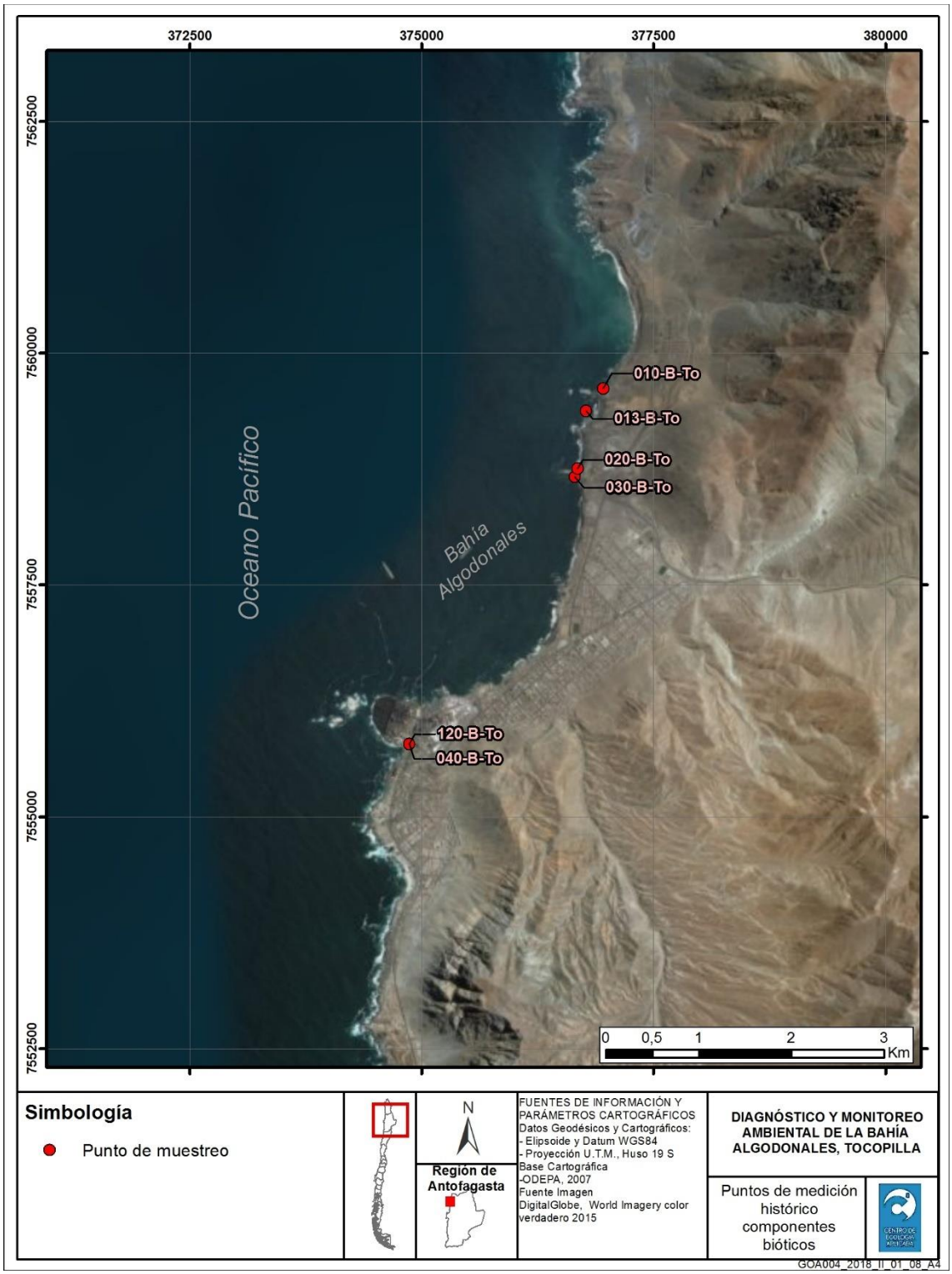


Figura 4.1-110: Puntos de medición POAL históricos recopilados de componentes bióticos (puntos rojos).

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

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

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

m) Arsénico

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

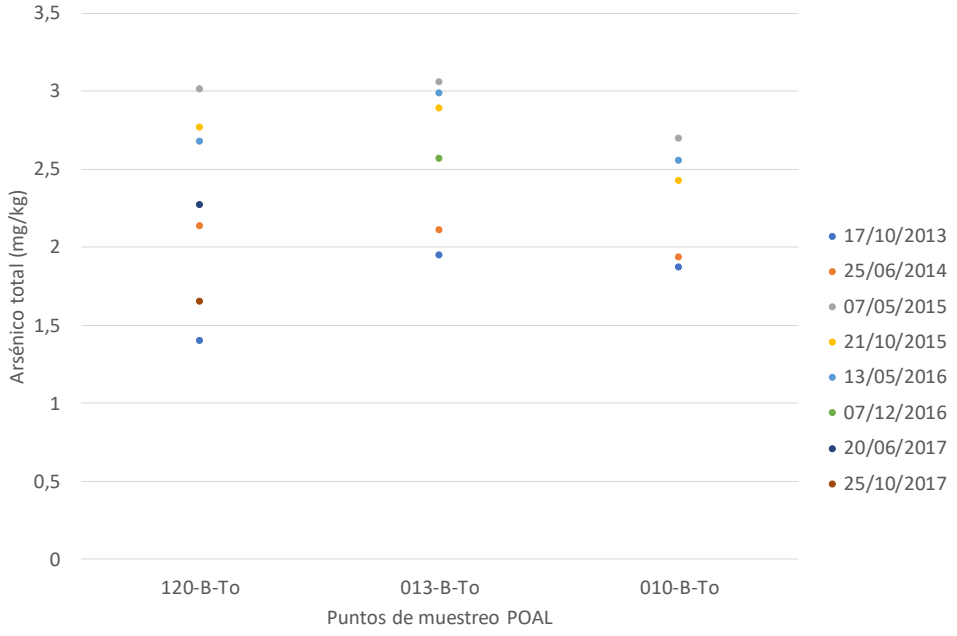


Figura 4.1-111 Arsénico total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

n) Cadmio

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

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

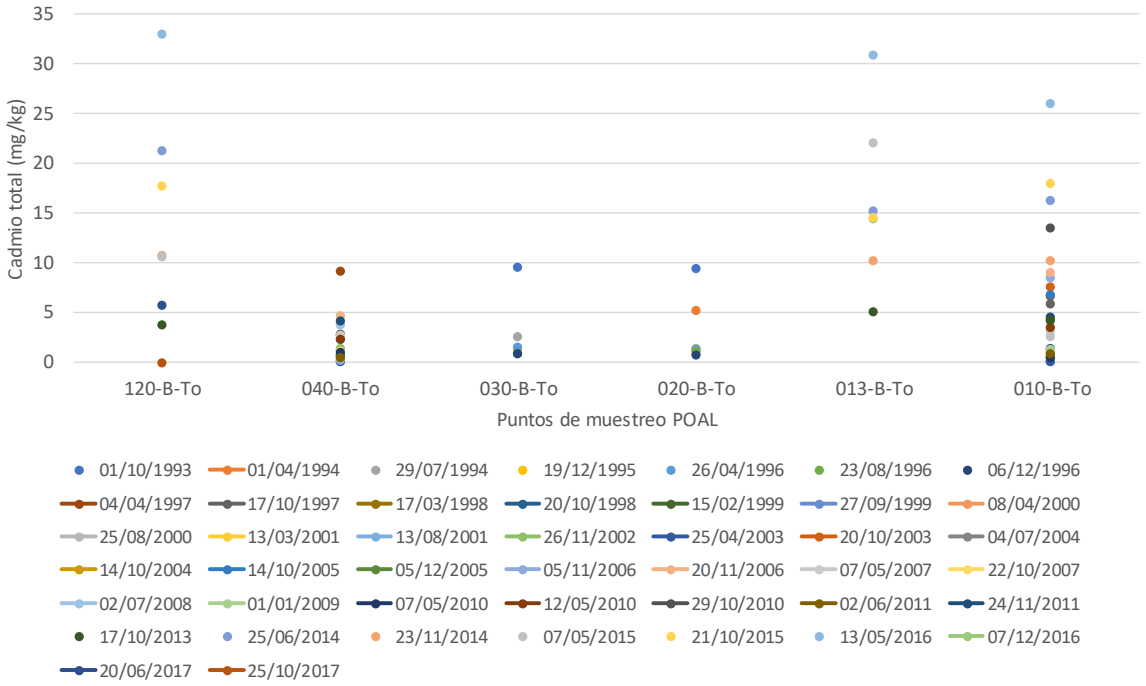


Figura 4.1-112 Cadmio total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

o) Cobre

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

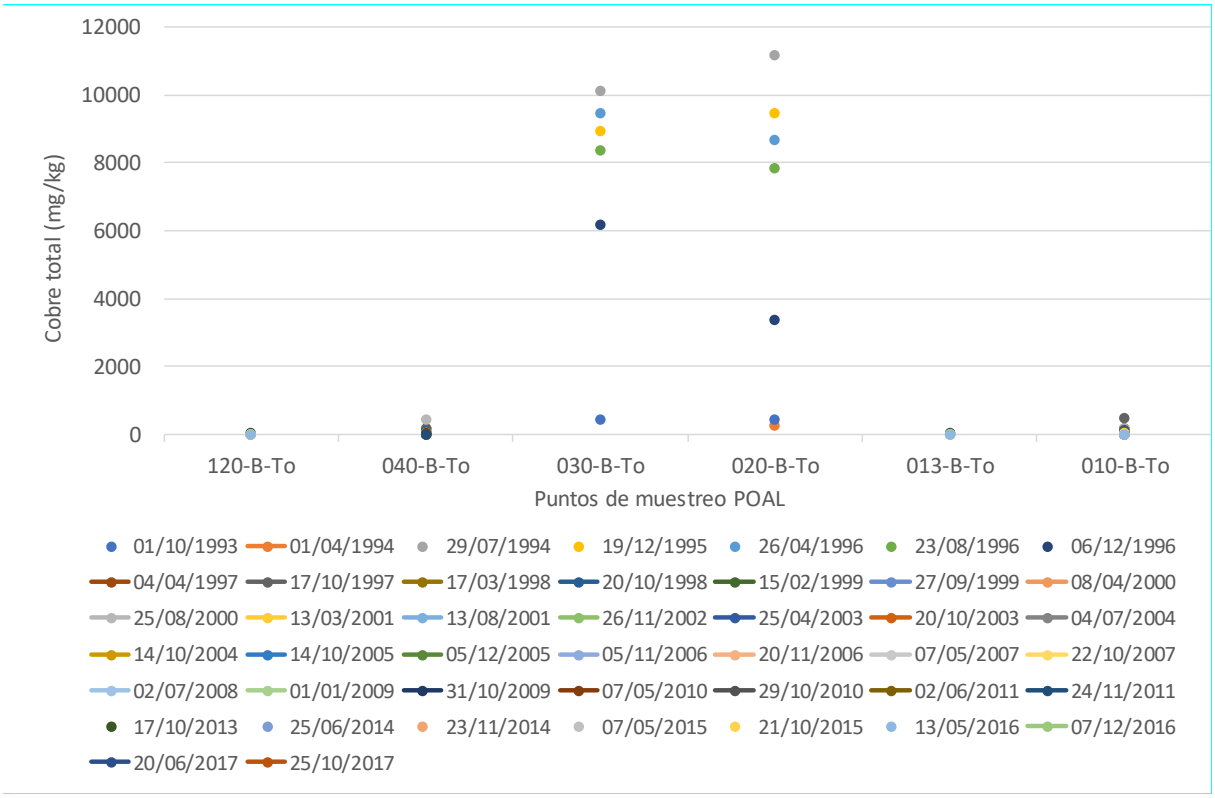


Figura 4.1-113 Cobre total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

a) Cromo

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

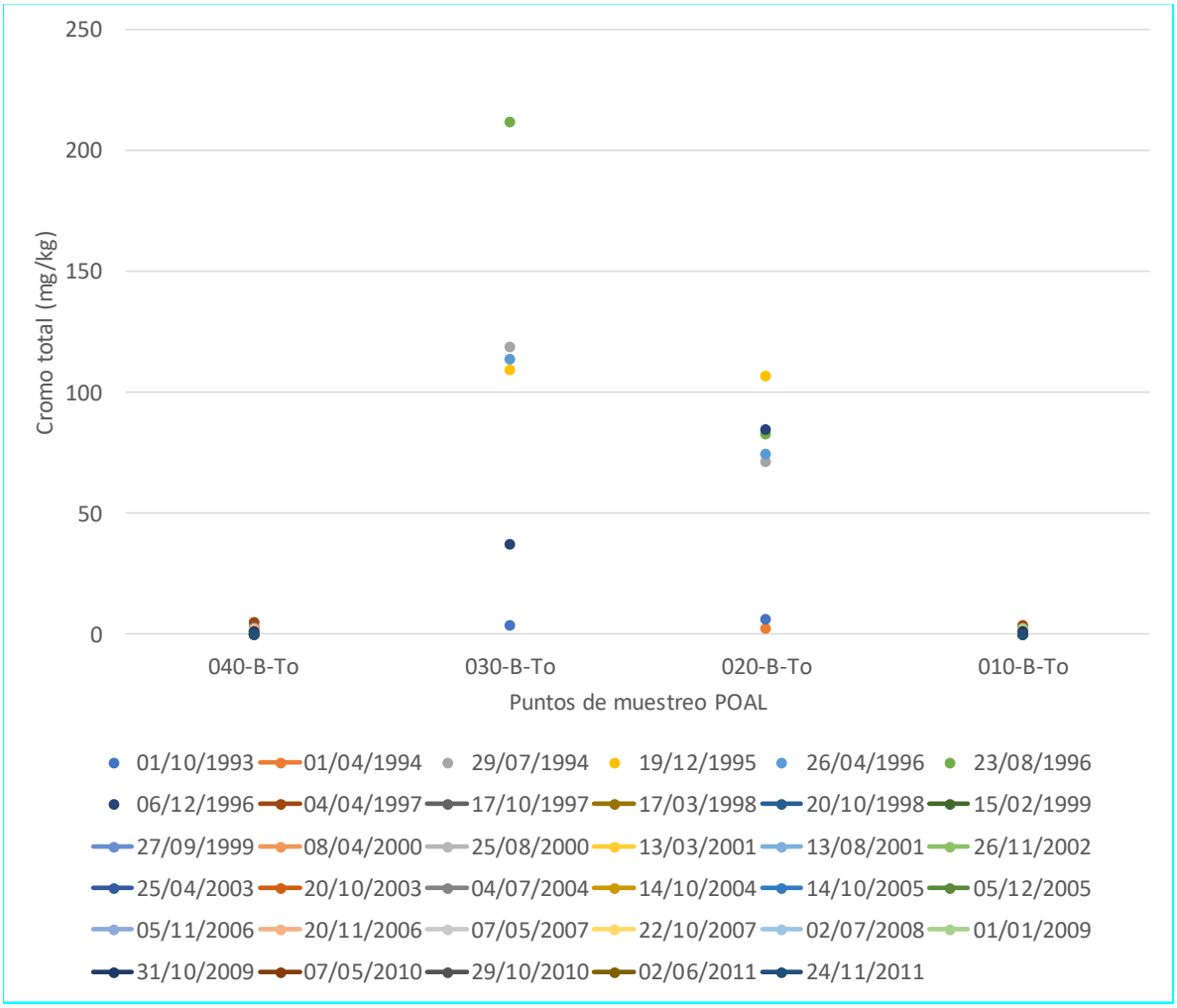


Figura 4.1-114 Cromo total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

b) Mercurio

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

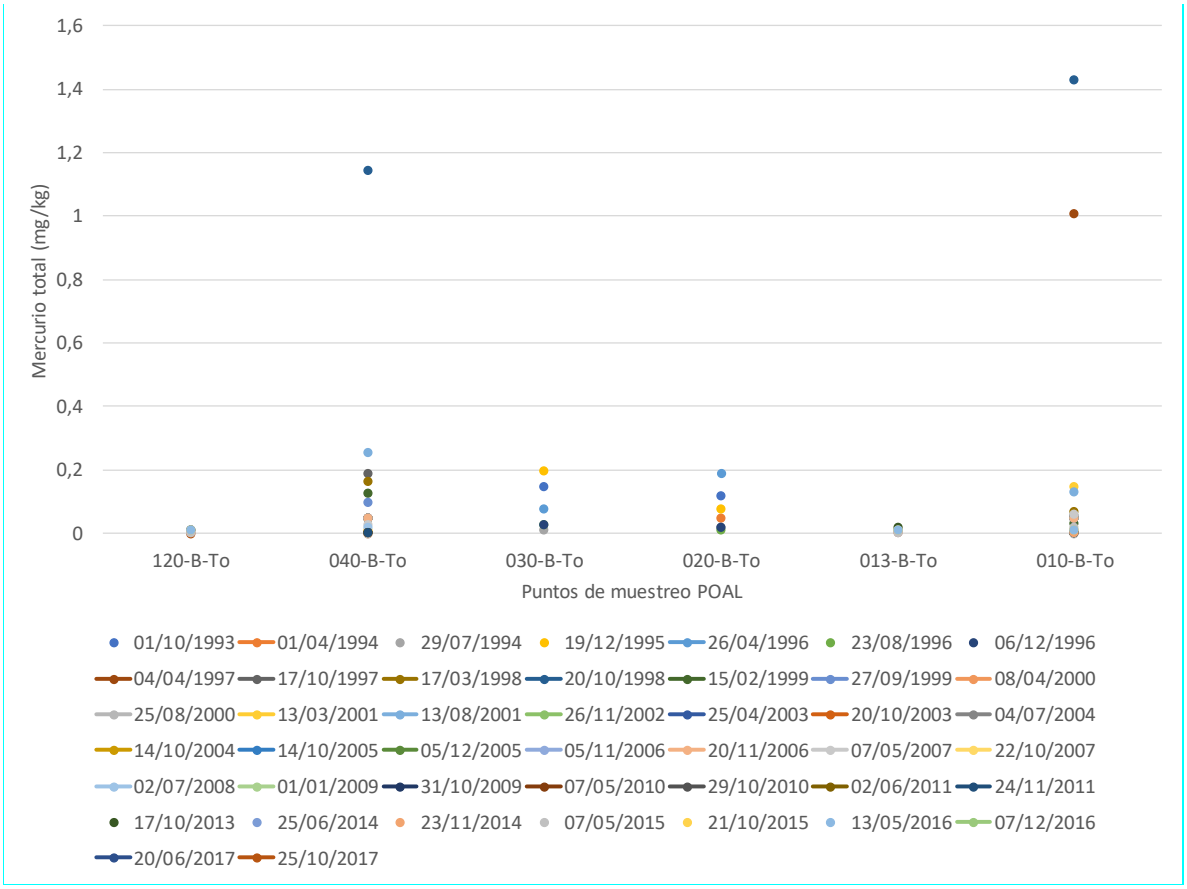


Figura 4.1-115 Mercurio total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

c) Plomo

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

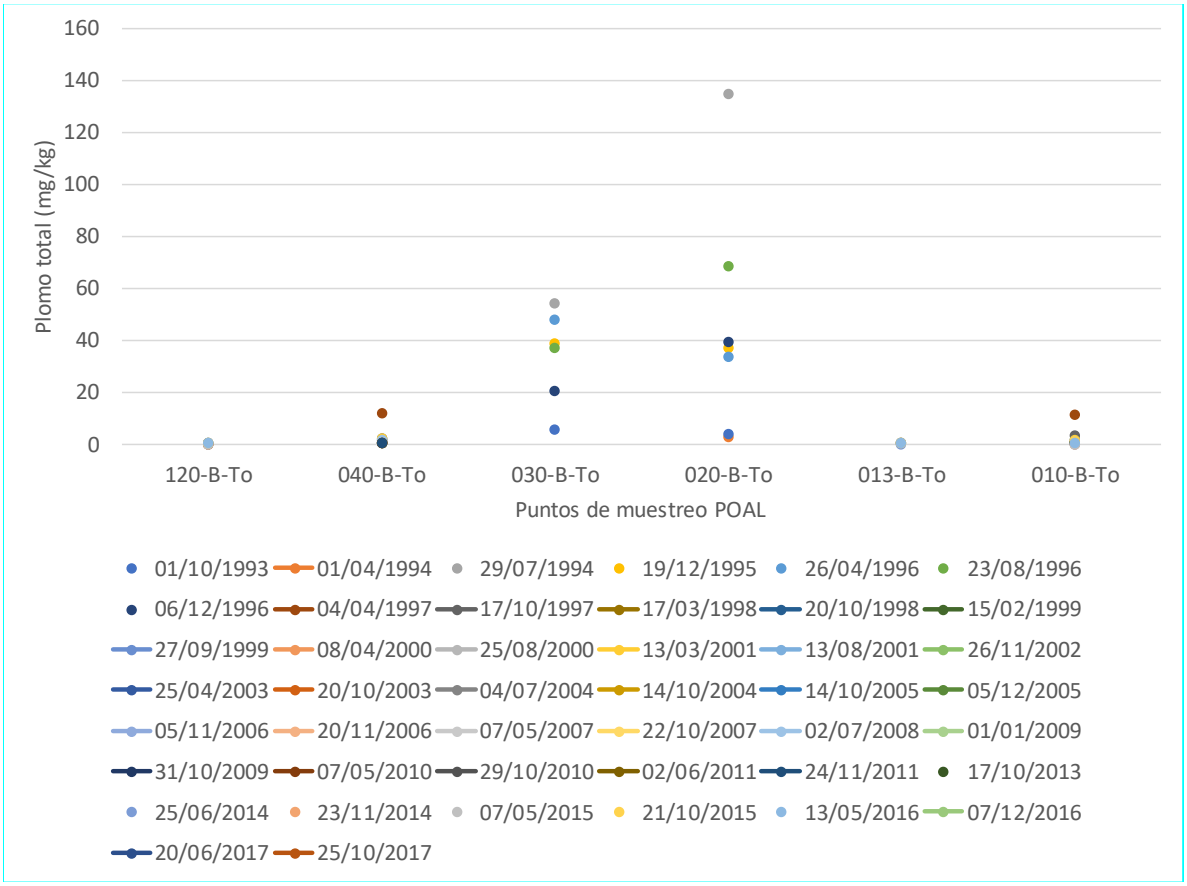


Figura 4.1-116 Plomo total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas.

d) Zinc

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

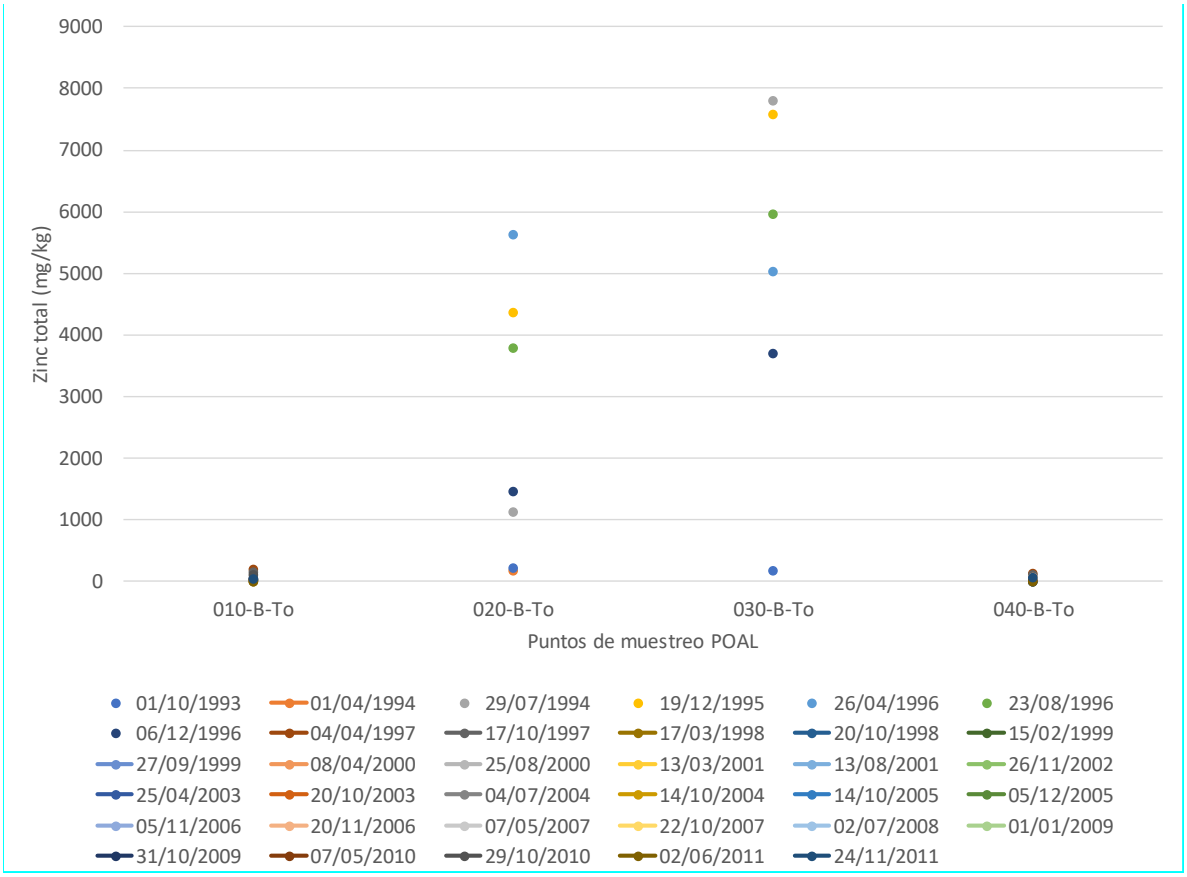


Figura 4.1-117: Zinc total registrado por el POAL en Chorito maico, Tocopilla. Los puntos de muestreo están orientados de Sur a Norte en el eje de las abscisas

4.1.1.3.4 Flujos antrópicos de materiales y organismos

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

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

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

Pues bien, se recabó información correspondiente a la comuna de Tocopilla a través de la página web www.retc.cl, consultada el 5 de octubre de 2017. Esta página permitió descargar la información referente a la emisión del total de contaminantes en la comuna, a nivel anual y en un formato ""CSV" (sigla del término en inglés "Valores separados por

coma"), la cual se reordenó y sistematizó para poder ser utilizada en el presente estudio. Adicionalmente se descargaron las emisiones para las comunas de Mejillones, Antofagasta, Taltal y Calama, correspondientes a territorios con zonas costeras, las que presentan emisarios hacia el océano.

A continuación, se presentan las emisiones de los parámetros de interés, según los medios receptores ambientales "Agua", categorización propia del RETC. Se ha puesto especial énfasis en el análisis del medio Agua, lo cual responde a los lineamientos del presente diagnóstico que se han centrado en estudiar la bahía propiamente tal. Este tipo de receptor además se clasifica en "Fuentes Puntuales" y "Transferencias". Las Transferencias corresponden al traslado de contaminantes a un lugar que se encuentra físicamente separado del establecimiento que lo generó[5], mientras que Fuentes Puntuales son aquellas fuentes donde la ubicación del punto de descarga, generación o emisión al medio ambiente es plenamente identificable[6]. Para los propósitos del estudio, se estudian las emisiones para Fuentes puntuales.

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

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

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

Parámetro	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total general
Aceites y grasas	1	1	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	22
Aluminio					2	1	1		1	1	2	1	9
Arsénico					2	1	1				2	1	7
Boro					1	1					1	1	4
Cadmio				1	2	1	1				1		6
Cianuro					2	1	1				1		5
Cloruros					1	1					1	1	4
Cobre				1	2	1	1				2	1	8
Cromo hexavalente				1	2	1	1				1		6
Cromo Total				1		1	1	1	1	1	2	1	9

[5] http://www.retc.cl/glosario/
[6] http://www.retc.cl/glosario/

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

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

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

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

Adicionalmente, para facilitar el análisis y la comprensión de los parámetros que están siendo descargados, éstos son separados como: metales y metaloides, nutrientes y

productividad, parámetros físicos y otros parámetros de interés ambiental. A continuación, se realiza el análisis de cada categoría.

e) Metales y metaloides

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

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

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Aluminio	-	0,04	1.842,59	691,35	2.533,98
Hierro - hierro disuelto	-	0,46	791,31	1.029,12	1.820,89
Boro	-	5,10	-	326,61	331,71
Xileno	201,49	0,17	-	-	201,66
Molibdeno	-	0,01	90,49	92,14	182,64
Zinc	-	15,25	62,35	84,27	161,87
Cromo Total	-	16,01	12,82	15,42	44,25
Cobre	-	3,44	0,03	24,94	28,41
Plomo	11,56	16,11	-	0,00	27,67
Cromo hexavalente	-	16,05	-	0,00	16,05
Niquel	-	0,11	0,02	15,91	16,04
Cadmio	-	5,09	-	-	5,09
Arsénico	-	0,02	-	0,87	0,89
Mercurio	-	0,32	-	-	0,32
Manganeso	-	0,03	-	-	0,03
Estaño	-	0,01	-	0,01	0,02
Selenio	-	0,00	-	0,00	0,00

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

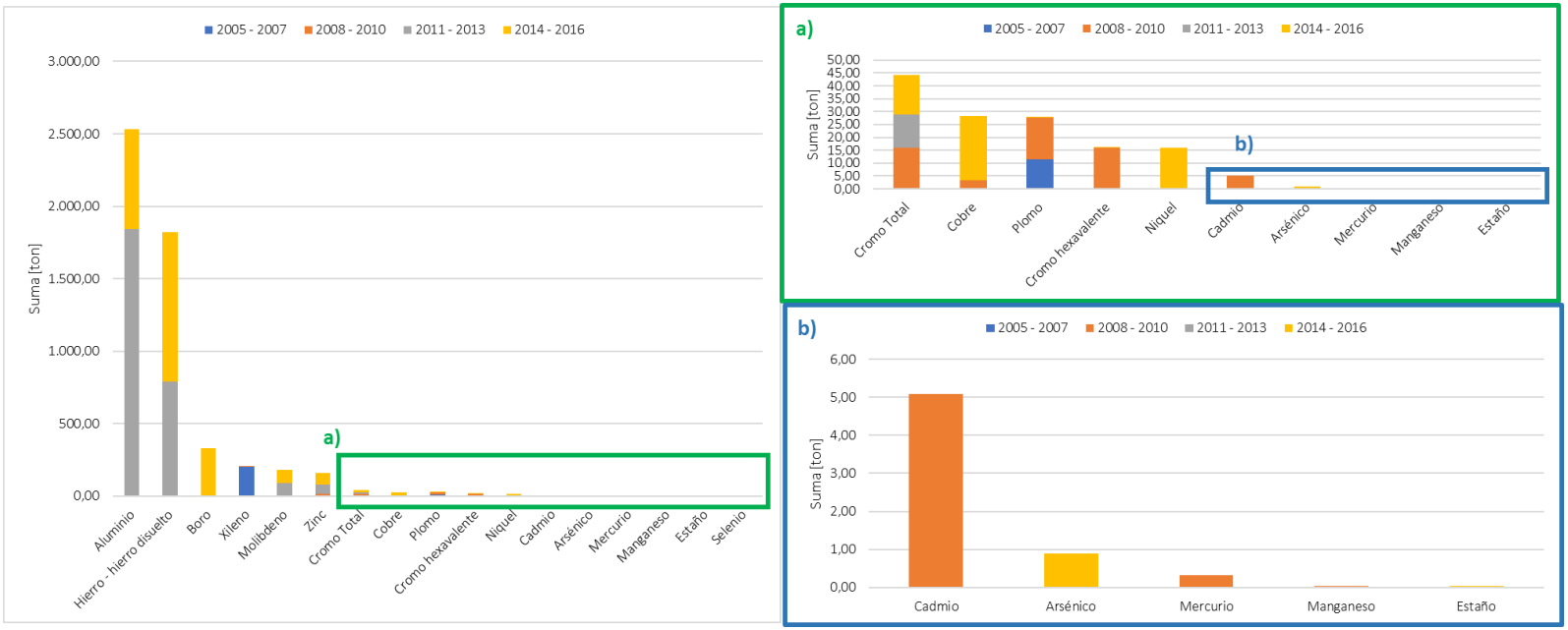


Figura 4.1-118 Masa de metales y metaloides descargados, sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

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

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

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

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

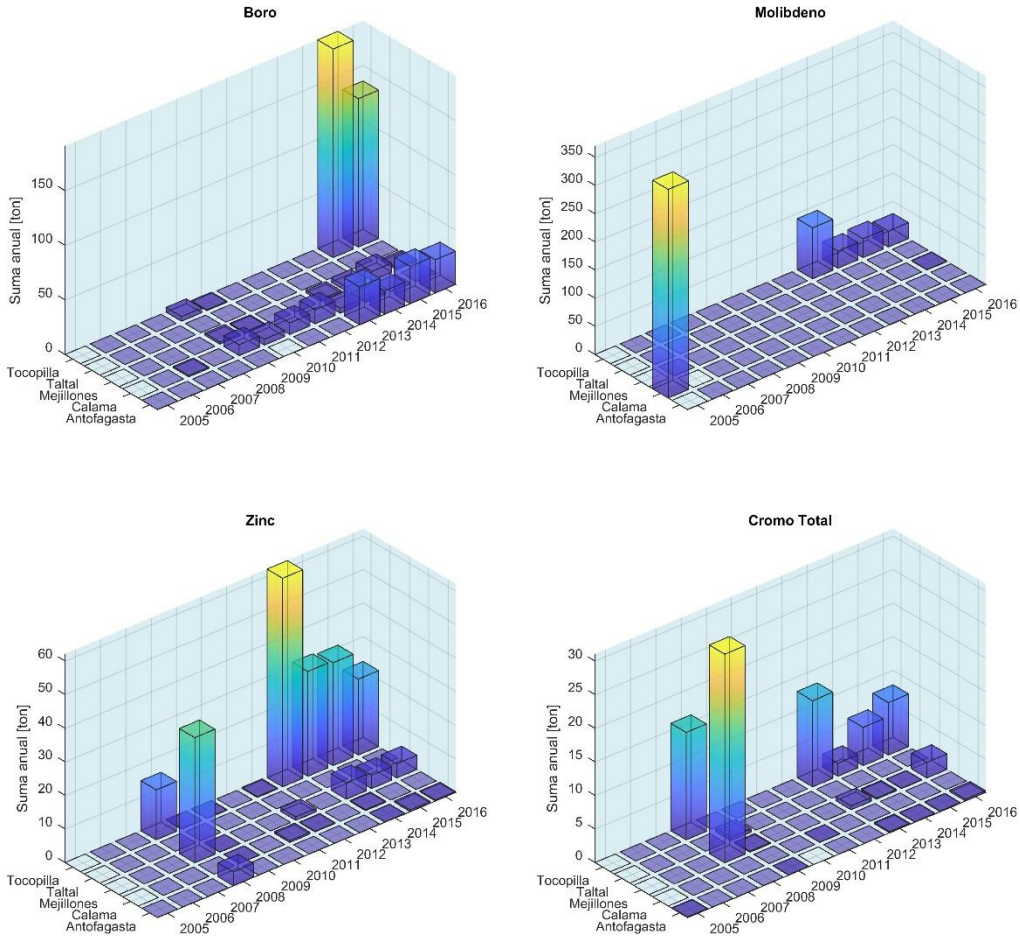


Figura 4.1-119 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de metales y metaloides en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla.

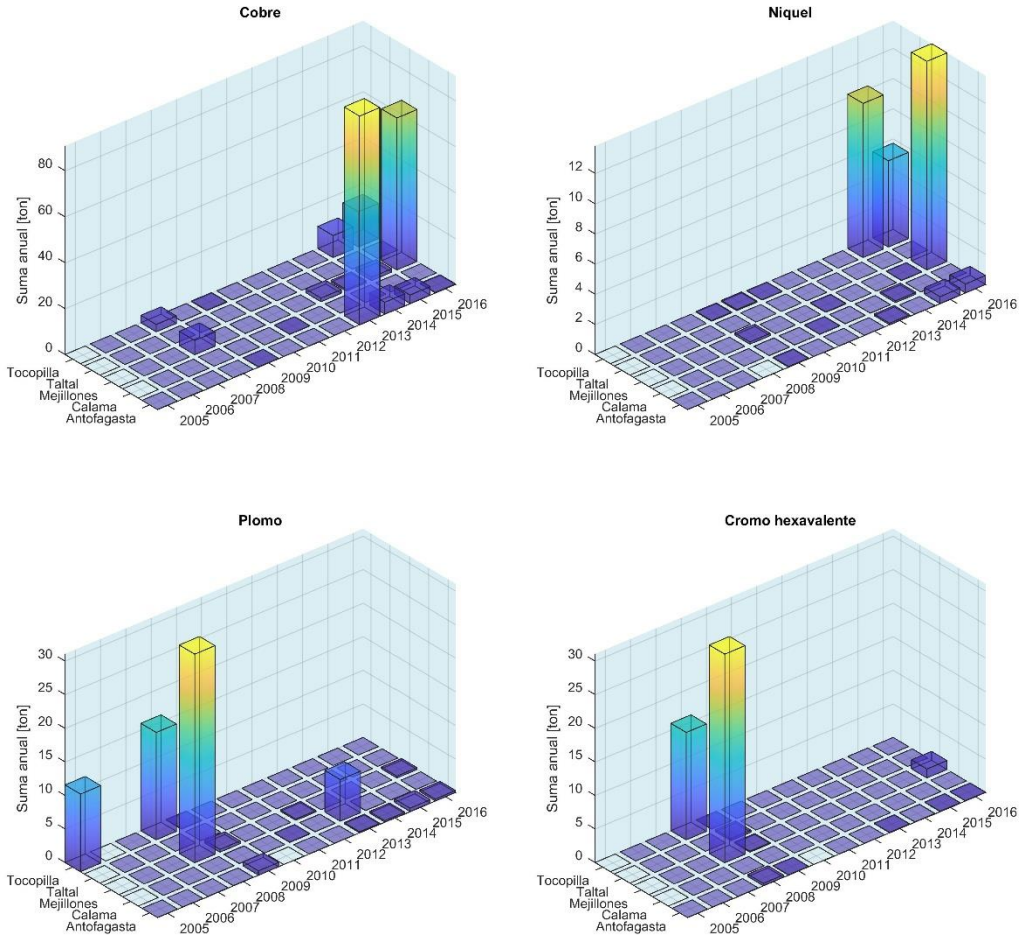


Figura 4.1-120 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de metales y metaloides en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla (Continuación).

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

f) Nutrientes y productividad

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

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

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

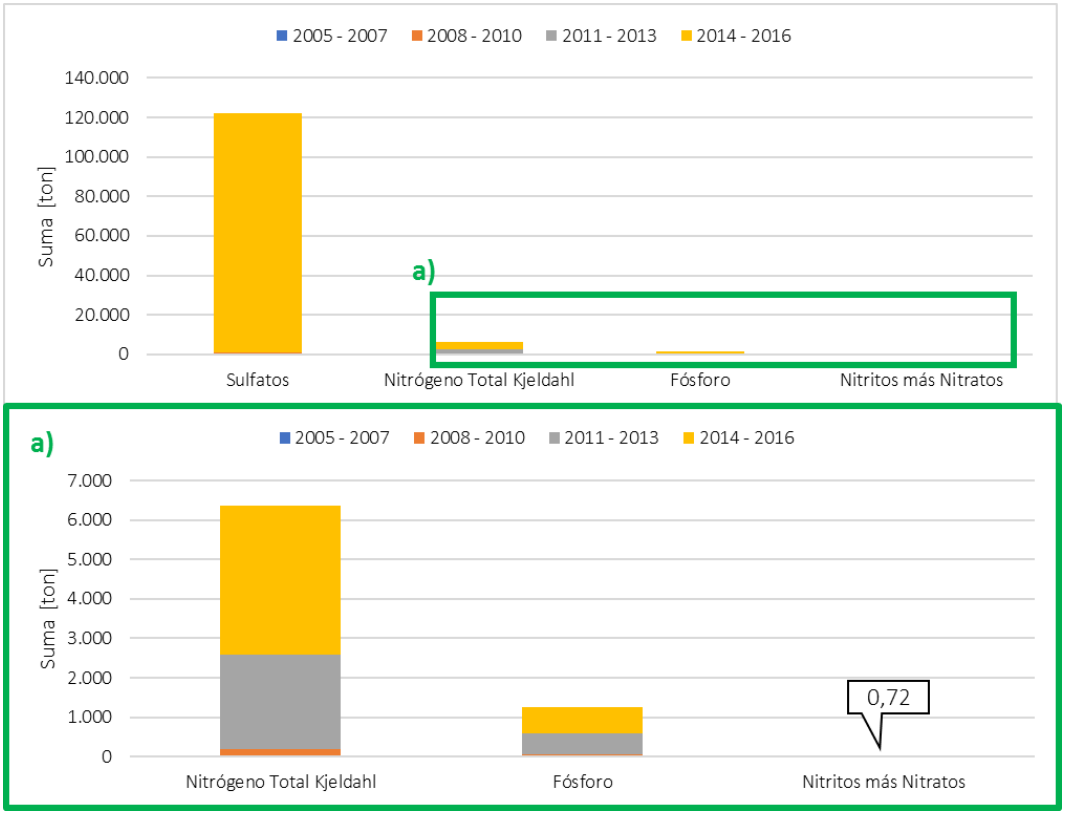


Figura 4.1-121 Masa de parámetros asociados a nutrientes y productividad, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

De los resultados anteriores se desprende que:

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

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

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

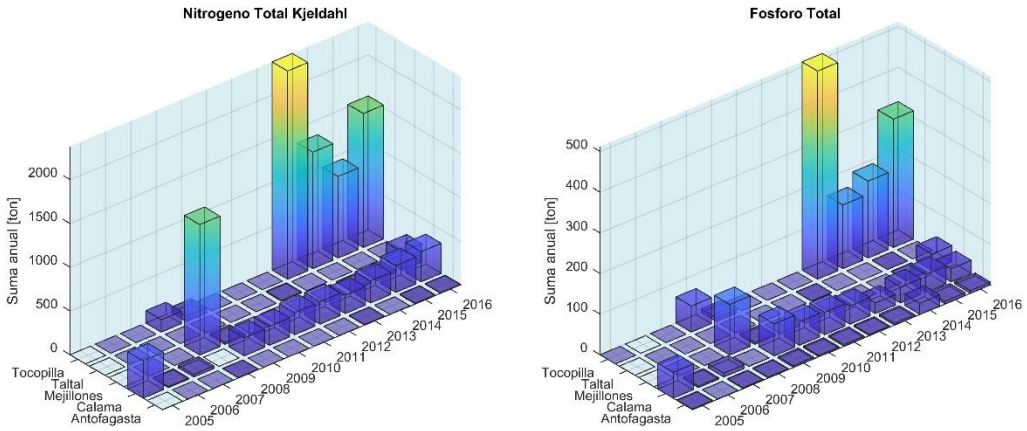


Figura 4.1-122 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de nutrientes en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla.

g) Parámetros físicos

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

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

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

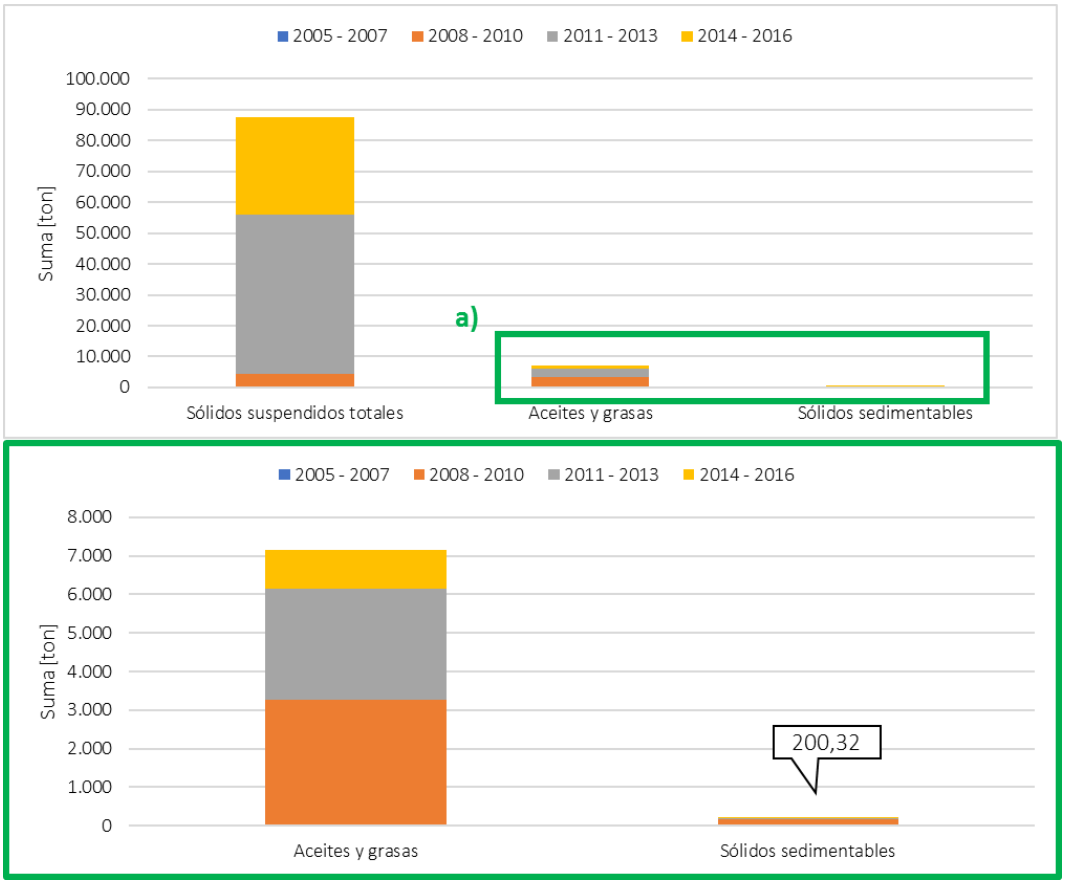


Figura 4.1-123 Masa de parámetros físicos, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

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

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

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

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

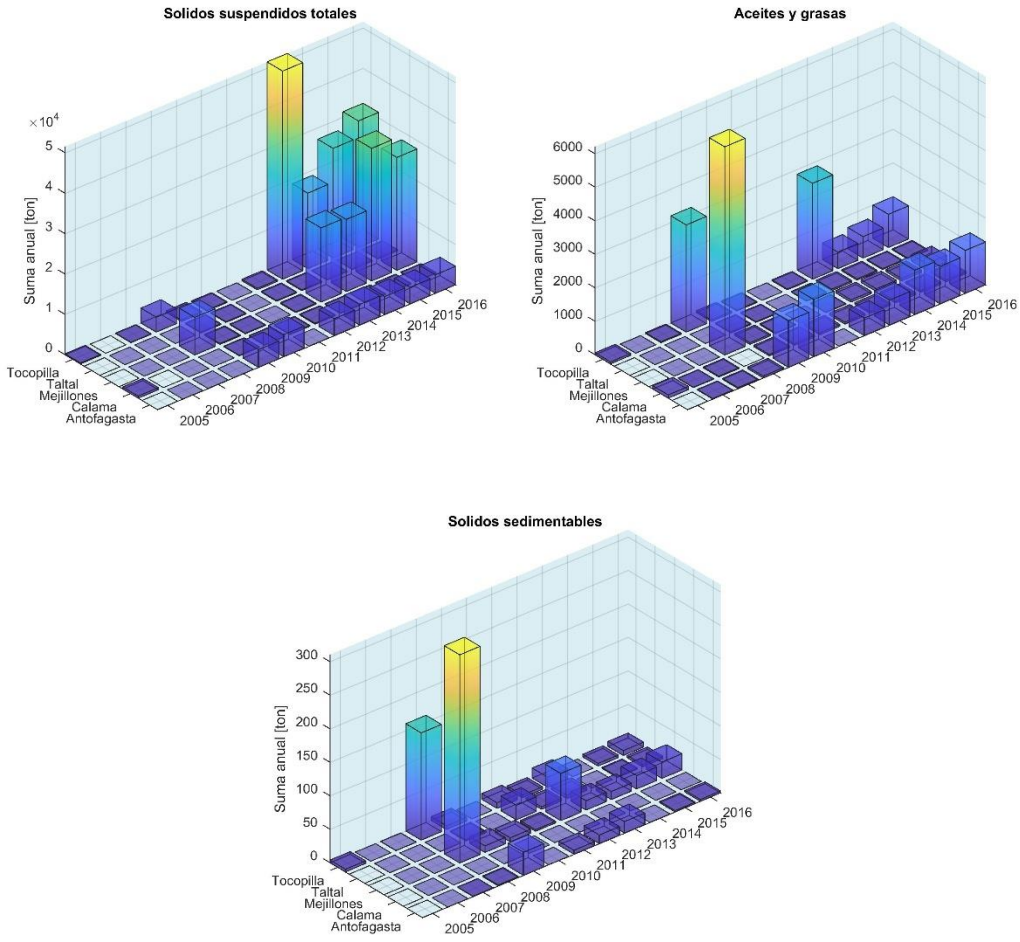


Figura 4.1-124 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de parámetros físicos en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla.

h) Otros parámetros de interés ambiental

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

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

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

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

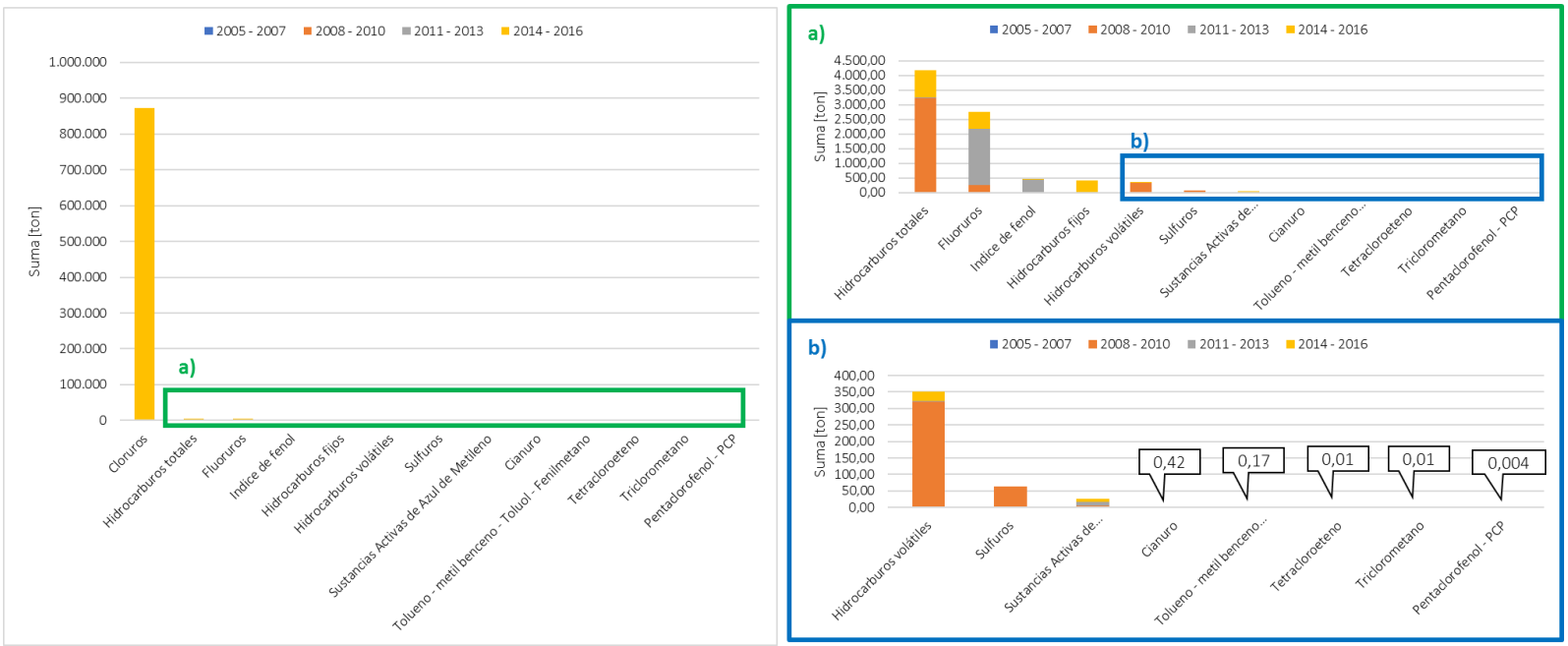


Figura 4.1-125 Masa de otros parámetros de interés ambiental, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

De los valores anteriores, se desprende lo siguiente:

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

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

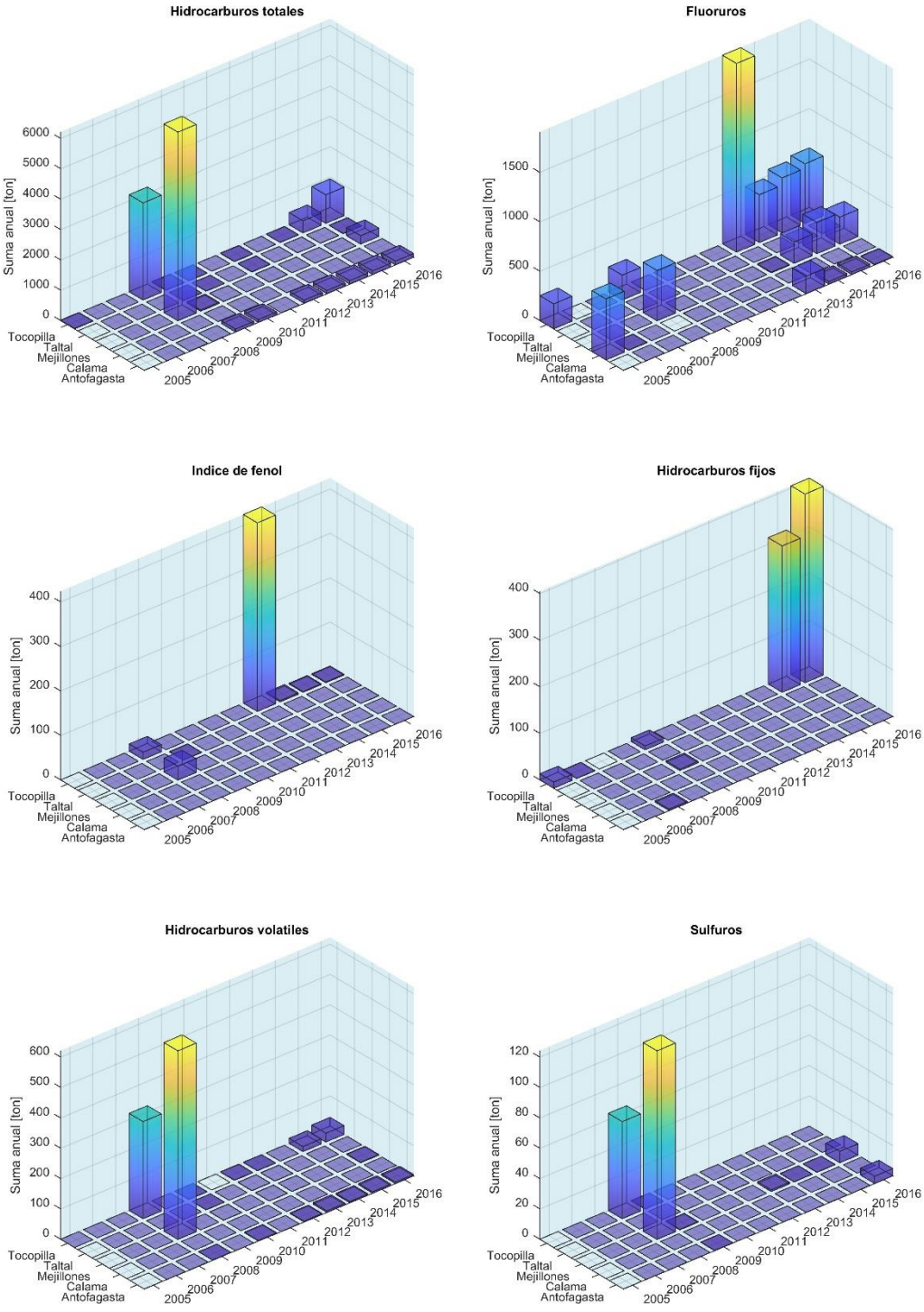


Figura 4.1-126 Comparación de emisiones a través de fuentes puntuales de otros parámetros de interés ambiental en distintas comunas costeras cercanas a Tocopilla.

viii. Caracterización de emisiones fijas de aguas residuales

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

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

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

Dado que se presentan discordancias con las fuentes emisoras entregadas por RETC, y que es información relevante en el OE-4, al implementarse en la modelación numérica que se llevará a cabo para detectar zonas de baja circulación de solutos, y que para caracterizar la descarga de solutos en la bahía se considera válida la información de descargas másicas entregada por RETC.

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

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

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

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

4.1.2 Geodatabase

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

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

4.1.3 Discusión y conclusión

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

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

En cuanto a compuestos derivados del petróleo, como los hidrocarburos, el análisis histórico no es muy complejo, debido a la que mayor parte de los registros oscilaron principalmente entre valores diversos de límites de detección, por lo que las tendencias no necesariamente están asociadas a cambios en la concentración de estos compuestos en la columna de agua a través de los monitoreos.

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

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

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

Al analizar las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en la columna de agua de la bahía, puede distinguirse algunas tendencias, una de ellas es la observada en las fracciones totales del Cobre, Cromo

y Zinc, los cuales presentan una tendencia clara de disminución con valores que descienden gradualmente desde el inicio del periodo histórico estudiado hasta los promedios mínimos anuales durante los últimos monitoreos.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2 Objetivo Específico 2 (OE-2)

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

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

Las campañas del sistema de monitoreo integrado realizadas se adjuntan en la Tabla 4.2-1. Las actividades se desarrollaron con embarcaciones, personal de apoyo y buzos de la localidad de Tocopilla.

Tabla 4.2-1: Fecha de realización de campañas de monitoreo integrado.

Campaña	Año	#	Fecha Inicio	Fecha Termino
Invierno	2018	1	04-07-2018	11-08-208
		2	08-12-2018	08-12-2018
Verano	2019	1	11-02-2019	20-02-2019
Invierno	2019	1	05-08-2019	06-08-2019
		2	08-10-2019	09-10-2019
Verano	2020	1	05-01-2020-	15-01-2020

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

En la zona submareal del área de estudio se distribuyeron 7 puntos de muestreo (TOC_1-TOC_7), en los cuales se caracterizaron las componentes ambientales; a) calidad química de la columna de agua, en dos estratos (Superficie y Fondo), b) Calidad química de los sedimentos submareales, c) Caracterización de las comunidades planctónicas (Fitoplancton, Zooplancton e Ictioplancton), d) Caracterización de las comunidades bentónicas de sustrato blando (Macroinfauna). Además, debido a la dominancia de sustratos blandos en el fondo marino del área de estudio, se definieron 3 puntos en los cuales se realizó una caracterización de las comunidades bentónicas submareales de sustrato duro, cuyas coordenadas se adjuntan en la Tabla 4.2-2.

Tabla 4.2-2: Transectos submareales de fondo duro.

Punto	Este	Norte	Sector
TSR-1	376707	7562502	Caleta Vieja
TSR-2	376691	7559575	Caleta Duendes
TSR-3	374782	7556316	Punta Algodonales

En la zona intermareal del área de estudio se distribuyeron 18 puntos de muestreo. En 6 puntos se evaluó la calidad química de los sedimentos (SED_1-SED_6). En 6 puntos se

caracterizaron las comunidades bentónicas intermareales de sustrato blando (TIB_1-TIB_6). En 6 puntos se caracterizaron las comunidades intermareales de sustrato duro (TIR_1-TIR_6).

La ubicación y descripción de cada uno de los puntos de muestreo considerados en el diseño experimental, se presenta en la Figura 4.2-1 y Tabla 4.2-3, respectivamente.

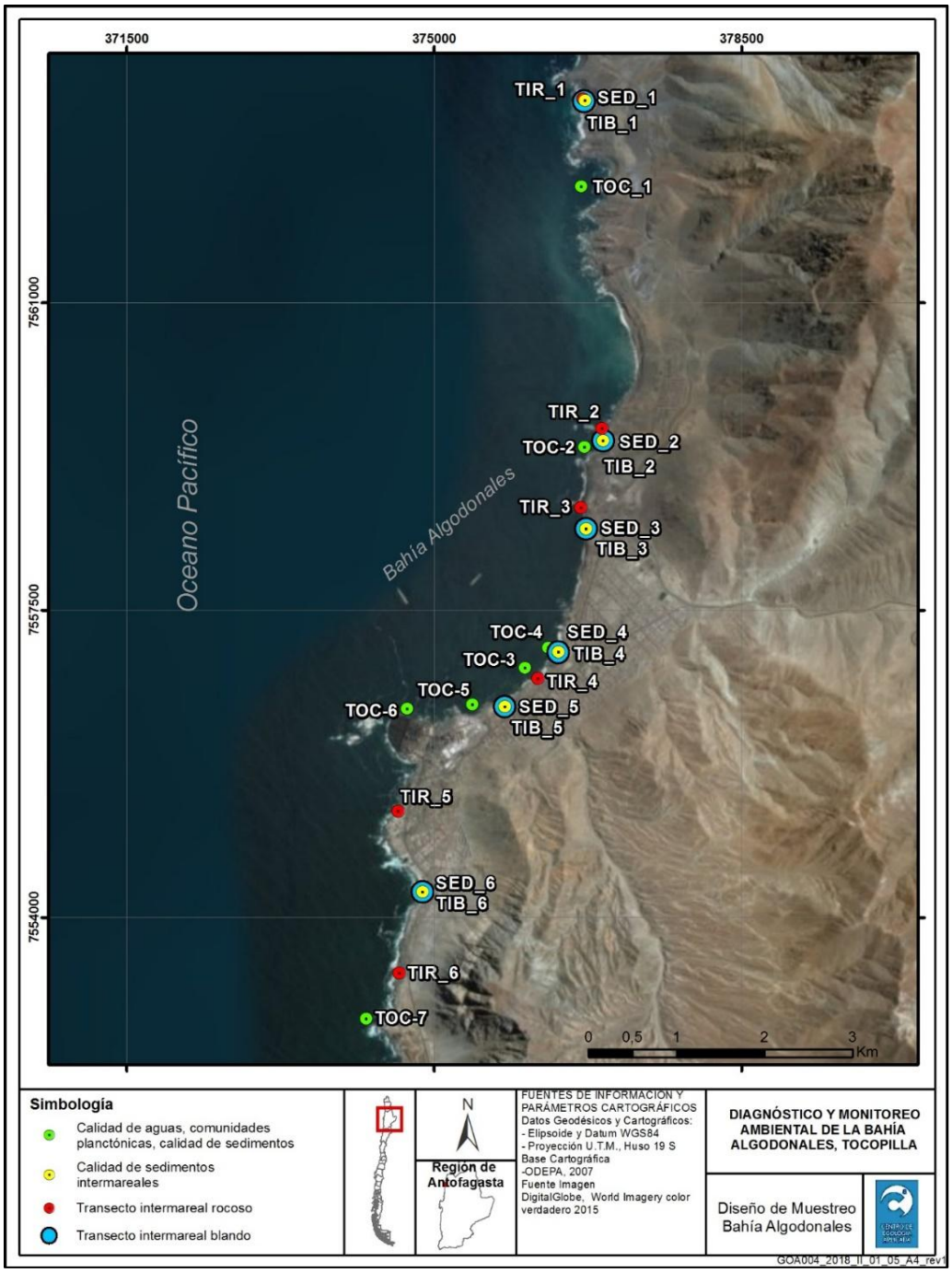


Figura 4.2-1: Ubicación de los puntos de muestreo en la columna de agua, sedimento y biota, Bahía Algodonales, Tocopilla.

Tabla 4.2-3: Ubicación y descripción de puntos de muestreo considerados en el diseño experimental.

Criterio bases técnicas/CEA	ID	Coordenadas UTM 19 K, WGS84		Componentes a muestrear
		Norte (m)	Este (m)	
Caleta Vieja; Cenizales	TOC_1	7562332	376567	Calidad química de la columna de agua (S y F), Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal, Calidad química de sedimentos submareales.
Caleta Duendes; POAL: 013-A-To	TOC_2	7559358	376711	
Planta Lixiviación; POAL: 060-S-To	TOC_3	7556847	376028	
Playa/Camping	TOC_4	7557069	376295	
RCA NORGENER; POAL: 100-S-To	TOC_5	7556422	375432	
Punta Algodonales: POAL: 110-S-To	TOC_6	7556373	374690	
LIPESED	TOC_7	7552846	374223	
Caleta Vieja; Cenizales	SED_1	7562569	377006	Calidad química de sedimentos intermareales
Caleta Duendes	SED_2	7559431	376922	
Emisario Sanitario	SED_3	7558424	376725	
Playa/Camping	SED_4	7557022	376414	
RCA NORGENER	SED_5	7556403	375800	
Playa al sur Punta algodonales	SED_6	7554290	374863	
Caleta Vieja; Cenizales	TIR_1	7562375	376952	Biota sustrato rocoso submareal (TSR) e intermareal (TIR), metales e hidrocarburos en biota
Caleta Duendes	TIR_2	7559566	376908	
Emisario Sanitario; POAL:030-B-To	TIR_3	7558667	376664	
Playa/Camping	TIR_4	7556721	376177	
Roca al sur Punta algodonales	TIR_5	7555208	374584	
Playa al sur Punta algodonales	TIR_6	7553365	374598	
Caleta Vieja; Cenizales	TIB_1	7562567	377006	Macroinfauna intermareal
Caleta Duendes	TIB_2	7559431	376922	
Emisario Sanitario	TIB_3	7558424	376725	
Playa/Camping	TIB_4	7557022	376414	
RCA NORGENER	TIB_5	7556403	375800	
LIPESED	TIB_6	7554290	374863	

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

- **Columna de agua:** Profundidad, sólidos suspendidos, temperatura, pH, cloro libre residual, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, salinidad, turbidez, arsénico, amonio, grasas y aceites, hidrocarburos totales, nitratos, zinc, coliformes fecales y totales, cadmio, cobre, DBO_5, fósforo total, hidrocarburos alifáticos totales, clorofila (a), hierro, mercurio, plomo, vanadio, cromo, níquel, manganeso, molibdeno y selenio.
- **Sedimentos:** Granulometría, hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos totales, arsénico, cobre, cromo, mercurio, plomo, vanadio, hidrocarburos alifáticos totales, molibdeno, manganeso, níquel, zinc, cadmio, hierro, selenio y talio.
- **Biota:** Índices comunitarios y ecológicos (similitud, diversidad, uniformidad, etc.), riqueza específica, biomasa, cobertura, abundancia, antraceno, fenantreno, naftaleno, analitos en tejido animal (talio, mercurio, molibdeno, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, arsénico, selenio, vanadio, cromo y cadmio).

4.2.1.1 Campaña de invierno 2018

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

- Lanzamiento de derivadores en Sicigia-Vaciante en todos los puntos y derivadores cuadratura llenante en los puntos DER4, DER5 y DER6.
- Filmaciones de submareal rocoso.
- Intermareal duro

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

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

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

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

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

SERVICIO Meteorológico de la Armada de Chile

Jueves, 13 de septiembre de 2018 | 17:42:22

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

Estado de Puertos

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

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

Capitanía de Puerto	Estado del Puerto	Condición	Información Adicional	Fecha y Hora Local	Viento	Mar
CUARTA ZONA NAVAL - subir						
ARICA	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	SITIOS DE TPA 2B,3,4 Y SITIO 5 CERRADOS;SITIO 7 ENAPU CERRADO T.M CONAP SICA SICA CERRADOS	13/09/2018 05:52	Viento medido con instrumento Dirección 220º Intensidad 4 nudos	MAREJADA del SurWeste
PATACHE	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	TERMINALES MARÍTIMOS DE COLLAHUASI, PATACHE Y PATILLOS 1 Y 2 CERRADOS POR MAREJADAS.	13/09/2018 06:03	Viento medido con instrumento Dirección 215º Intensidad 2 nudos	MAREJADA del SurWeste
IQUIQUE	Abierto - Condiciones normales	NORMAL		13/09/2018 06:03	Viento medido con instrumento Dirección 276º Intensidad 1 nudos	MAREJADILLA del SurWeste
MEJILLONES	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	TT.MM. MINERA MICHILLA INHABILITADO POR RESOLUCIÓN LOCAL.TT.MM CENTINELA CERRADO POR AVISO DE MAREJADAS VIGENTES. RESTO DE LA BAHÍA CONDICIÓN NORMAL.	13/09/2018 06:25	Viento medido con instrumento Dirección 250º Intensidad 4 nudos	MAREJADILLA del NorWeste
ANTOFAGASTA	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	SE MANTIENE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO POR MAREJADAS PARA ATT, EPA Y ENEX. MUELLE MECANIZADO PUERTO COLOSO ABIERTO. ZARPE PARA NAVES MENORES SUSPENDIDO.	13/09/2018 17:25	Viento medido con instrumento Dirección 215º Intensidad 14 nudos	MAREJADA del SurWeste
TALTAL	Abierto - Condiciones normales	MAREJADAS		13/09/2018 06:00	Viento medido con instrumento Dirección 225º Intensidad 2 nudos	MAREJADA del Norte
TOCOPILLA	Cerrado Totalmente - Paralización de actividad	MAREJADAS	CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA NAVES MAYORES Y NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA. TERMINALES MARÍTIMOS. PARALIZACIÓN DE FAENAS PORTUARIAS Y DE BUCEO.	13/09/2018 06:25	Viento medido con instrumento Dirección 054º Intensidad 4 nudos	MAREJADA del NorEste

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

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

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

Capitanía de Puerto	Estado del Puerto	Condición	Información Adicional	Fecha y Hora Local	Viento	Mar
CUARTA ZONA NAVAL » subir						
ARICA	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	SITIOS 2B, 3, 4 Y 5 DE TPA CERRADOS; SITIO 7 ENAPU CERRADO Y T.M. COMAP T T.M. SICA SICA CERRADO	07/09/2018 04:04	Viento medido con instrumento Dirección 230° Intensidad 5 nudos	MAREJADA del SurWeste
PATACHE	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	070600 . SE MANTIENE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO SEGÚN EL SIGUIENTE DETALLE: - TERMINAL MARÍTIMO COLLAHUASI. -TERMINAL MARÍTIMO PATACHE. - TERMINAL MARÍTIMO PATILLOS 2. -MANIOBRAS DE AMARRAS/CORRIDAS DE NAVES EN TERMINALES. - TRABAJOS DE CARGA EN TERMINALES. -ZARPE DE NAVES MENORES DE 25 T.A.B. DENTRO/FUERA DE LA BAHÍA. - FAENAS DE BUCEO. PUERTO ABIERTO: - TERMINAL MARÍTIMO PATILLOS 1.	07/09/2018 06:09	Viento medido con instrumento Dirección 220° Intensidad 5 nudos	MAREJADA del SurWeste
IQUIQUE	Cerrado para movimiento naves MAYORES	MAREJADAS	SE ESTABLECE CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA MANIOBRAS DE ATRAQUE DEL SITIO N° 1, 3 Y 4, SE SUSPENDEN FAENAS SITIO N° 1, 2, 3 Y 4. SE MANTIENE PUERTO ABIERTO PARA LOS TT.MM. COPEC Y ESMAX, SITIO DE ATRAQUE N° 2, NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA Y FAENAS DE BUCEO DENTRO DE LA BAHÍA.	06/09/2018 22:47	Viento medido con instrumento Dirección 277° Intensidad 3 nudos	MAREJADA del SurWeste
MEJILLONES	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	TT.MM. MINERA MICHILLA INHABILITADO POR RESOLUCIÓN LOCAL; RESTO BAHÍA CONDICIÓN NORMAL. AVISO DE MAREJAS VIGENTE DESDE EL MIERCOLES 05 DE SEPTIEMBRE HASTA EL DOMINGO 16 DE SEPTIEMBRE.	07/09/2018 05:55	Viento medido con instrumento Dirección 298° Intensidad 4 nudos	RIZADA del NorWeste
ANTOFAGASTA	Cerrado Totalmente - Paralización de actividad	MAREJADAS	SE ESTABLECE CONDICION DE PUERTO CERRADO PARA ATI, EPA Y TERMINAL MARITIMO ENEX, TERMINAL MARITIMO DE COLOSO SE MANTIENE ABIERTO Y ZARPE NAVES MENORES SUSPENDIDO.	07/09/2018 06:23	Viento medido con instrumento Dirección 245° Intensidad 10 nudos	MAREJADA del SurWeste
TALTAL	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	puerto abierto pero con marejadas vigentes	07/09/2018 05:51	Viento medido con instrumento Dirección 025° Intensidad 1 nudos	CALMA (sin dirección).
TOCOPILLA	Cerrado Totalmente - Paralización de actividad	MAREJADAS	CERRADO PARA NAVES MAYORES, NAVES MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA, PARALIZACIÓN DE FAENAS PORTUARIAS Y DE BUCEO Y TERMINALES MARÍTIMOS.	07/09/2018 05:49	Viento medido con instrumento Dirección 260° Intensidad 6 nudos	RIZADA del SurWeste

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

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

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

- **Calidad fisicoquímica de agua y sedimento submareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en la bahía en estaciones TOC-01@07; En estación TOC-06 no se obtuvo muestra de sedimento submareal debido a fondo rocoso. Se realizaron varios intentos sin éxito.

- **Calidad fisicoquímica de sedimento intermareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos de sedimento marino en la bahía en las estaciones SED-1@6.
- **Parámetros fisicoquímicos en la vertical:** Lance de sonda CTD en estaciones TOC-1@7 para el muestreo de la columna vertical de agua de los parámetros temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial RedOx y turbidez.
- **Correntometría euleriana:** Instalación de ADCP para el muestreo de corrientes en la vertical durante un periodo de 30 días. El instrumento se fondeó el 05 de agosto del 2018 a una profundidad aproximada de 16 metros.
- **Correntometría lagrangiana:** Lance de derivadores en 6 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 TOC-01@07
- **Comunidades bentónicas:** Videos submareales para caracterización de comunidades bentónicas submareales de fondo duro en puntos TSR-01@03; Muestreo de comunidades bentónicas submareales de fondo blando en estaciones TOC-01@07; Muestreo de comunidades bentónicas intermareales de fondo blando en estaciones TIB-01@06.

4.2.1.1.1 Cuerpo de agua

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

Mediante el lance de una sonda CTD en las estaciones de monitoreo TOC-1 a TOC-7, se pudo medir algunos parámetros fisicoquímicos de la columna vertical de agua. A continuación, se presentan los gráficos de temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial RedOx y turbidez, obtenidos en la campaña de invierno de 2018.

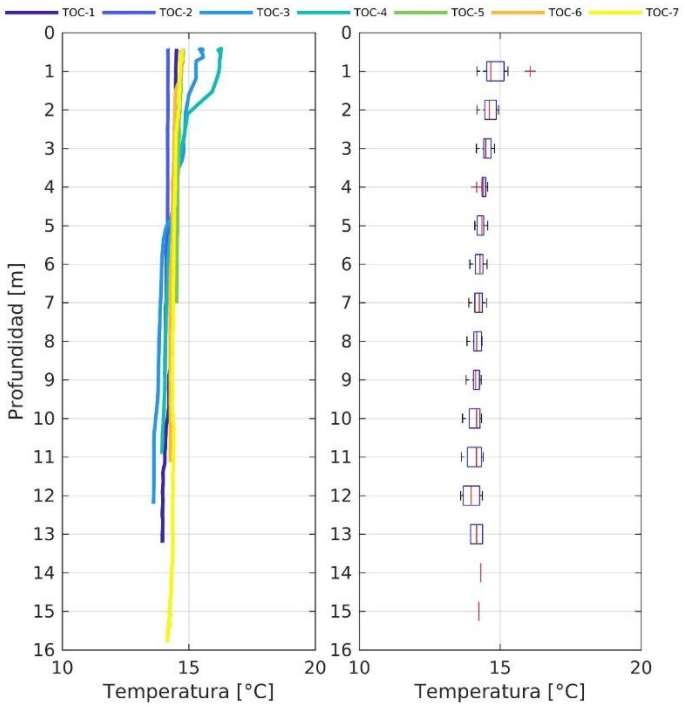


Figura 4.2-5: Temperatura en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2018.

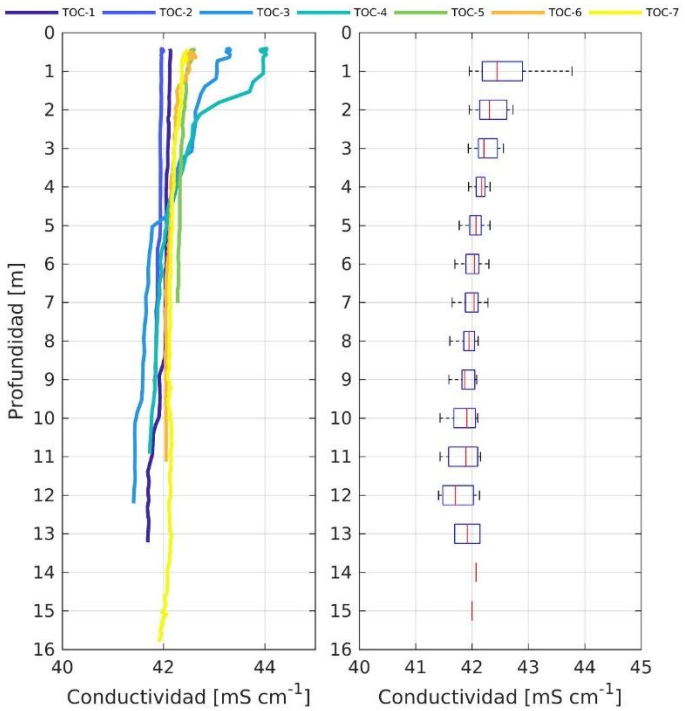


Figura 4.2-6: Conductividad eléctrica en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2018.

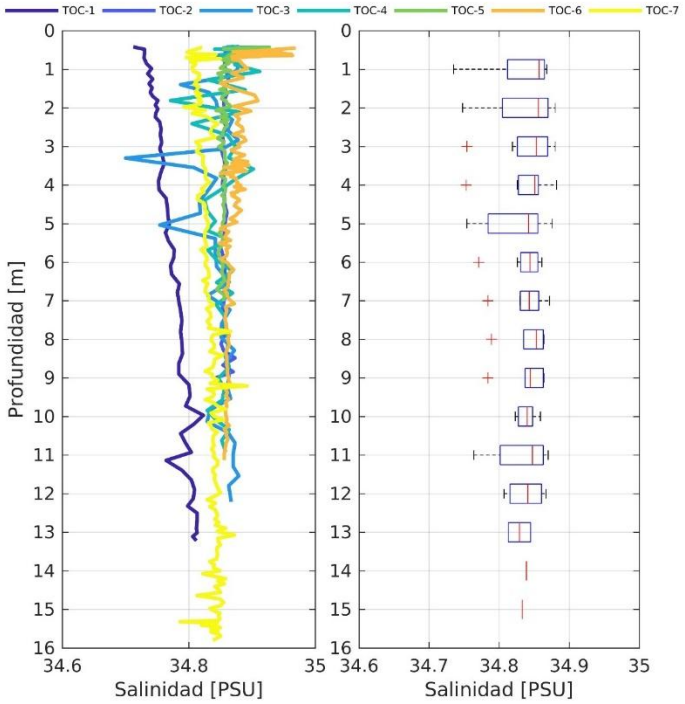


Figura 4.2-7: Salinidad en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2018.

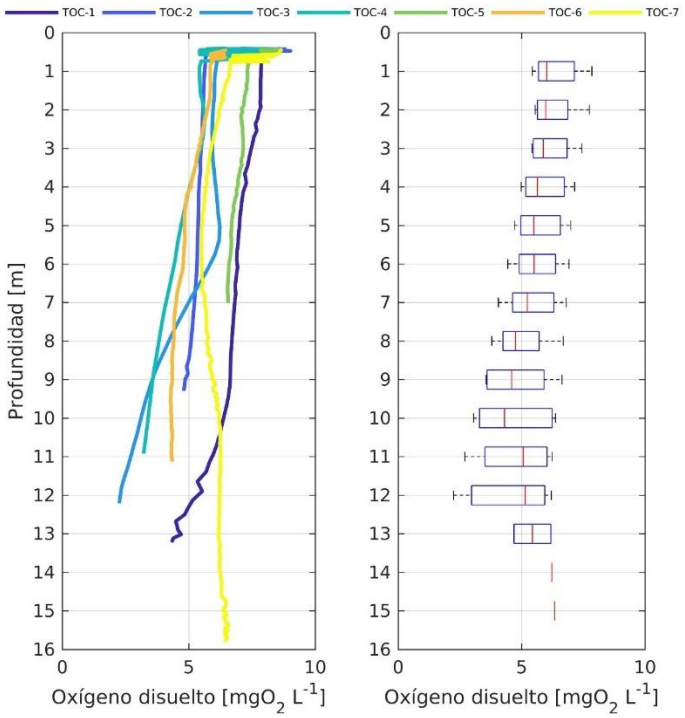


Figura 4.2-8: Oxígeno disuelto en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2018.

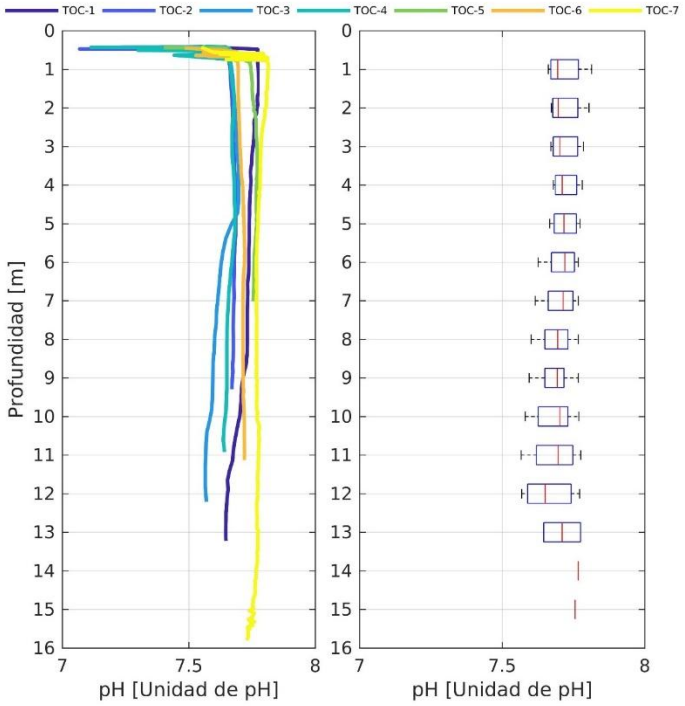


Figura 4.2-9: pH en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2018.

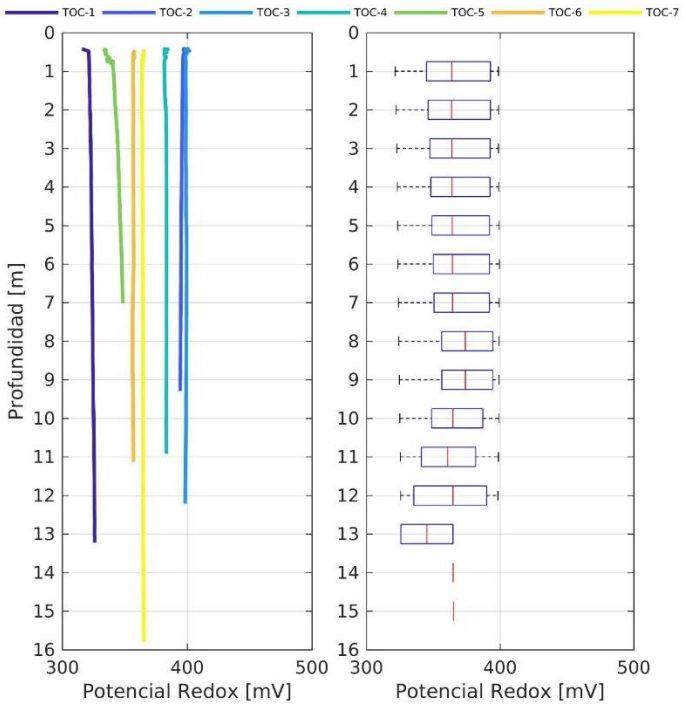


Figura 4.2-10: Potencial Redox en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2018.

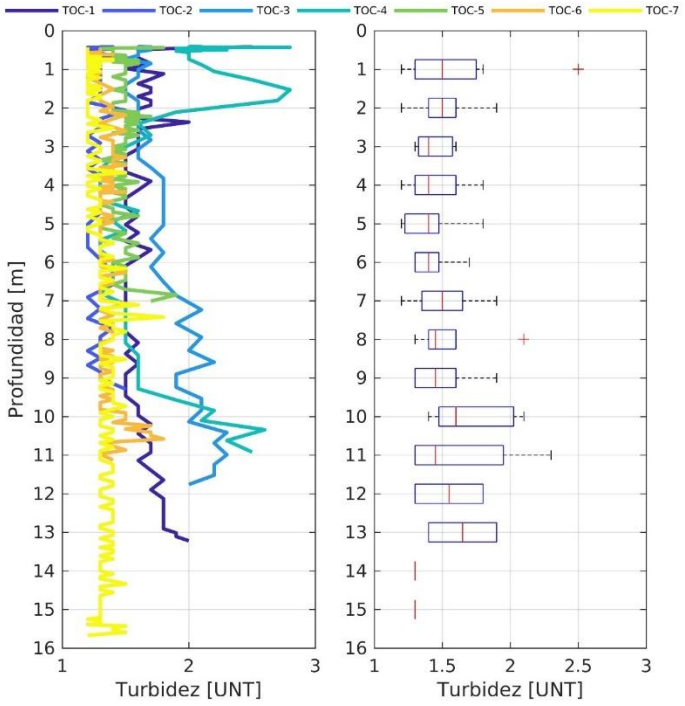


Figura 4.2-11: Turbidez en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2018.

Las aguas de Bahía Algodonales presentaron valores de conductividad eléctrica homogéneos entre los puntos de muestreo submareales. A nivel de estratos, el superficial presentó mayores valores con respecto al estrato profundo (Tabla 4.2-4). La salinidad fue similar entre puntos de muestreo y estratos, con valores esperados para agua marina (mínimo=34,78 g/l y máximo=34,91 g/l) (Tabla 4.2-4).

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

Las aguas fueron moderadamente alcalinas, con variaciones en ambos estratos de 7,6 a 7,8. Valores que están dentro de los límites establecidos en la EPA (2009) y CCME (2007) (Tabla 4.2-4).

La temperatura varió entre 14 °C y 16°C en el estrato superficial de los puntos submareales y de manera similar en el estrato profundo las temperaturas estuvieron entre 14°C y 15°C (Tabla 4.2-4).

Los valores de potencial redox fueron propios de ambientes que favorecen las reacciones de oxidación, con valores entre 116,.7 y 192,4 mV en el estrato superficial y con variaciones

de 118,2 y 190,3 mV que en el estrato profundo. Espacialmente los 2 estratos, presentaron el mismo patrón aumentando desde TOC-1 a TOC-3 para luego disminuir hacia los puntos ubicados al sur de la bahía (Tabla 4.2-4).

Tabla 4.2-4: Parámetros in situ medidos en la campaña de invierno 2018. Bahía de Algodonales.

Punto de muestreo	Temperatura	Conductividad Eléctrica	Salinidad	O2	pH	Potencial Redox	Turbidez
	°C	mS/cm	g/L	mg/l	-	mV	NTU
TOC1-S	14,50	42,19	34,78	7,40	7,78	116,72	1,63
TOC1-F	13,96	41,70	34,81	4,23	7,65	118,23	1,91
TOC2-S	14,18	41,96	34,87	6,22	7,57	189,40	1,28
TOC2-F	14,05	41,83	34,86	4,73	7,67	186,78	1,34
TOC3-S	15,39	43,16	34,87	6,27	7,62	192,43	1,62
TOC3-F	13,61	41,42	34,87	2,21	7,56	190,30	3,50
TOC4-S	16,23	43,98	34,87	6,01	7,59	176,69	2,08
TOC4-F	13,95	41,74	34,86	3,12	7,64	175,44	3,14
TOC5-S	14,75	42,54	34,87	7,58	7,65	129,73	1,40
TOC5-F	14,52	42,29	34,85	6,38	7,76	141,07	1,68
TOC6-S	14,69	42,52	34,91	6,01	7,59	150,39	1,28
TOC6-F	14,27	42,05	34,86	4,23	7,72	149,49	1,51
TOC7-S	14,77	42,49	34,82	6,75	7,78	157,40	1,20
TOC7-F	14,22	41,98	34,84	6,31	7,75	157,73	1,30
CMC (Agudo) EPA,2009	-	-	-	-	-	-	-
CCC (crónico) EPA,2009	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-
CCME, 2007	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-

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

El molibdeno y el vanadio registraron concentraciones cuantificables en la mayoría de los puntos de muestreo (Tabla 4.2-5 y Tabla 4.2-6). El molibdeno no presentó diferencias entre estratos, la variación en el estrato superficial fue de <0,003 mg/l en TOC-3 (planta de lixiviación) y el resto de los puntos entre 0,008 mg/l y 0,009 mg/l, mientras que en el estrato de fondo las concentraciones estuvieron entre 0,007 mg/l y 0,009 mg/l.

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

Tabla 4.2-5: Metales disueltos medidos en la campaña de invierno 2018 en puntos de muestreo TOC1, TOC2, TCO3 y TOC4, en Bahía Algodonales.

Variable	TOC-1	TOC-1	TOC-2	TOC-2	TOC-3	TOC-3	TOC-4	TOC-4	EPA 2009	EPA 2009
	S	F	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/	CCC (crónico) mg/l
Arsénico	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,04	0,0088
Cobre	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	<0,003	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	<0,002	<0,002	0,004	0,01	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,003	0,01	0,01	0,01	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,074	0,0082
Plomo	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,21	0,0081
Selenio	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,29	0,071
Vanadio	0,21	0,208	0,213	0,217	0,218	0,211	<0,008	<0,008	-	-
Zinc	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,09	0,081

(-) normativa no estable concentración límite. Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002);Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002).

Tabla 4.2-6: Metales disueltos medidos en la campaña de invierno 2018 en puntos de muestreo TOC5, TOC6 y TOC7, en Bahía Algodonales.

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

(-) normativa no estable concentración límite. Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002);Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002).

En la Tabla 4.2-7 se adjuntan los valores de concentración de otros parámetros de interés ambiental para los puntos de muestreo TOC-1@7. Se destaca que los aceites y grasas y los hidrocarburos totales presentaron valores bajo los límites de detección, mientras que los coliformes fecales tuvieron valores entre <1,8 (NMP/100ml) y 240 (NMP/100ml), estando muy por debajo del límite del Decreto Supremo 144/2009 (1000 NMP/100ml). En tanto, la concentración de clorofila a da cuenta de un estado oligotrófico-mesotrófico a lo largo de la bahía, por lo que no se presentaron registro de eutroficación presente en ninguno de los puntos de medición[1].

Tabla 4.2-7: Otros parámetros de interés en estrato superficial y de fondo, bahía Algodonales, Tocopilla. Campaña invierno 2018.

Parámetro	Estrato	Punto de muestreo						
		TOC-01	TOC-02	TOC-03	TOC-04	TOC-05	TOC-06	TOC-07
Aceites y grasas (mg/l)	Fondo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Superficie	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Clorofila a (mg/mg3)	Fondo	1,33	1,61	1,03	0,51	1,23	0,57	0,69
	Superficie	0,84	0,95	0,99	0,72	0,89	0,9	0,7
Coliformes fecales (NMP/100ml)	Fondo	<1,8	240	79	7,8	11	79	<1,8
	Superficie	<1,8	17	<1,8	<1,8	<1,8	33	<1,8
Hidrocarburos totales (mg/l)	Fondo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Superficie	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

4.2.1.1.2 Calidad de sedimentos

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

La granulometría de los sedimentos de estudio se presenta en la Tabla 4.2-8 y Figura 4.2-12. El tamaño del grano de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales varía de arena muy gruesa a muy fina, con mayor predominancia de arena fina en los puntos de muestreo ubicados en caleta duendes (SED-2), emisario sanitario (SED-3) y Playa/camping (SED-4), indicando un menor flujo de energía, condiciones que favorecen la depositación de material fino. La arena gruesa y muy gruesa se observó al norte y sur de la bahía.

[1] Smith et al. (1999). “Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems”. Environmental Pollution. 100, 179-196.

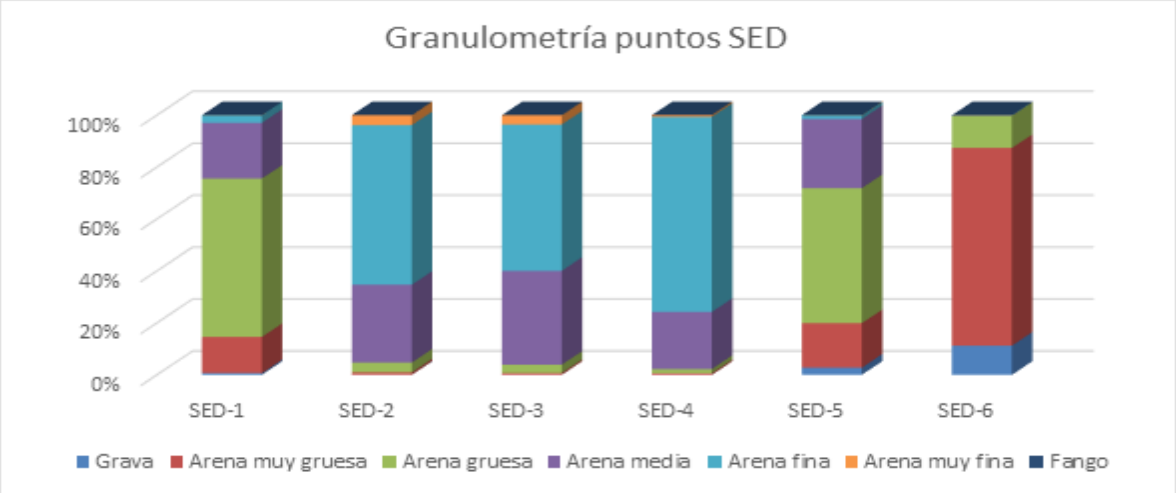


Figura 4.2-12: Granulometría en puntos de medición intermareal SED, campaña invierno 2018.

Tabla 4.2-8: Granulometría (%) de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

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

En cuanto al contenido de metales en la bahía, espacialmente las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (SED-2), emisario sanitario (SED-3), Playa/camping (SED-4) y Norgener (SED-5), indicando un menor flujo de energía en estos sectores, condiciones que favorecen la depositación. La excepción a este patrón se observó con el vanadio ya que las concentraciones de metales fueron mayores en caleta vieja (SED-1) (Tabla 4.2-9).

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

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

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		SED-01	SED-02	SED-03	SED-04	SED-05	SED-06	ISGQ	PEL
Plomo	mg/kg	0,6	15,2	29,6	**73,5**	**31,6**	0,5	30,2	112
Níquel	mg/kg	5,6	12,9	9,9	8,6	4,5	6,8	(*)	(*)
Selenio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Talio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Cadmio	mg/kg	0,1	0,1	0,4	**0,8**	0,5	0,1	0,7	4,2
Mercurio	mg/kg	0,01	0,02	0,03	0,08	0,03	0,01	0,13	0,7
Manganeso	mg/kg	-	-	-	-	-	-	(*)	(*)

(*) Normativa no establece límite de referencia.
Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002)
Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002)

La concentración de hierro varió entre 13954,0 mg/kg a 250903,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y SED-4 (playa camping), respectivamente. la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-9).

La concentración de cobre varió entre 75,0 mg/kg en SED-1 (caleta vieja) y 21581,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando en todos los puntos el criterio ISGQ y la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) en SED-2, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-9).

La concentración de zinc varió entre 11,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 8090,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-9).

La concentración de arsénico varió entre 1,3 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y 917,4 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-9).

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

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

La concentración de plomo varió entre 0,5 mg/kg en SED-6 (caleta vieja, cenizales) y 73,5 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando el criterio ISGQ correspondiente a 30,2 mg/kg en este último punto (Tabla 4.2-9).

La concentración de cadmio varió entre 0,1 mg/kg en SED-1 (playa al sur de algodonales) y SED-2 (caleta duendes) a 0,8 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando el criterio ISGQ correspondiente a 0,7 mg/kg en este último (Tabla 4.2-9).

Así, considerando las muestras en cada uno de los puntos SED, para la bahía se obtuvo que los metales con mayor presencia en los sedimentos superficiales intermareales fueron el hierro (106911,2± 84768,9 mg/kg), cobre (6766,0 ± 8104,4mg/kg) y zinc (2479,8 ± 3066,1 mg/kg). Seguido de molibdeno (394,5 ± 375,4 mg/kg), arsénico (333,9 ± 355,6 mg/kg) y vanadio (157,8 ± 142,9 mg/kg) (Tabla 4.2-10).

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

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

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

El tamaño del grano de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales varió de grava a arena muy fina, con mayor predominancia de arena fina y muy fina. La arena gruesa y muy gruesa se observó al sur de la bahía, específicamente en el punto TOC-7 (Tabla 4.2-11 y Figura 4.2-13).

Tabla 4.2-11: Granulometría de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

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

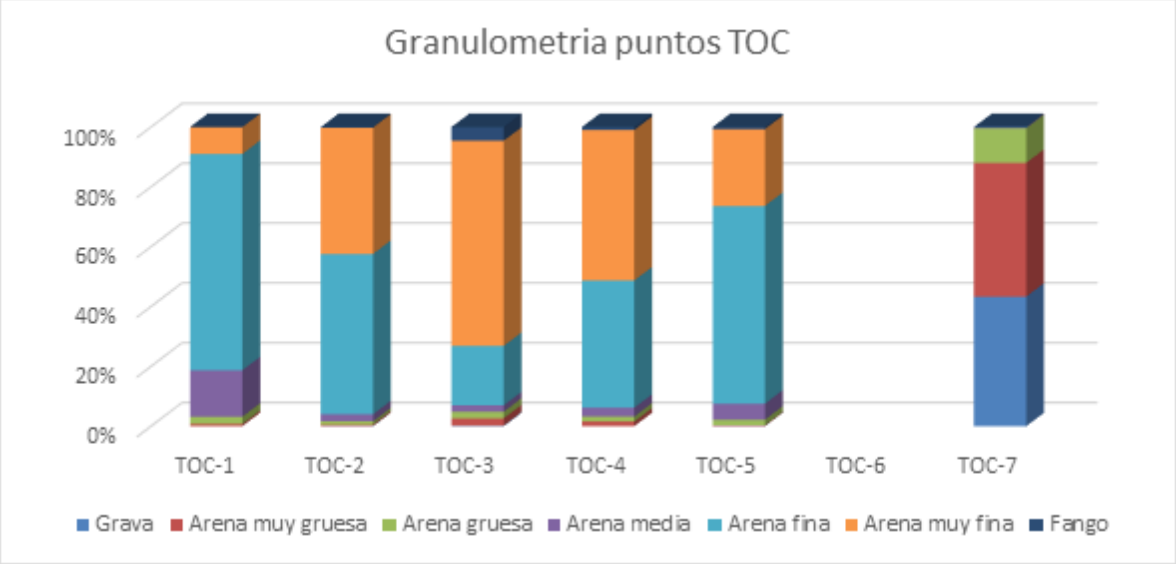


Figura 4.2-13: Granulometría en puntos de medición intermareal TOC.

En cuanto al contenido de metales en los puntos de medición intermareal TOC, la concentración de hierro varió entre 17328,0 mg/kg y 151753,0 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja-cenizales) y TOC-2 (caleta duendes), respectivamente. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12).

Tabla 4.2-12: Concentración de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		TOC-01	TOC-02	TOC -03	TOC -04	TOC -05	TOC-7	ISGQ	PEL
Hierro	mg/kg	17328,0	151753,0	75889,0	78918,0	56056,0	79352,0	(*)	(*)
Cobre	mg/kg	68,9	**3560,4**	**4503,4**	**3272,9**	**989,3**	**6078,7**	18,7	108
Zinc	mg/kg	20,0	**3619,0**	**454,0**	**1029,0**	**471,0**	38,0	124	271
Molibdeno	mg/kg	5,0	735,0	154,0	399,0	172,0	110,0	(*)	(*)
Manganeso	mg/kg	51,0	217,0	333,0	314,0	179,0	72,0	(*)	(*)
Vanadio	mg/kg	138,5	129,1	198,8	150,5	131,7	148,1	(*)	(*)
Arsénico	mg/kg	2,5	**419,3**	**51,9**	**136,3**	**61,8**	**181,2**	7,24	41,6

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		TOC-01	TOC-02	TOC -03	TOC -04	TOC -05	TOC-7	ISGQ	PEL
Cromo	mg/kg	9,0	48,5	25,1	23,8	15,4	**117,2**	52,3	160
Níquel	mg/kg	3,5	9,1	17,8	15,5	14,1	84,3	(*)	(*)
Plomo	mg/kg	0,6	26,4	13,1	18,5	18,9	11,5	30,2	112
Selenio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Talio	mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	(*)	(*)
Cadmio	mg/kg	0,1	**1,4**	0,1	0,2	0,1	0,1	0,7	4,2
Mercurio	mg/kg	0,01	0,01	0,06	0,04	0,01	0,01	0,13	0,7

La concentración de cobre varió entre 68,9 mg/kg en TOC-1 (Caleta vieja-cenizales) y 6078,7 mg/kg en TOC-7 (LIPESED), superando , a excepción de TOC-1, la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002)) (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12).

La concentración de zinc varió entre 20,0 mg/kg en TOC-1 (Caleta vieja-cenizales) y 3619,0 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=108 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos TOC-02, TOC-3, TOC-4 y TOC-5) (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12).

La concentración de arsénico varió entre 2,5 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja, cenizales) y 419,3 mg/kg en TOC-2 (Caleta Duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos TOC-02, TOC -3, TOC -4, TOC-5 y TOC-7 (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12).

La concentración de vanadio varió entre 129,1 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes) y 198,8 mg/kg en TOC-3 (planta lixiviación), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12).

La concentración de cromo varió entre 9,0 mg/kg en TOC-1 (Caleta vieja-cenizal) y 117,2 mg/kg en TOC-7 (LIPESED), superando el criterio ISGQ correspondiente a 52,3 mg/kg en TOC-7 (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12).

La concentración de plomo varió entre 0,6 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y 26,4 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 30,2 mg/kg (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12).

La concentración de cadmio varió entre 0,1 mg/kg en TOC-1, TOC-3, TOC-5 y TOC-7 a 1,4 mg/kg TOC-2 (Caleta duendes), superando el criterio ISGQ correspondiente a 0,7 mg/kg en este último punto (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12).

Luego, de considerar todas las mediciones realizadas en los puntos TOC se destaca que, los metales con mayor presencia en los sedimentos submareales fueron el hierro (76549,3 ±

43810,1 mg/kg), cobre (3078,9 ± 2223,7 mg/kg) y zinc (938,5 ± 1363,9 mg/kg). Seguido de molibdeno (262,5 ± 265,1 mg/kg), manganeso (194,3 ± 118,2 mg/kg), vanadio (149,5 ± 25,6 mg/kg) y arsénico (142,2 ± 150,0 mg/kg) (Tabla 4.2-10). Espacialmente las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (TOC-2), planta de lixiviación (TOC-3), Playa/camping (TOC -4) y Norgener (TOC-5) (Tabla 4.2-13 y Tabla 4.2-12). Lo cual sugiere que en estos puntos existe un menor flujo de energía, condiciones que favorecen la depositación.

Tabla 4.2-13: Concentración promedio de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Invierno 2018.

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

En la Tabla 4.2-14 se adjuntan los valores de concentración de hidrocarburos en sedimentos, tanto en el estrato intermareal (SED-1@6) como en el submareal (TOC-1@7), donde se destaca la baja concentración presente en cada uno de los puntos de muestreo, de manera tal que se encuentran bajo el límite de detección.

Tabla 4.2-14: Concentraciones de hidrocarburos en sedimentos en bahía Algodonales, Tocopilla. Campaña invierno 2018.

Punto de muestreo	Hidrocarburos alifáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos totales (mg/kg)
SED-01	<9,7	<9,7	<9,7
SED-02	<9,9	<9,9	<9,9
SED-03	<10	<10	<10
SED-04	<10	<10	<10
SED-05	<9,5	<9,5	<9,5
SED-06	<9,9	<9,9	<9,9
TOC-01	<9,4	<9,4	<9,4
TOC-02	<9,7	<9,7	<9,7

Punto de muestreo	Hidrocarburos alifáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos totales (mg/kg)
TOC-03	<9,9	<9,9	<9,9
TOC-04	<9,8	<9,8	<9,8
TOC-05	<10	<10	<10
TOC-06	-	-	-
TOC-07	<9,9	<9,9	<9,9

4.2.1.1.3 Comunidades planctónicas

i. Fitoplancton

En el análisis cualitativo de fitoplancton se registró la presencia de un total de 59 taxa, de los cuales 38 corresponden al grupo de las diatomeas y 15 taxa al grupo de los dinoflagelados (Tabla 4.2-15). La distribución espacial de fitoplancton fue heterogénea entre los puntos de muestreo, registrando índices de abundancia relativa entre "Raro" (R) a "Muy Abundante" (M). La diatomea *Chaetoceros* spp. presentó un índice de abundancia relativa "Muy Abundante" (M) en toda el área de estudio con una frecuencia de ocurrencia del 100%. Otras Diatomeas "Abundante" y "Muy Abundante" fueron *Guinardia* sp., *Coscinodiscus* spp., *Planktoniella* sp., *Coscinodiscus perforatus*, *Detonula* sp., *Bacteriastrum* sp. En cambio, en dinoflagelados los géneros *Tripos* sp. y *Protoperidinium* sp. presentaron un índice de abundancia relativa "Muy Abundante" en los puntos de muestreo TOC-6 y TOC-2.

Tabla 4.2-15 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) de la comunidad de fitoplancton obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018. R: Raro, E: Escaso, A: Abundante, MA: Muy Abundante.

Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Chaetoceros spp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Guinardia sp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	A
Coscinodiscus spp.	MA	MA	MA		MA	MA	MA
Planktoniella sp.	MA		MA	MA	MA	MA	MA
Coscinodiscus perforatus	MA	MA	MA	MA	MA	A	A
Detonula sp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	
Bacteriastrum sp.	MA		E	A	E	E	A
Planktoniella spp.		MA					
Pleurosigma sp.		MA	A			MA	E
Pennales ind.	A		E	A	MA	E	A
Stephanopyxis sp.	A	A	A	A	MA	E	
Coscinodiscus sp.				MA			
Thalasionema sp.		A	MA			A	A
Actinoptychus senarius	E			E	E		E
Actinoptychus sp.	E		R		E		
Asterionellopsis sp.			E				
Asteromphalus sp.		A	E			E	
Biddulphia sp.					R		

Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Chaetoceros curvisetus	A				A		
Chaetoceros didymus	E	A	E	E			E
Corethron sp.	E	E	R	E	E	R	E
Cylindrotheca sp.						E	
Dactyliosolen sp.		A	E			A	
Ditylum sp.	A	A	A		A	A	E
Ditylum spp.				A			
Entomoneis sp.		E	E			R	R
Grammatophora sp.	E	E	A	A	E		E
Halamphora sp		A	E			E	R
Leptocylindrus sp			A			R	
Licmophora sp.			E	E		R	
Lithodesmium sp			E				
Navicula sp.			E			E	
Plagiotropis sp	E			E			
Proboscia sp.	E	A	E	E	A	E	A
Rhizosolenia sp.	R	A			E	E	
Rhizosolenia spp.			A				
Thalassiosira sp.		E					
Trigonium sp.				R			
Dinoflagelados	**TOC-1**	**TOC-2**	**TOC-3**	**TOC-4**	**TOC-5**	**TOC-6**	**TOC-7**
Tripos muelleri	E	**A**	E	R		**A**	R
Tripos furca		**A**				**A**	
Protoperidinium depressum		E	E			**A**	
Protoperidium sp.					**A**		
Protoperidium spp.	E	E	E	E		**A**	E
Tripos lineatus		E	R			**A**	
Tripos spp.	E			E			**A**
Dinophysis acuminata	E	E				E	E
Dinophysis caudata						R	E
Tripos balechii				R			
Tripos fusus	E	E		R		E	
Tripos horridus		E				E	
Tripos limulus	E			E	R		E
Tripos pentagonus	R						
Tripos sp.					R		
Silicoflagelados	**TOC-1**	**TOC-2**	**TOC-3**	**TOC-4**	**TOC-5**	**TOC-6**	**TOC-7**
Dictyocha sp.	E		E	E	A	E	E
Dictyocha spp.		**MA**					
Tintinidos (microzooplancton)							

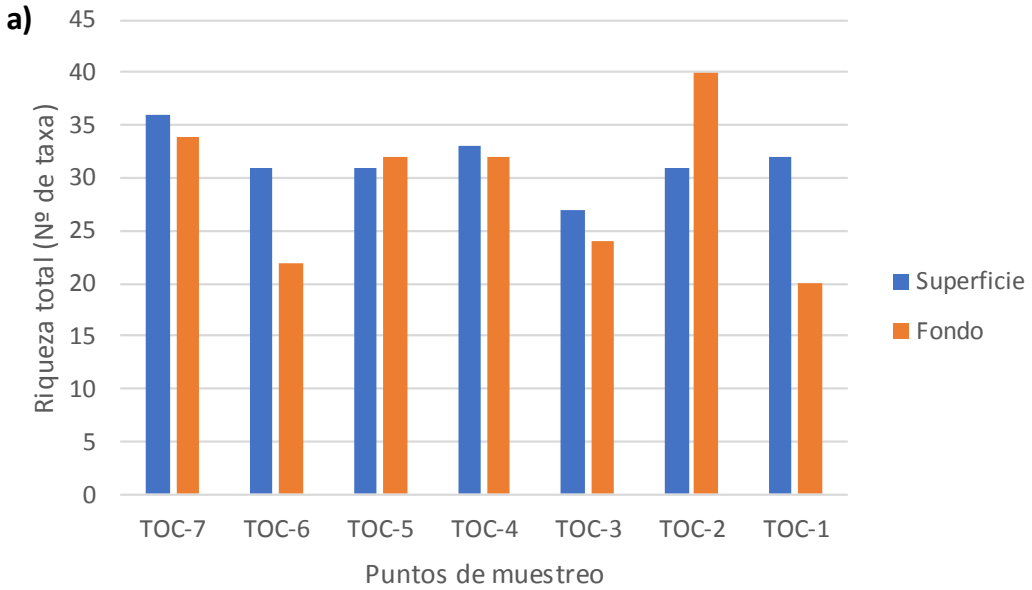
Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Tintinnopsis sp.	E	A	E	E	E	E	E
Otros grupos							
Foraminifero	E			R		R	
Rhodophyceae ind						R	
Chlorophyceae ind						R	

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

La abundancia de fitoplancton, en general, registró las mayores magnitudes en el sector norte del área de estudio (TOC-1-TOC-3) (Figura 4.2-14b).

Entre las microalgas identificadas, la diatomea *Coscinodiscus* sp. registró las mayores abundancias en toda el área de estudio (TOC-1 a TOC-7), tanto en el estrato superficial (Figura 4.2-15) como en el de fondo (Figura 4.2-16).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector sur (TOC-5) en los dos estratos, producto principalmente del mayor número de grupos taxonómicos, así como la ausencia de taxa claramente dominantes en el ensamble prospectado. En cuanto al índice de equidad (J') el valor promedio más alto también se observó en el punto TOC-05 en las dos profundidades, estos valores cercanos a 0,5 bits, nos indican dominancia de una especie la cual estaría dada por la especie *Coscinodiscus* sp. (Figura 4.2-17).



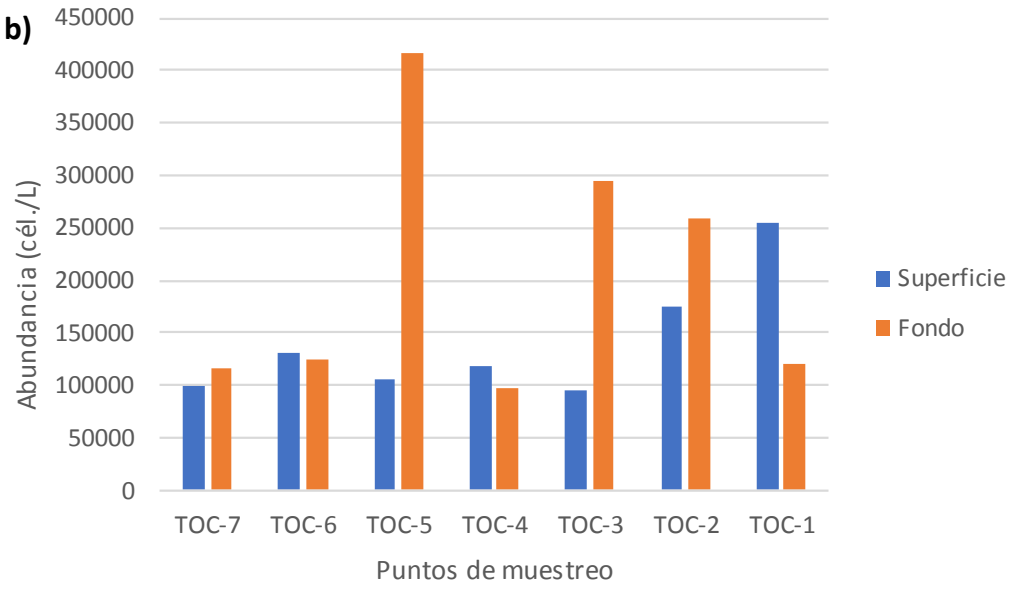


Figura 4.2-14 a) Riqueza y (b) Abundancia del Fitoplancton en dos estratos de la columna de agua (Superficie y Fondo). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

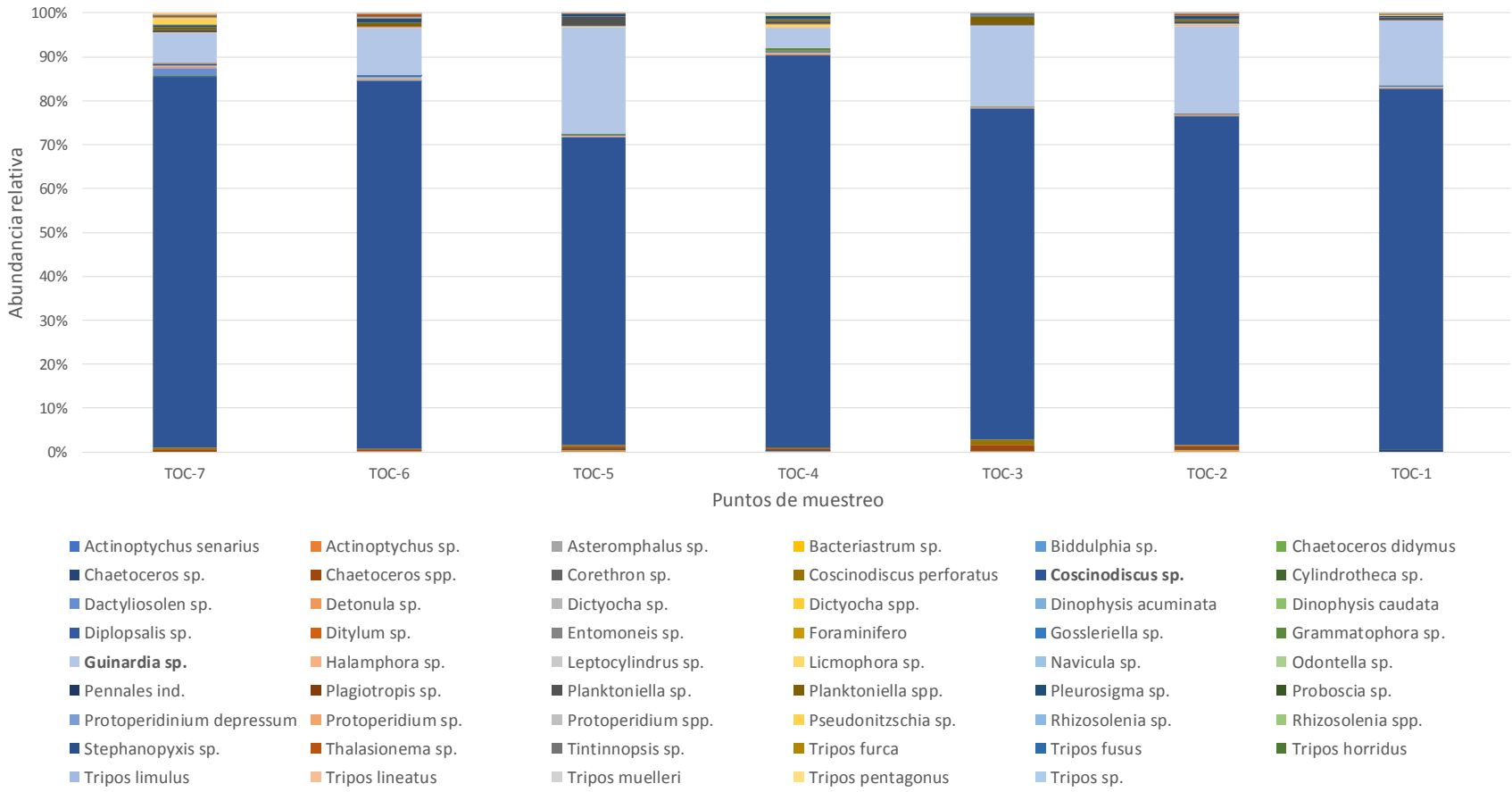


Figura 4.2-15 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato superficial de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

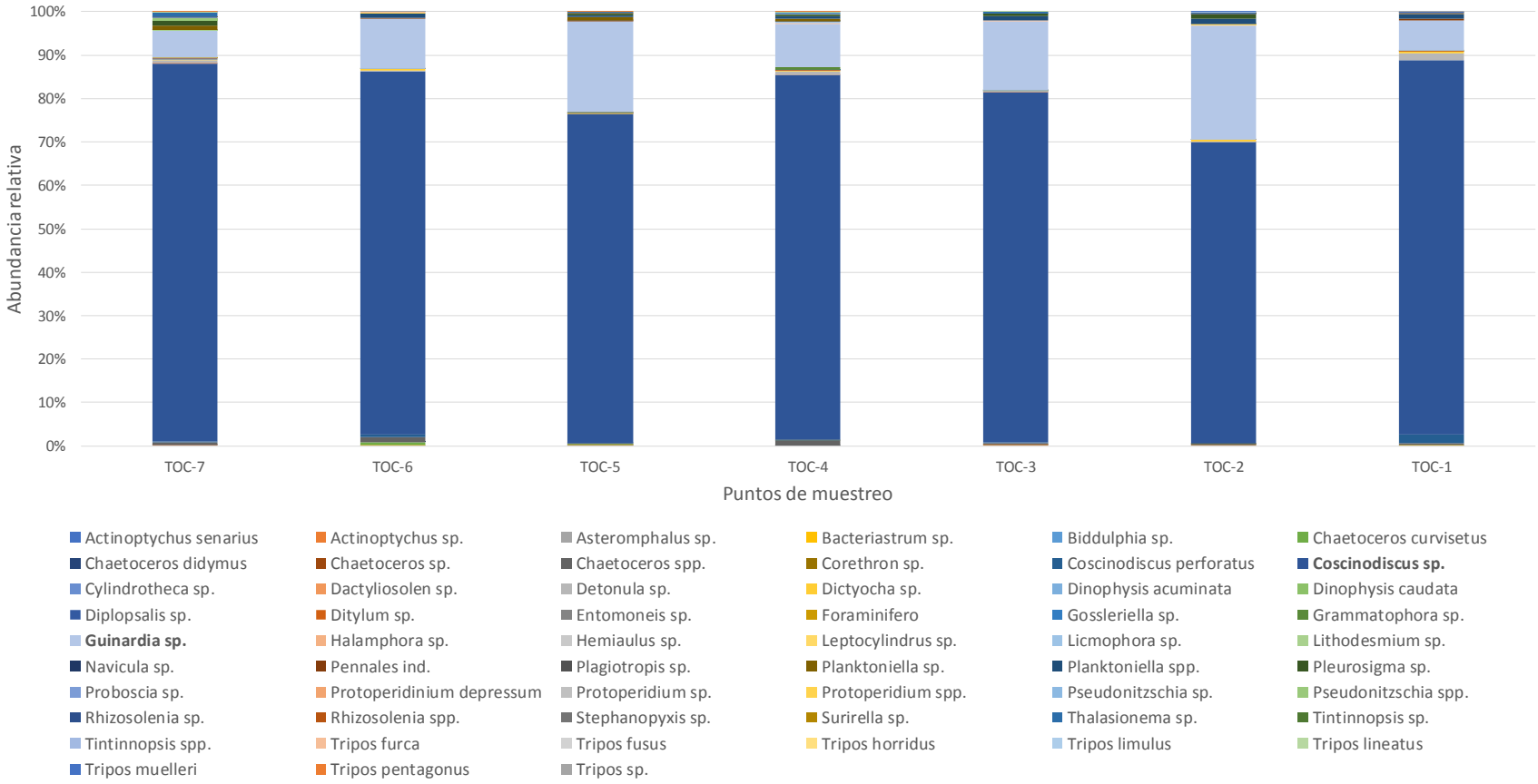


Figura 4.2-16 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato fondo de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

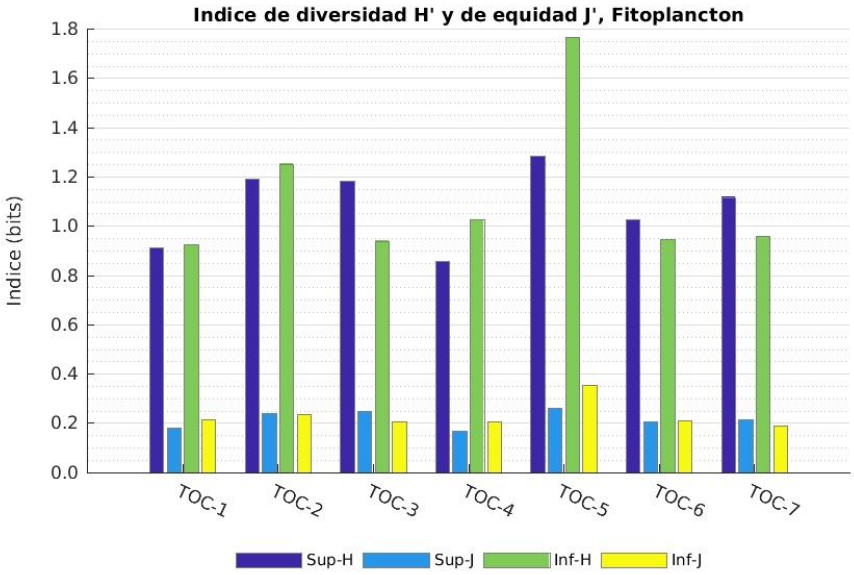


Figura 4.2-17 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades fitoplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de fitoplancton, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-18). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fitoplancton, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,806 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que las diatomeas *Coscinudiscus* sp. y *Guinardia* sp. fueron las especies que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

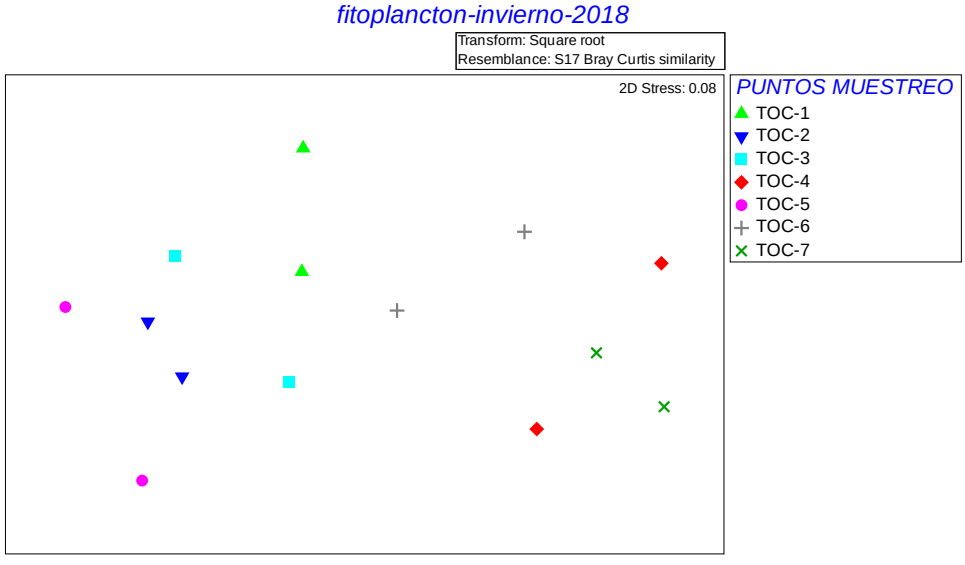


Figura 4.2-18 Análisis Escalamiento Multidimensional de fitoplancton, entre siete puntos de muestreo durante invierno 2018.

ii. Zooplancton

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

El Meroplancton registró 15 taxa. A nivel espacial, la riqueza total presentó en general un patrón homogéneo en el área de estudio (Figura 4.2-19a). En cuanto a la abundancia, las mayores magnitudes se registraron en los extremos norte y sur del área de estudio (TOC-1 y TOC-7, respectivamente) (Figura 4.2-19b).

La composición de taxa indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios y poliquetos en el área de estudio. (Figura 4.2-20).

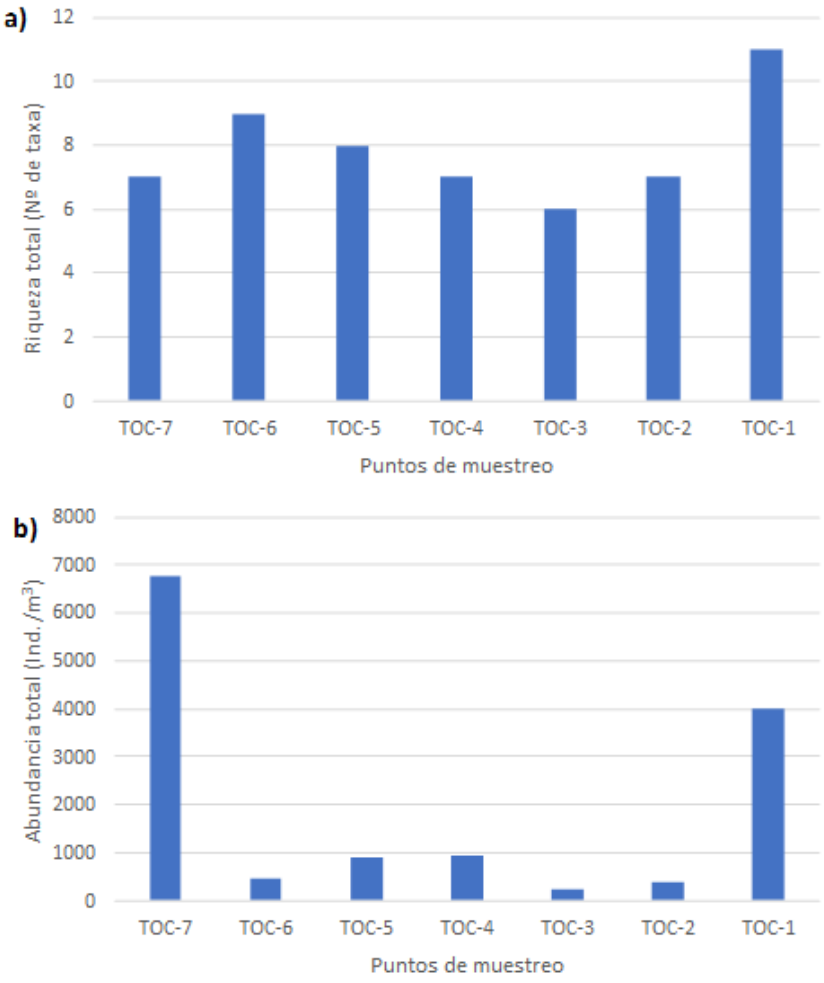


Figura 4.2-19 a) Riqueza y (b) Abundancia del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

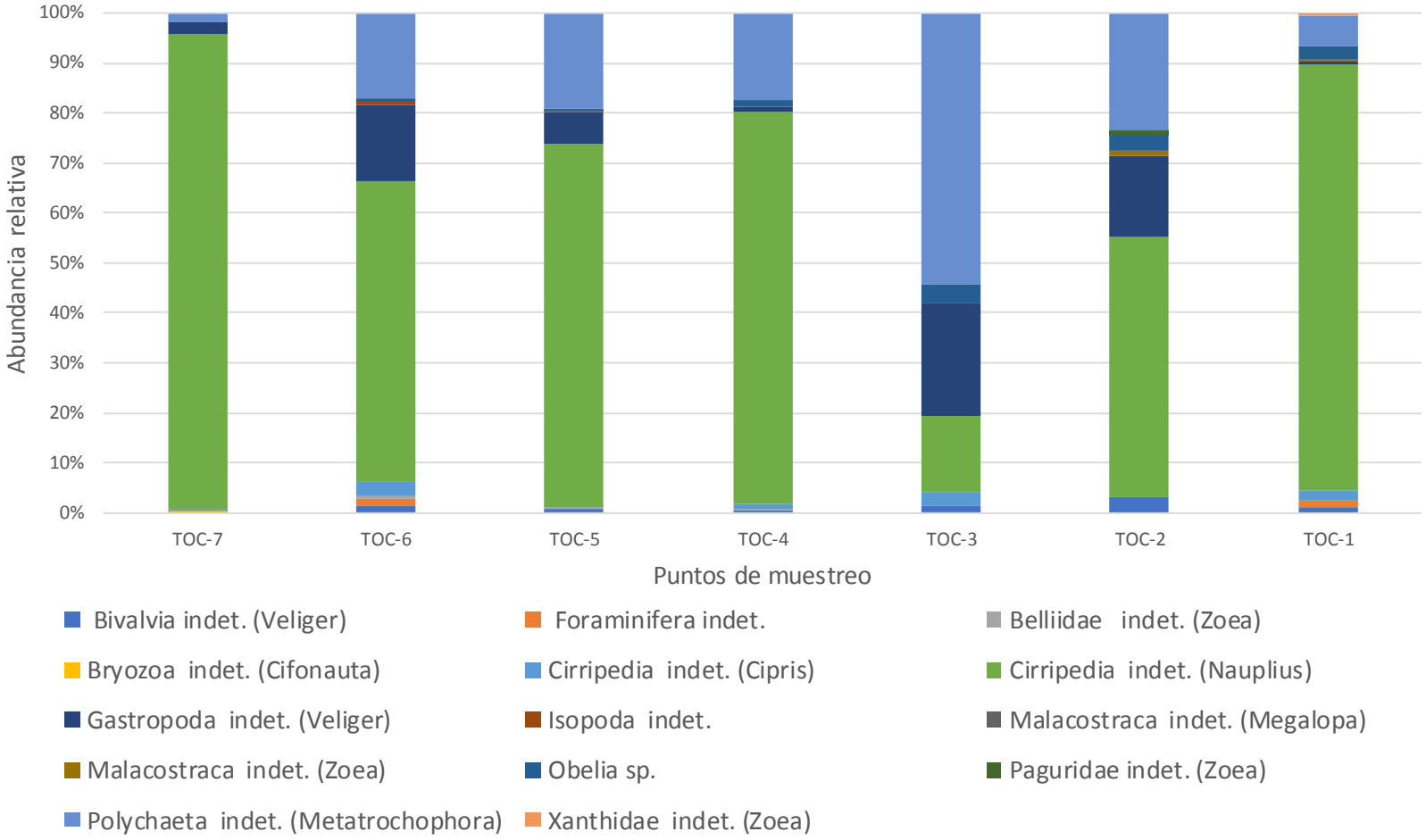


Figura 4.2-20 Abundancia Relativa (%) del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

El Holoplancton registró 16 taxa compuesto principalmente por Copépodos. A nivel espacial, en general, la riqueza total presentó un patrón homogéneo en el área de estudio (Figura 4.2-21a). En cuanto a la abundancia, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos de muestreo, observándose las mayores magnitudes en los puntos de muestreo TOC-7 y TOC-5 (Figura 4.2-21b).

Durante la campaña de invierno en el área de estudio se registró mayor presencia de copépodos. Las mayores abundancias relativas fueron registradas por los copépodos *Calanus* sp., *Oithona* sp. y *Oncaea* sp. (Figura 4.2-22).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector de la bahía (TOC-4) presentando además en todos los puntos valores sobre 2 bits. En cuanto al índice de equidad (J') el valor promedio más alto también se observó en el punto TOC-4, con valores sobre 0,5 bits en todos los puntos. Esto nos indican que el ensamble presentó una alta diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa el cual puede estar dado principalmente por el copépodo *Calanus* sp. (Figura 4.2-22).

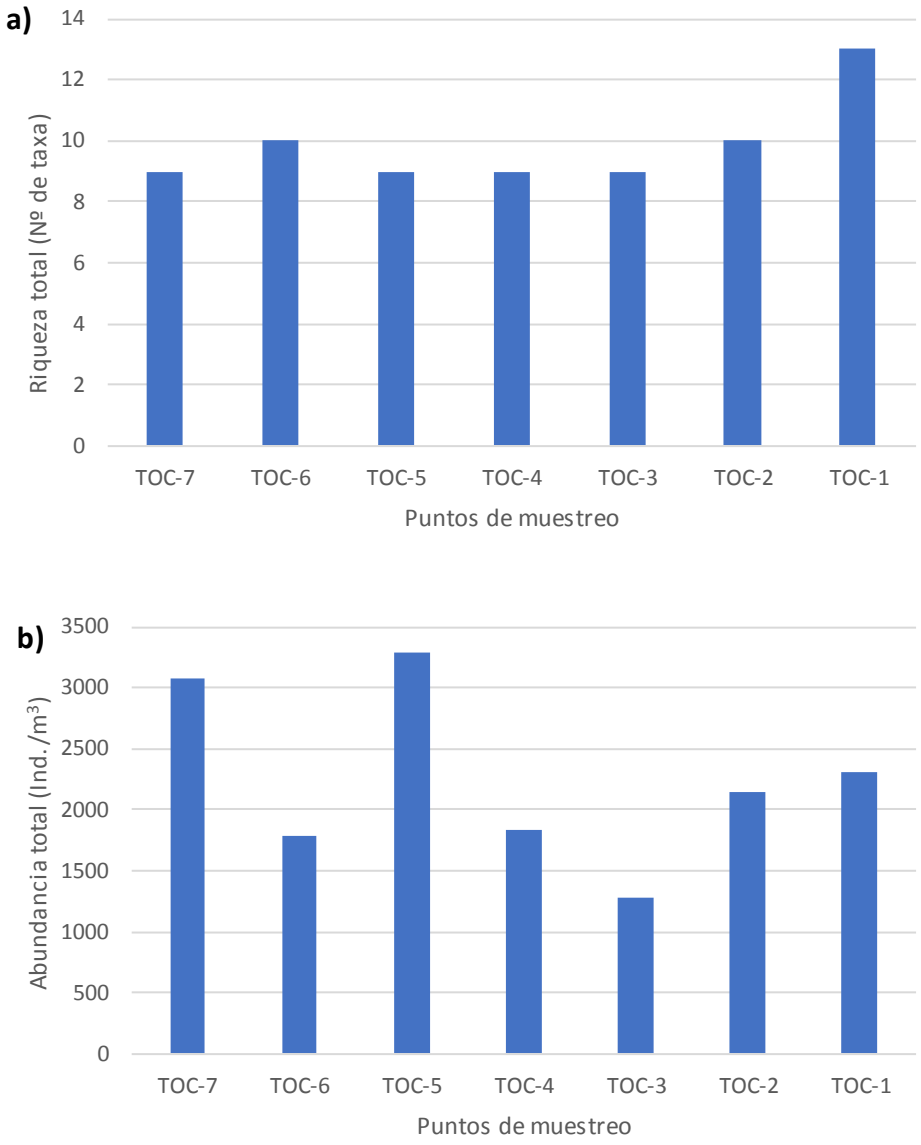


Figura 4.2-21 a) Riqueza y (b) Abundancia del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

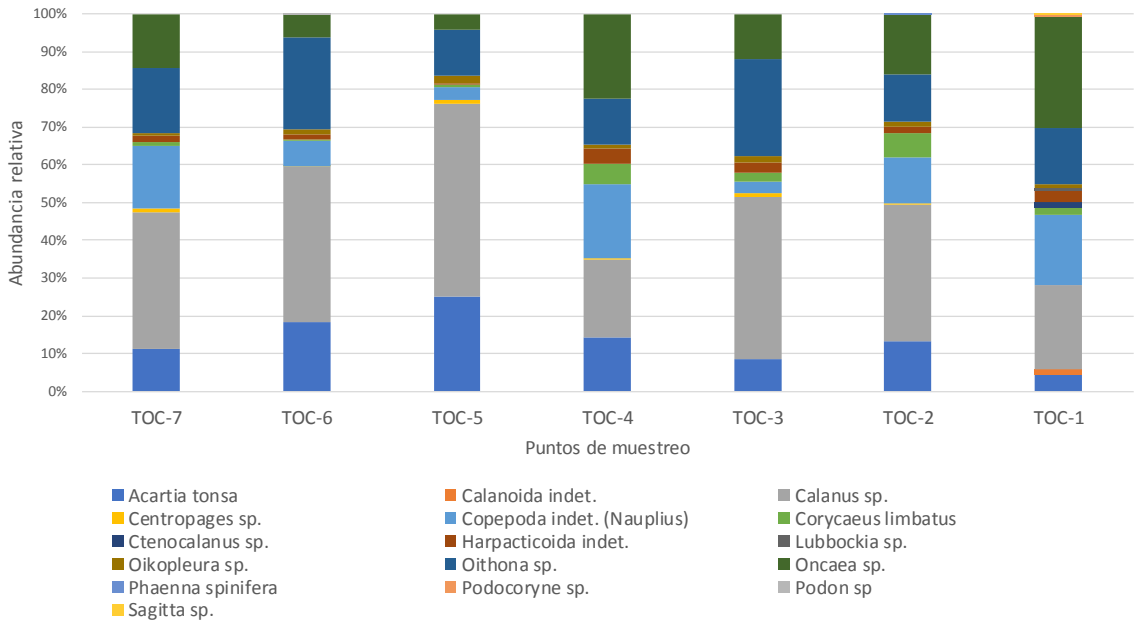


Figura 4.2-22 Abundancia Relativa (%) del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

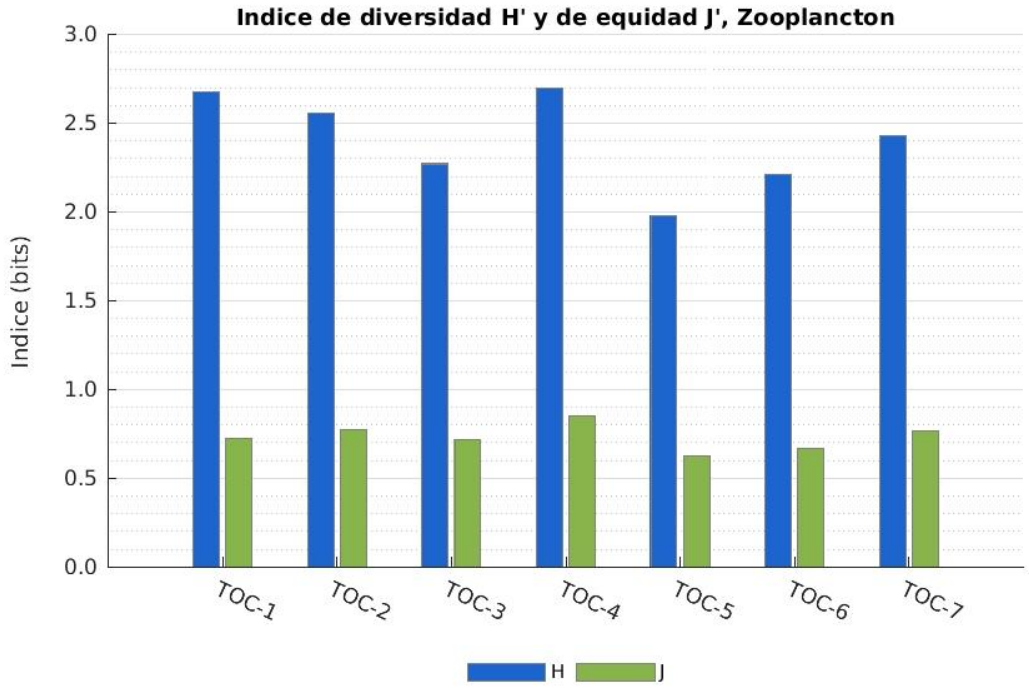


Figura 4.2-23 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades zooplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de zooplancton, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-24). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la

composición y abundancia de zooplancton, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,901 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que los estados nauplio de *Cirripedia indet*. y *Copepoda indet*. fueron las especies que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

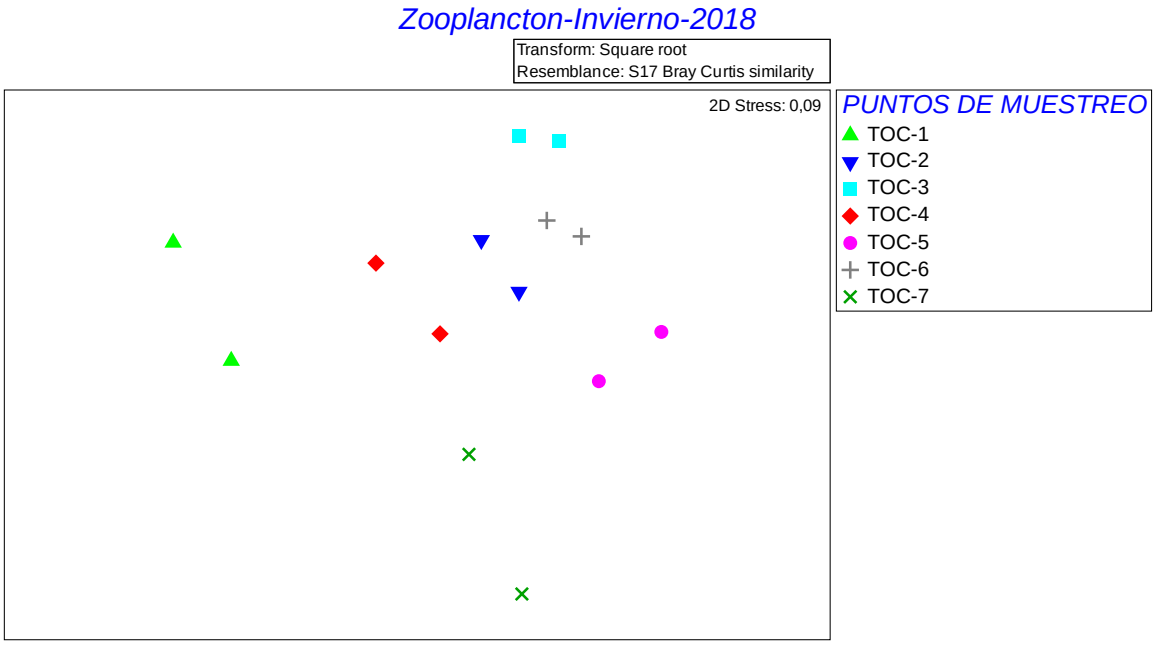


Figura 4.2-24 Análisis Escalamiento Multidimensional de zooplancton, entre siete puntos de muestreo durante invierno 2018.

iii. Ictioplancton

El ictioplancton registro una riqueza total de 8 taxa. La riqueza total en el área de estudio presentó valores irregulares entre los puntos de muestreo, con mayor cantidad de huevos en el sector central del área de estudio (entre TOC-2 y TOC-5) (Figura 4.2-25a).

La abundancia, presentó las mayores magnitudes en la porción de los huevos y en el sector entre TOC-2 y TOC-5. La porción de larvas en la presente campaña de invierno presentó valores de abundancia menores que la de huevos en todos los puntos de muestreo (Figura 4.2-25b).

Para determinar la dominancia de organismos del ictioplancton en el área de estudio, se consideraron todos los taxa registrados durante la campaña actual. La Anchoveta (*Engraulis ringens*) y el Baúnco (*Girella laevifrons*) dominaron en la porción de huevos en todos los puntos de muestreo (Figura 4.2-26 a y b), mientras que en la porción de larvas se registró sólo la presencia de Anchoveta. (Figura 4.2-26b).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector de la bahía (TOC-4) presentando además en

todos los puntos valores bajo 0,9 bits. En cuanto al índice de equidad (J') el valor promedio más alto también se observó en el punto TOC-5, con valores bajo 0,5 bits en todos los puntos. Esto nos indican que el ensamble presentó una baja diversidad de especies con una alta dominancia monoespecífica de algún taxa (Figura 4.2-23).

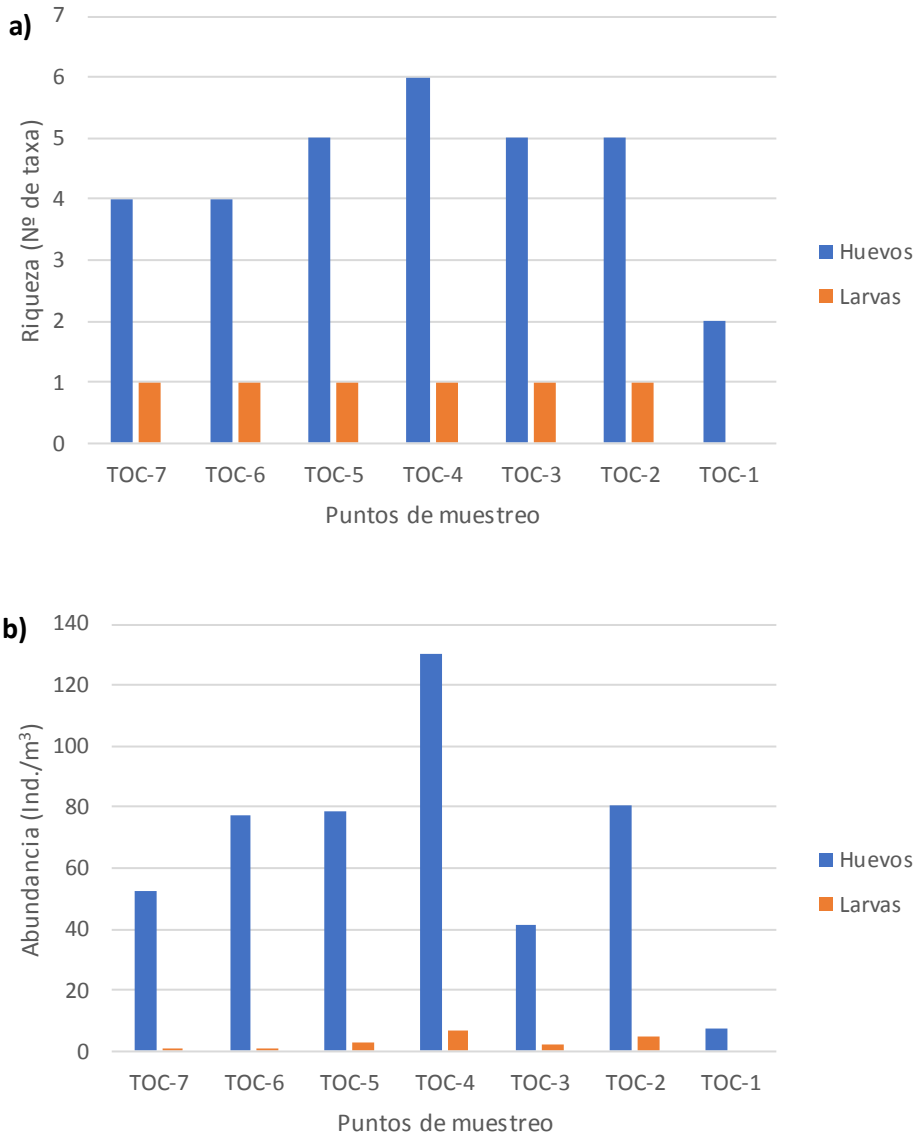


Figura 4.2-25 a) Riqueza y (b) Abundancia del ictioplancton (Huevos y Larvas). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018

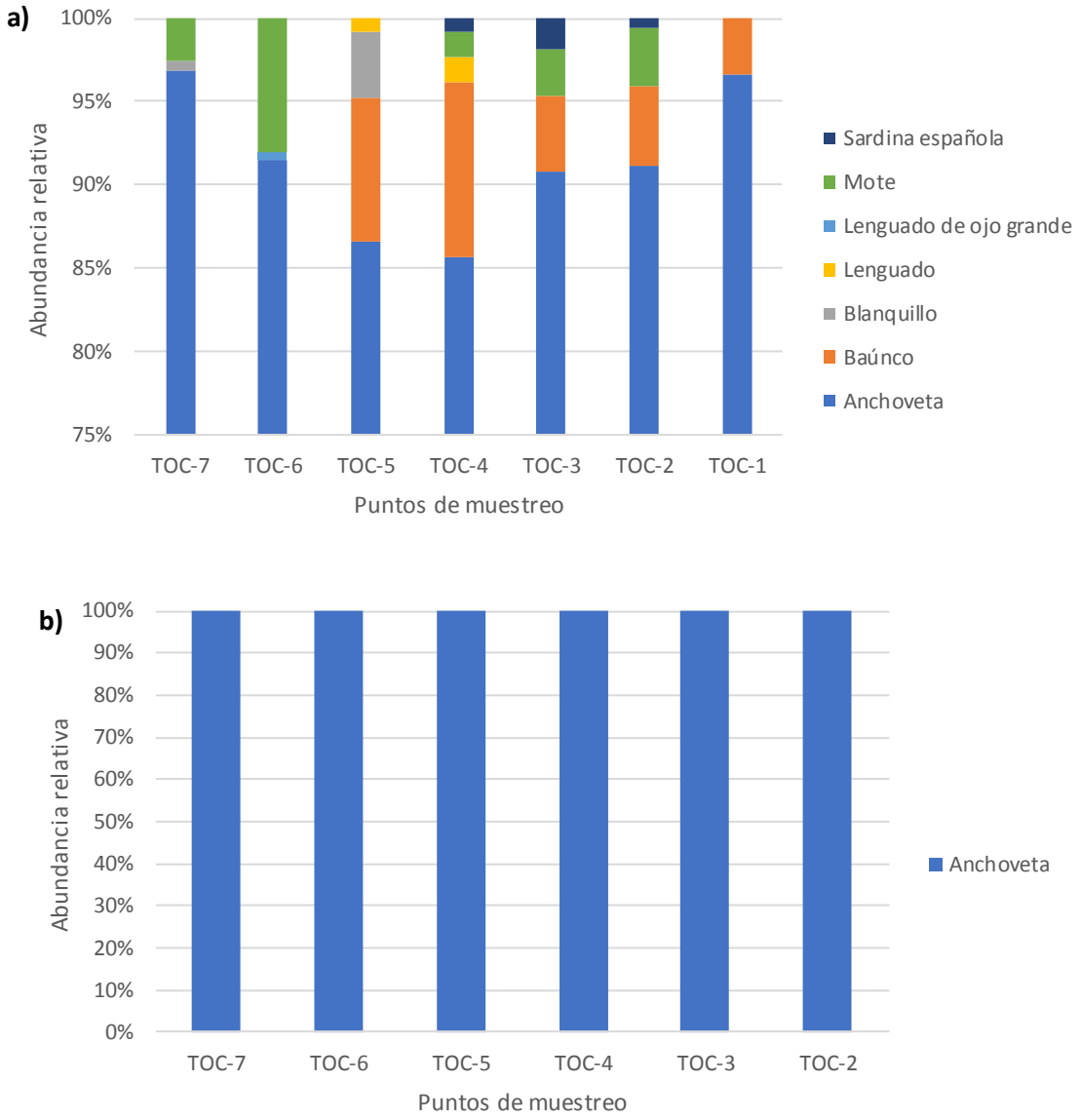


Figura 4.2-26 (a) Abundancia Relativa (%) de porción de Huevos y (b) Abundancia Relativa (%) de la porción de Larvas del ictioplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2018.

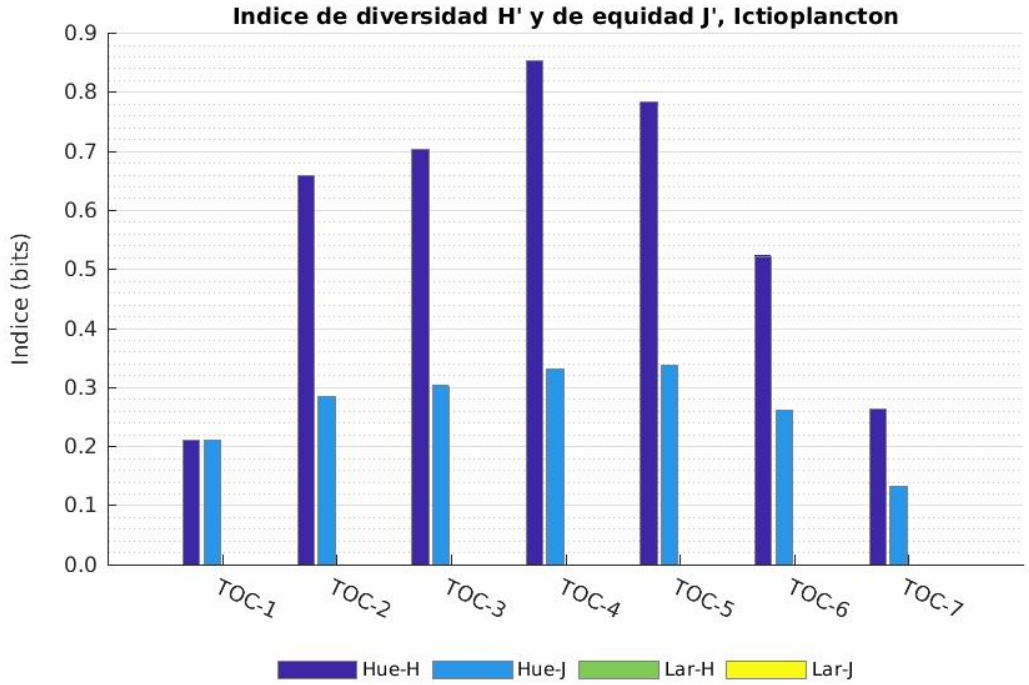


Figura 4.2-27 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades ictioplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

4.2.1.1.4 Comunidades bentónicas submareal blando

Los ensambles de macroinfauna submareal prospectados estuvieron constituidos en total por 19 grupos taxonómicos. La mayor riqueza fue registrada en el extremo norte del área de estudio (TOC-1) y la menor en el sector sur (TOC-6) (Figura 4.2-28a).

Con relación a los valores de abundancia estimados en el área de estudio, las mayores magnitudes fueron registradas en el extremo norte del área de estudio (TOC-1). Este patrón se observó tanto para la expresión en densidad, como para la expresión en biomasa (Figura 4.2-28b).

Con relación a las abundancias relativas estimadas en los ensambles prospectados, se registró una prevalencia de gusanos poliquetos de la familia Hesionidae (TOC-7) y del género *Nephtys* sp. (TOC-5). Por otra parte, en el punto de muestreo TOC-4 sólo se registró la presencia de *Excirolana braziliensis* (Figura 4.2-29).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector norte (TOC-2) siendo el único punto con valor mayor a 2 bits. En cuanto al índice de equidad (J') el valor más alto se observó en el punto TOC-2, con valores sobre 0,5 bits. Esto nos indican que en el punto TOC-2 el ensamble presentó una alta diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún

taxa, lo cual no se observó en el resto de los puntos presentando baja diversidad con presencia de una especie dominante (Figura 4.2-30Figura 4.2-23).

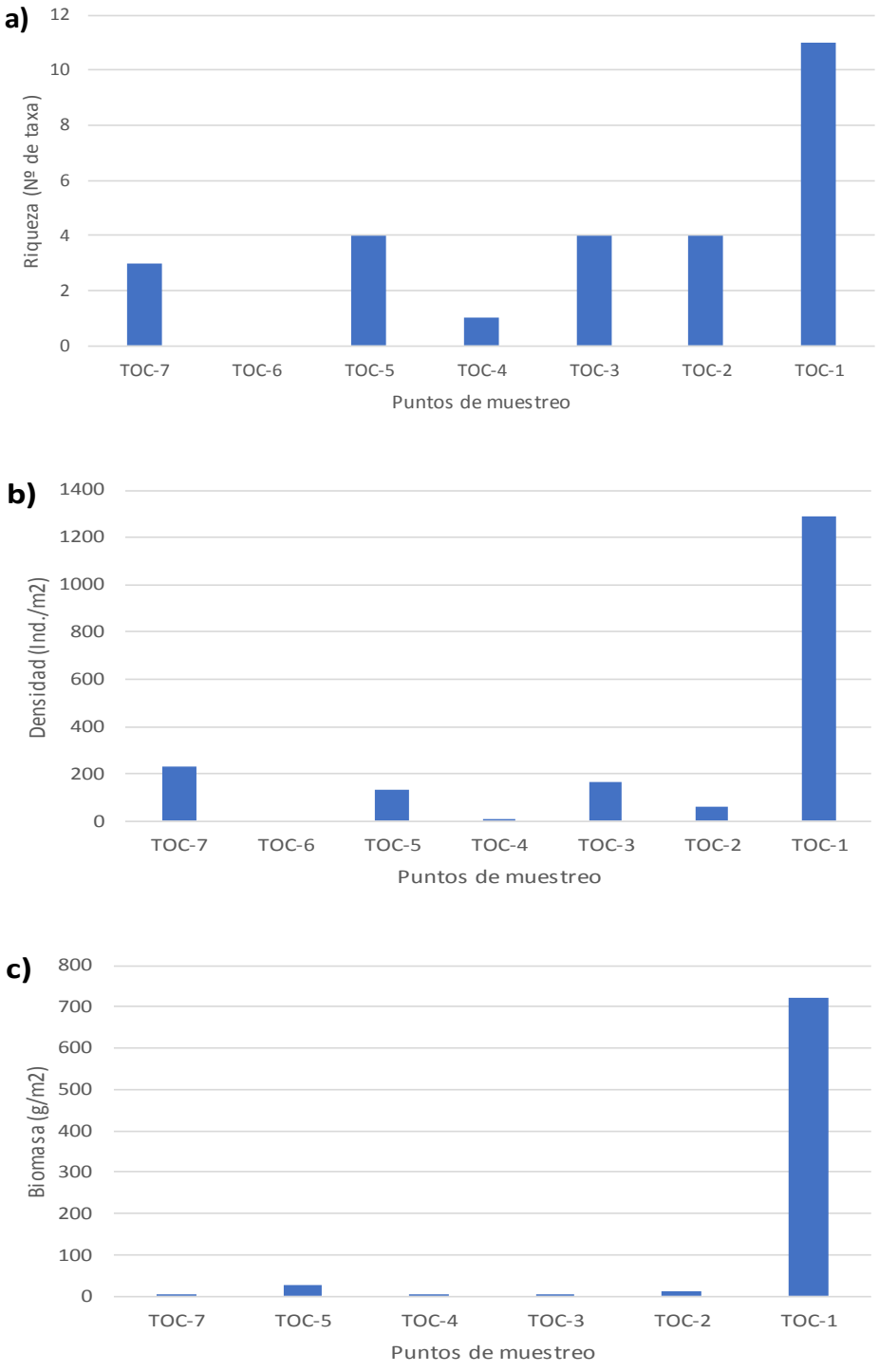


Figura 4.2-28 Riqueza (a), Densidad (b) y biomasa (c) de ensambles de macroinfauna submareal presentes en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

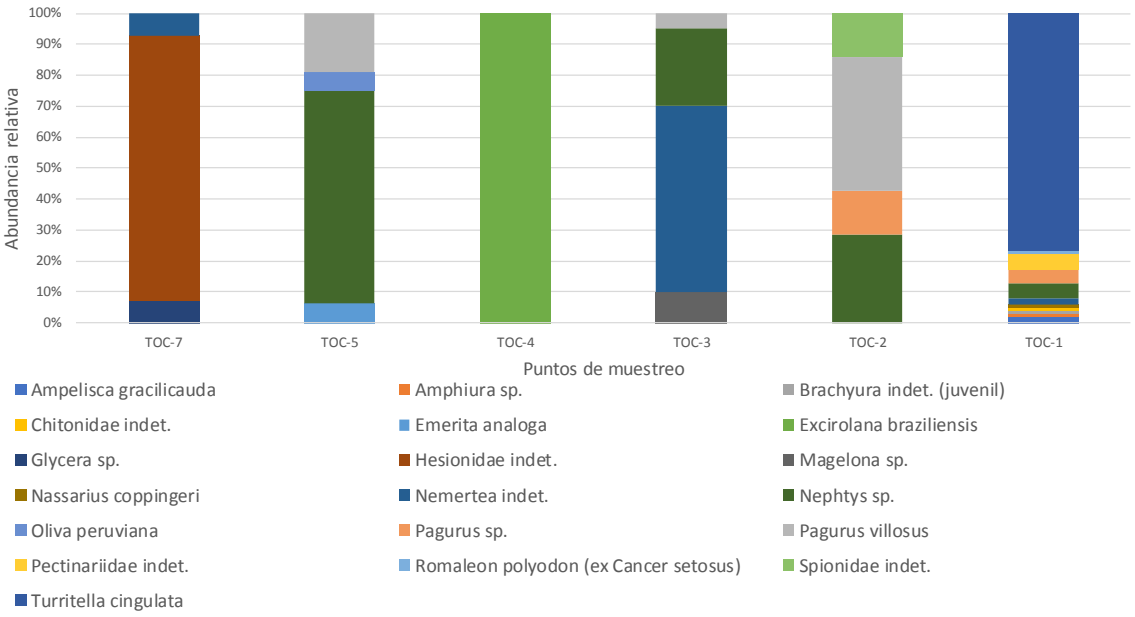


Figura 4.2-29 Abundancia relativa de ensambles de macroinfauna submareal presente en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

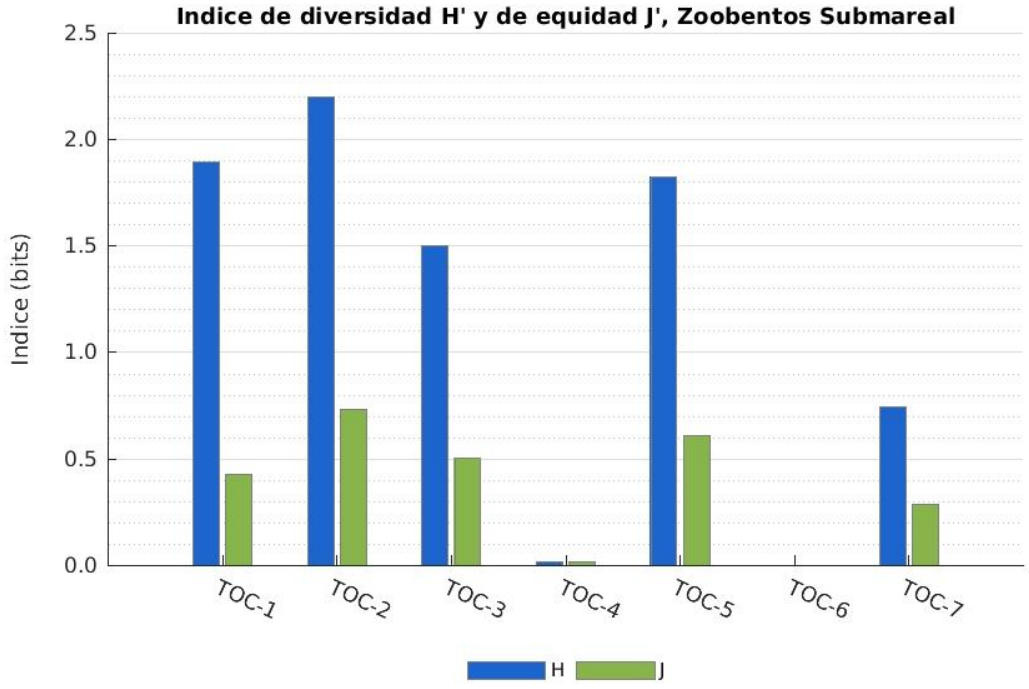


Figura 4.2-30 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de las comunidades bentónicas del submareal de fondo blando, en cuanto a composición y

abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.4 60). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos submareal, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,428 p<0,05), lo que da cuenta una comunidad más bien estable en términos de composición y abundancia en el área de estudio.

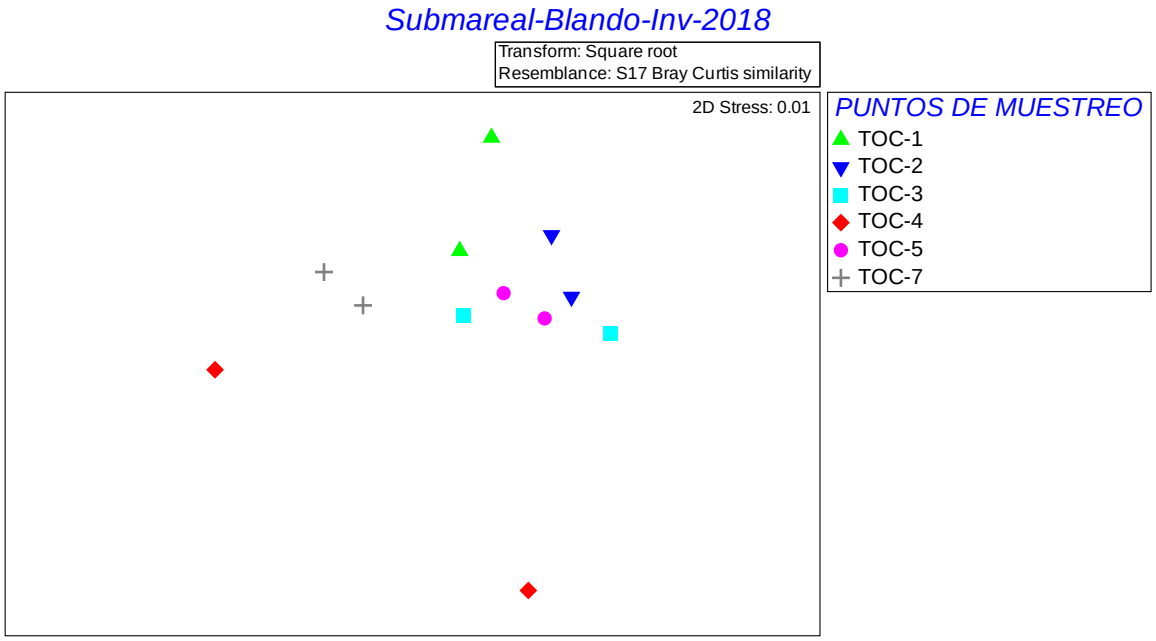


Figura 4.2-31 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos submareal blando, entre los siete puntos de muestreo evaluado durante invierno 2018.

La Figura 4.2-32 muestra las relaciones de k-dominancia de las variables de biomasa y abundancia levantadas para los ensambles de macroinfauna desde cada uno de los puntos de muestreo (análisis comparativo de curvas de abundancia y biomasa o ABC). La mayoría de los ensambles analizados muestran una relación entre ambas curvas propia de ensambles no perturbados donde la curva de biomasa se sitúa a través de toda su pendiente por sobre la curva de abundancia (puntos TOC-1, TOC-2, TOC-3 y TOC-5), lo que sugiere entornos relativamente estables que permite el desarrollo y presencia destacada de individuos de mayor talla. Asimismo, el estadígrafo que describe a esta prueba mostró para los puntos antes mencionados valores positivos distintos de 0, lo que es propio de ensambles no perturbados. En contraste a este patrón, los ensambles de invertebrados provenientes del punto de muestreo TOC-7, localizado en el extremo sur del área de estudio, presentaron una relación entre ambas curvas y un valor del estadígrafo W homologable a una condición de perturbación, donde la curva de k dominancia de biomasa se ubica bajo la de abundancia y donde el valor del estadígrafo W alcanza valores negativos distintos de 0, de acuerdo con lo que consignan diversos autores que han aplicado el método (Warwick 1986, 1988; Gray et al. 1988, Carrasco & Gallardo 1989, Grizzle & Penniman 1991). El número de organismos detectados en el punto de muestreo TOC-4, localizado a la cuadra de ciudad de Tocopilla, presentó un número extremadamente bajo

de organismos lo que imposibilitó la ejecución de este análisis comparativo de abundancia y biomasa.

Considerando que dentro del ensamble de macrozoobentos, el grupo de los gusanos poliquetos responde de manera más sensible a fenómenos de perturbación (Warwick & Clarke 1994), se configuraron las curvas ABC considerando sólo el grupo de los gusanos poliquetos, con el objeto de ponderar de manera complementaria los resultados del presente análisis. Llama la atención la escasa presencia de gusanos poliquetos en los ensambles analizados, por lo que el análisis ejecutado a partir de este conglomerado faunístico debe ser observado con cautela. Así de los seis puntos de muestreo analizados se ratificó la condición de no perturbación en los puntos de muestreo TOC-1, TOC-2 y TOC-3, estimándose en cada uno de ellos valores para el estadígrafo W positivos y muy distintos de 0. Asimismo, se ratificó la condición de perturbación para el ensamble de gusanos presentes en el punto de muestreo TOC-7, el que alcanzó un valor negativo para el estadígrafo W. Además de la ausencia de gusanos poliquetos reconocida en el punto TOC-4, se observó que el punto TOC-5, localizado también a la cuadra de la ciudad de Tocopilla, carece del número mínimo de gusanos poliquetos para efectuar este análisis (Figura 4.2-33).

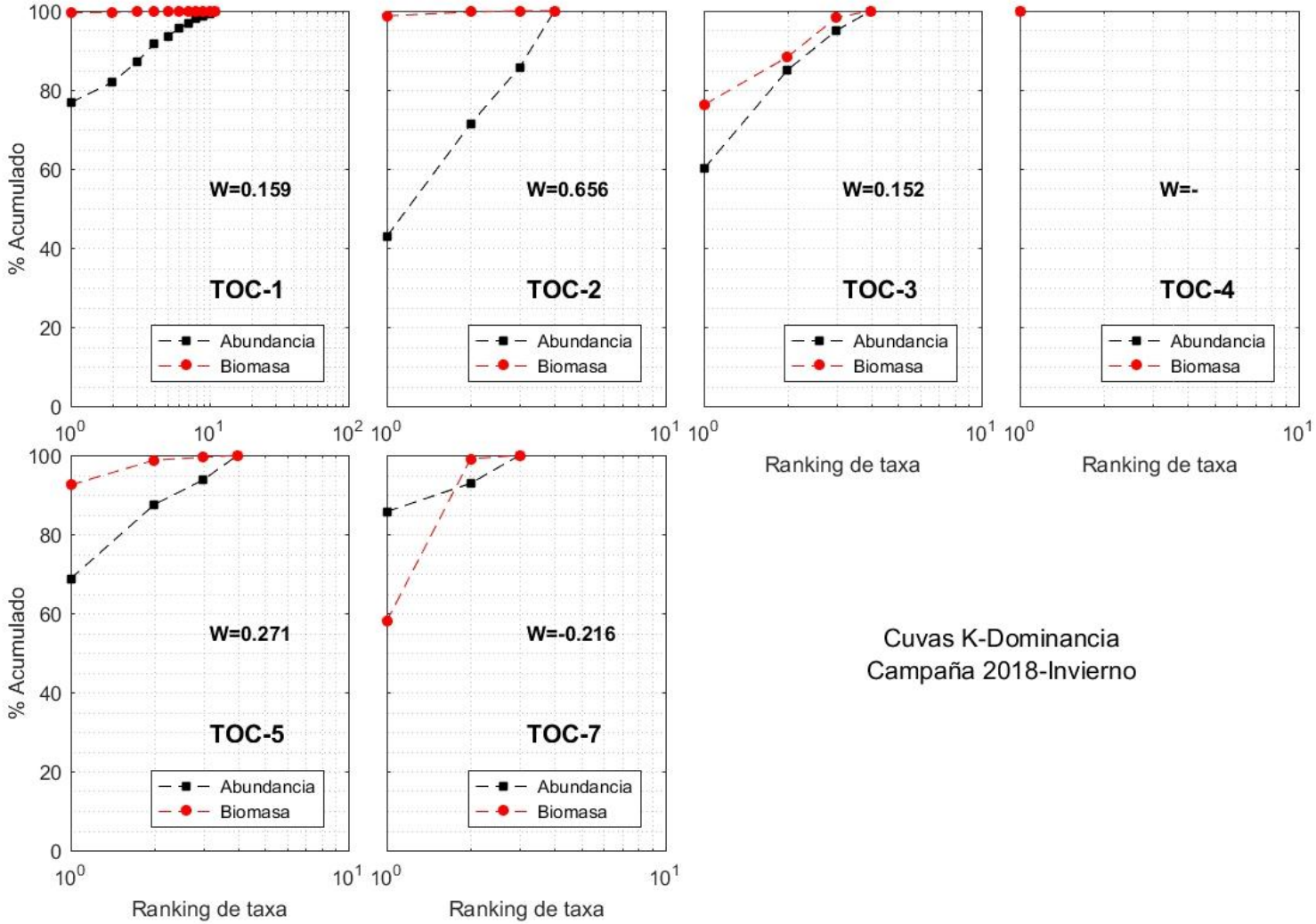


Figura 4.2-32: Curvas K-Dominancia de comunidades bentónicas de submareal blando, campaña de invierno 2018.

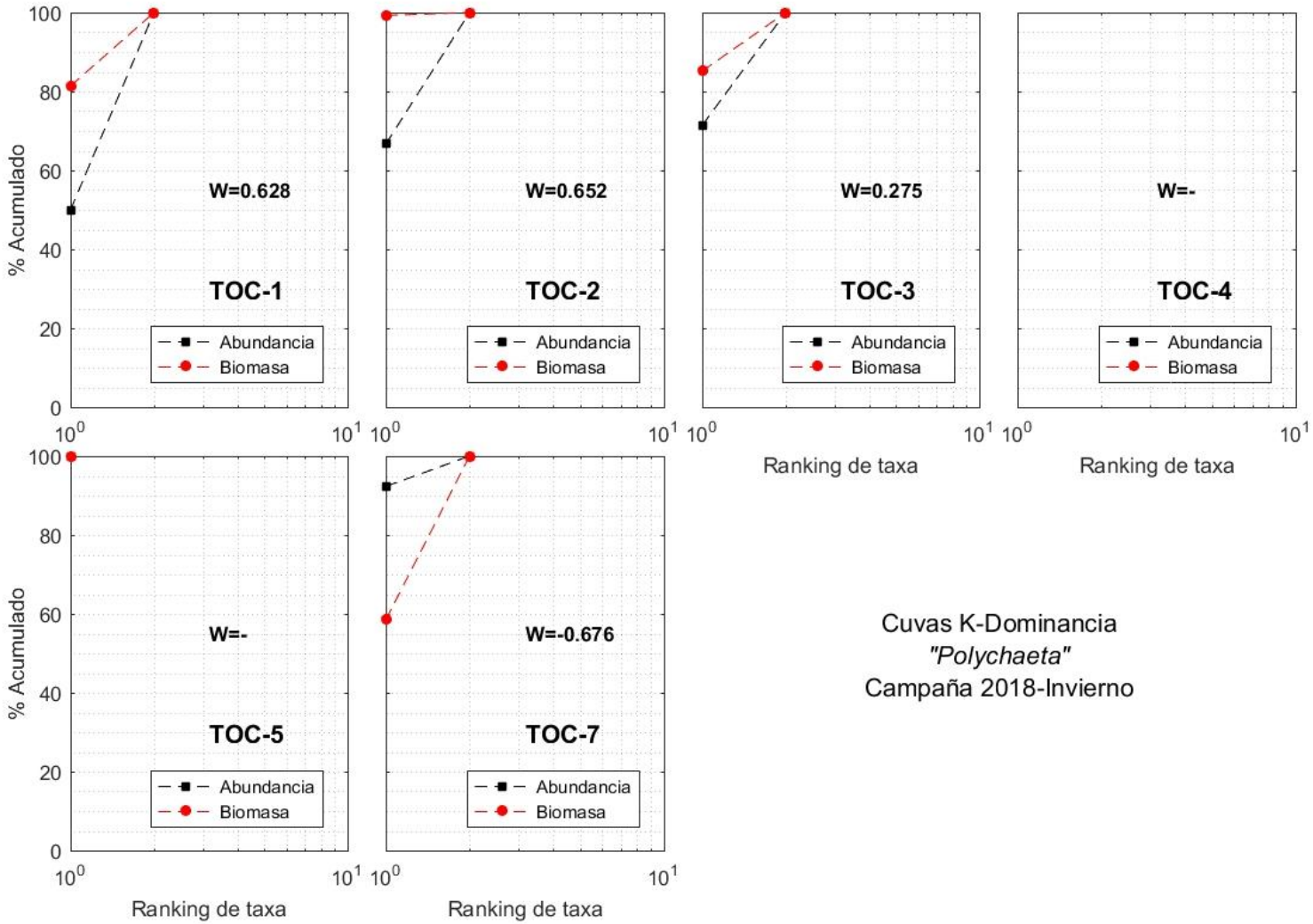


Figura 4.2-33: Curvas K-Dominancia de *Polychaeta* de submareal blando, campaña de invierno 2018.

4.2.1.1.5 Comunidades bentónicas submareal duro

En el ambiente submareal de sustrato duro se discriminaron tres grandes grupos, respecto de la epibiota reconocida en el área de estudio: macroalgas, fauna sésil y fauna móvil. Respecto de las macroalgas, fauna sésil y fauna móvil y considerando los 3 transectos distribuidos en el área de interés (TSR-1 a TSR-3), se reconoció un total de 7 grupos taxonómicos para las macroalgas, mientras que para la fauna sésil se discriminaron 8 grupos taxonómicos. Para el grupo de fauna móvil se reconocieron 17 grupos taxonómicos.

Con relación a la riqueza puntual de macroalgas observada en la zona submareal de sustrato duro prospectada, se observó que los mayores valores de riqueza se registraron en el piso inferior (15m) de los tres transectos prospectados. Aun cuando espacialmente no se reconocieron tendencias claras, el mayor valor de riqueza se observó en el piso de fondo (15m) del transecto TSR-3, localizado en el sector de Punta Algodonales. Sin embargo, en el transecto TSR-1, localizado en el sector de Caleta Vieja, se obtuvo el mayor valor de n° de taxa general al considerar los registros en los pisos 5m, 10m y 15m (promedio de 2,33) (Figura 4.2-34a).

Con relación a los valores de cobertura de macroalgas, no se distingue un comportamiento similar en los transectos, pues los pisos con mayor cobertura en los sitios TSR-1, TSR-2 y TSR-3 son los 10m, 15m y 5m, respectivamente. Espacialmente, las mayores coberturas de macroalgas fueron registradas en el piso superior (5m) del transecto TSR-3 (Punta Algodonales), con un valor de 70% (Figura 4.2-34b).

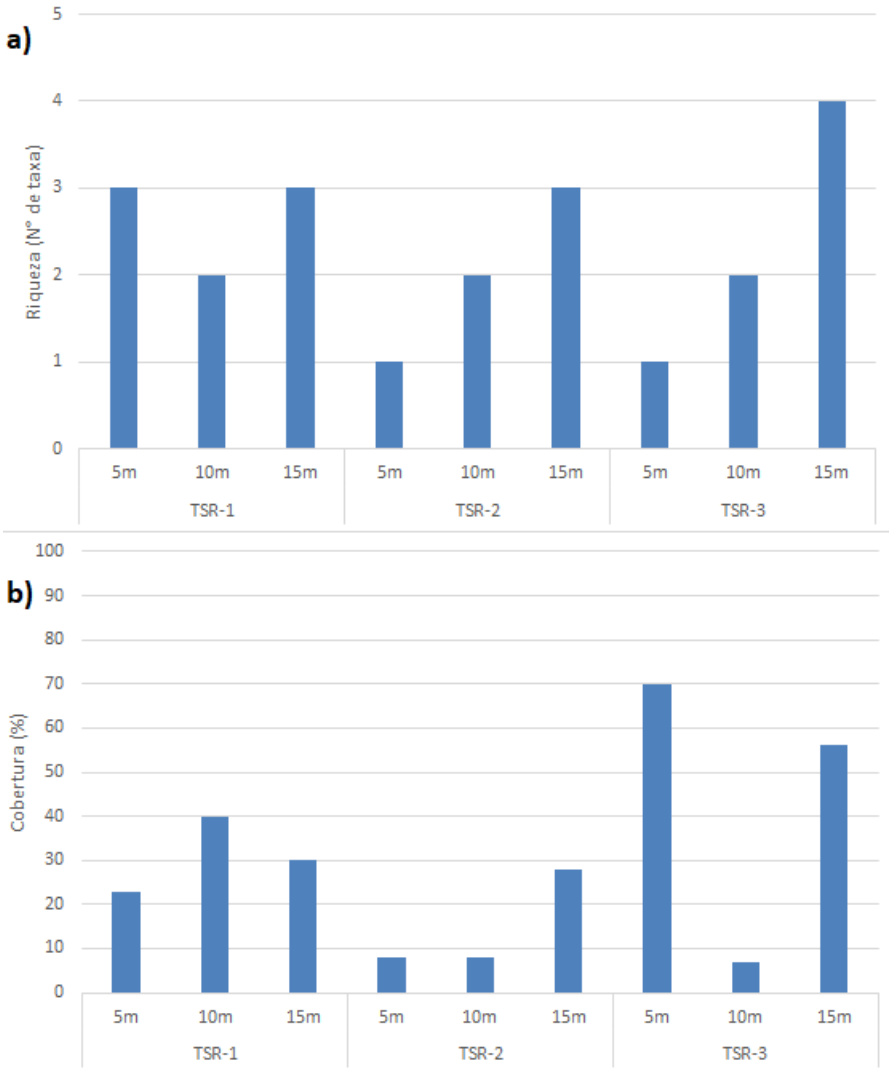


Figura 4.2-34: Riqueza (a) y cobertura (b) de macroalgas presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

Con relación a las coberturas relativas de macroalgas, destacaron la dominancia de las algas rojas, alcanzando un protagonismo evidente el alga crustosa *Lithotamnium* sp en los pisos somero (5m) y de fondo (15m) del transecto TSR-3, así como en el piso intermedio (10m) del transecto TSR-1. Asimismo, el alga roja Rhodymenia destacó en el piso somero del transecto TSR-1, mientras que en el transecto TSR-2 dominaron especies indeterminadas de algas rojas (Figura 4.2-35).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, presentando valores bajo los 2 bits en todos los puntos. En cuanto al índice de equidad (J') en todos los puntos de muestro se observaron valores cercanos a 1 bits. Esto nos indicaría que los ensambles presentaron una baja diversidad de especies con una alta dominancia monoespecífica de algún taxa (Figura 4.2-36).

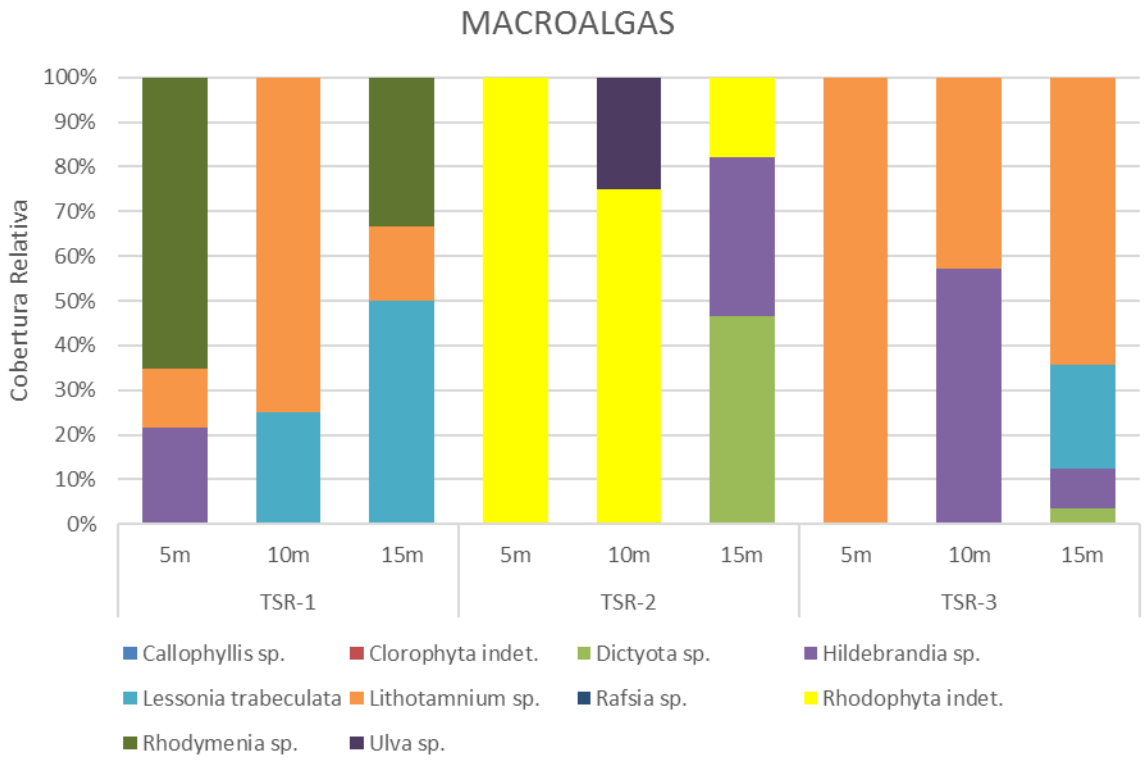


Figura 4.2-35: Cobertura relativa de ensambles de macroalgas presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Invierno 2018.

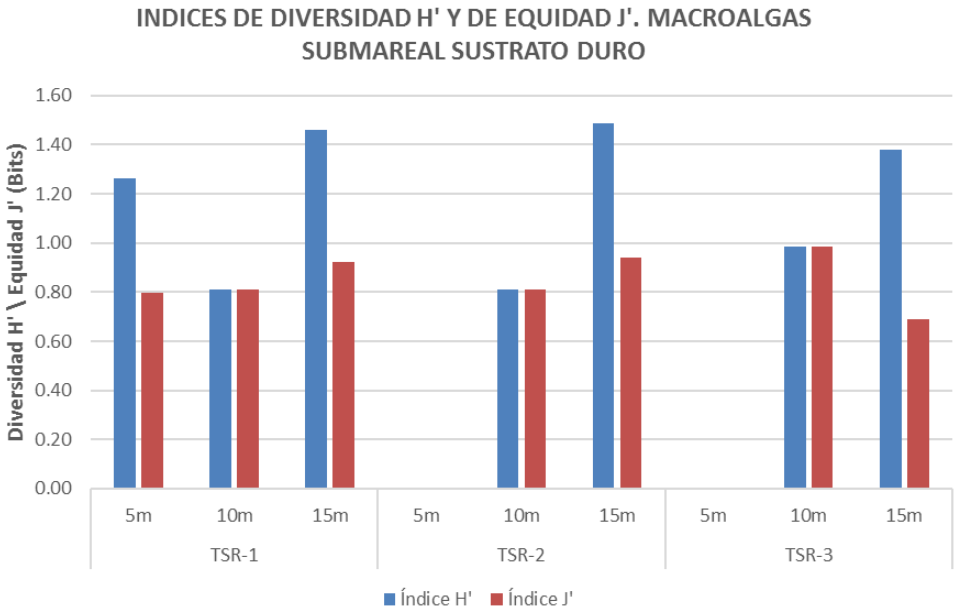


Figura 4.2-36 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de macroalgas bentónicas en submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de macroalgas del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2 17). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de macroalgas, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,654 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que la Rodophyta *Lithothamnium* sp. fue la especie que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

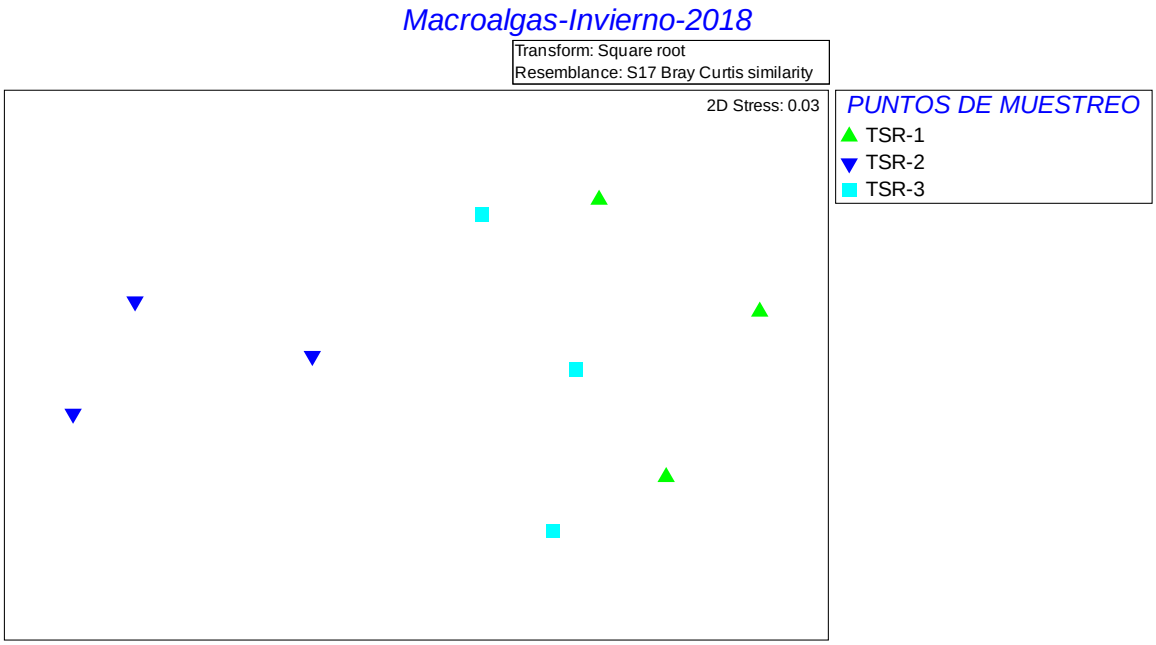


Figura 4.2-37 Análisis Escalamiento Multidimensional de macroalgas submareal duro, entre los tres puntos de muestreo evaluados durante invierno 2018.

Con relación a la fauna sésil la Figura 4.2-38 presenta los valores de riqueza y cobertura estimados para este grupo de epibiontes en el área de estudio. En general, los ensambles de epibiontes correspondientes a fauna sésil estuvieron conformados por escasos organismos observándose los mayores valores de riqueza en el piso inferior (15m) para el transecto TSR-2 y en el piso medio (10m) para el transecto TSR-3, con 3 taxas identificadas (Figura 4.2-38a).

De la misma manera, los registros de cobertura observados en los transectos prospectados mostraron una variabilidad importante entre sectores, teniendo los valores más altos a los 10m en los transectos TSR-3 y TSR-1, y en los 15m para el TSR-2. Luego, el mayor valor de cobertura observado fue a los 15m en el transecto TSR-2, con un valor de 50% para este grupo de organismos, debido a la importante presencia de *Choromytilus chorus* (Figura 4.2-38b).

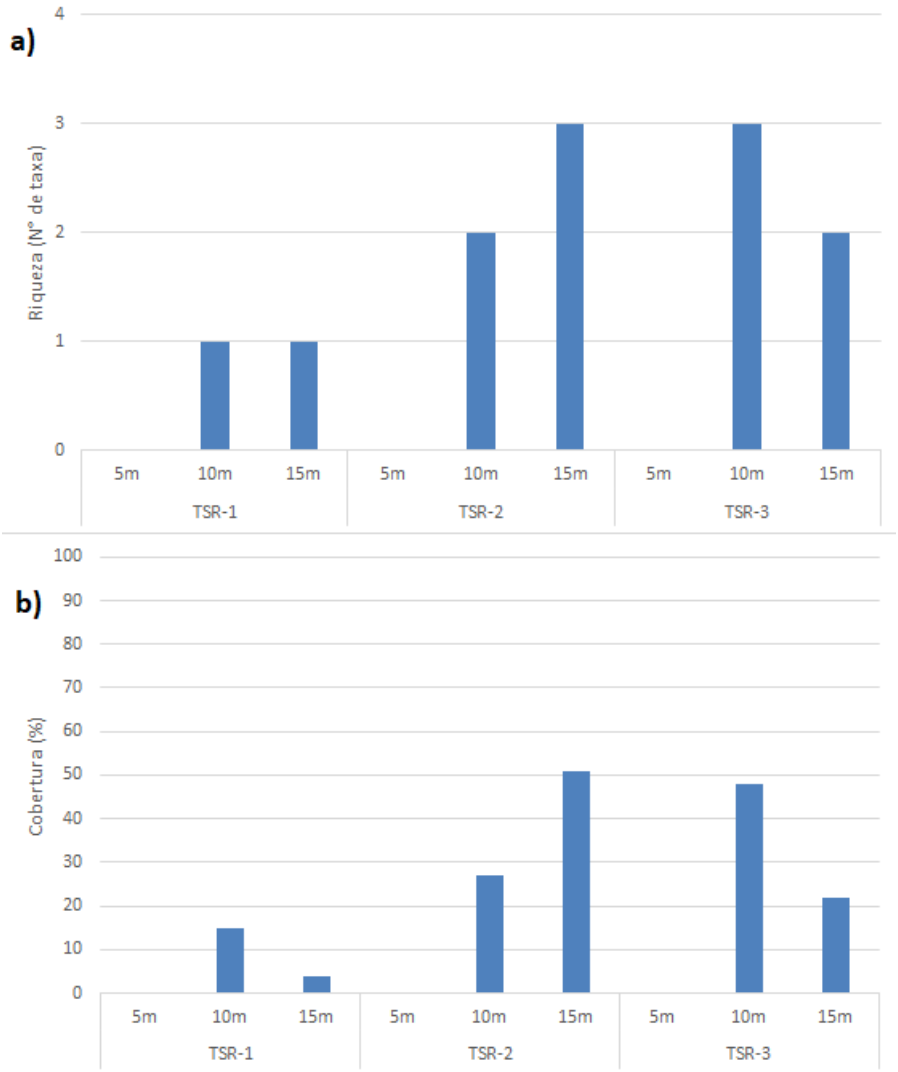


Figura 4.2-38: Riqueza (a) y cobertura (b) de fauna sésil presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

Con relación a las coberturas relativas de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna sésil, destacó la dominancia de ejemplares de gusanos poliquetos tubícolas del género *Phragmatopoma* en los transectos TSR-2 (piso intermedio) y TSR-3 (pisos intermedios y de fondo). En tanto, en el transecto TSR-1 dominaron en los pisos intermedio y de fondo ejemplares de gusanos poliquetos de habitáculos calcáreos (*Spirorbis* sp.), y ejemplares de bivalvos mitílidos. Por otra parte, en los pisos someros de profundidad de todos los transectos visitados no se detectó la presencia de organismos pertenecientes al grupo de fauna sésil (Figura 4.2-39).

En fauna sésil el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') solo se pudo calcular en los puntos TSR-2 (10m y 15m) y TRS-3 (10m y 15m) en donde los valores fueron menores a 2bits. En cuanto al índice de equidad (J') en el estrato más profundo se presentaron los valores mayores (cercanos a 1 bits). Esto nos indicaría que en general los ensambles

presentaron una baja diversidad (excepto a 15m) de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa (Figura 4.2-40).

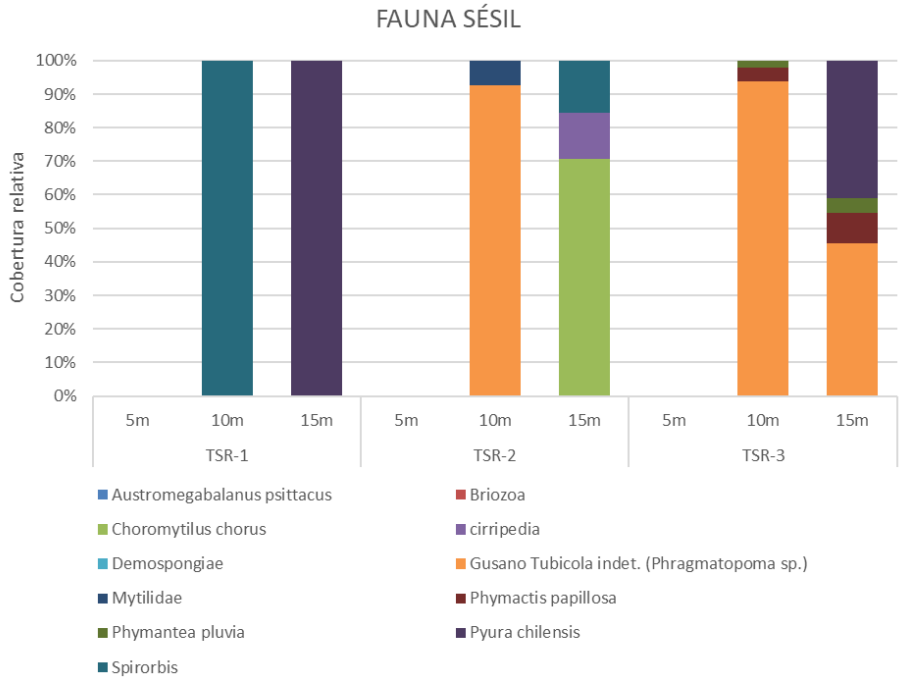


Figura 4.2-39: Cobertura relativa de ensambles de fauna sésil presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Invierno 2018.

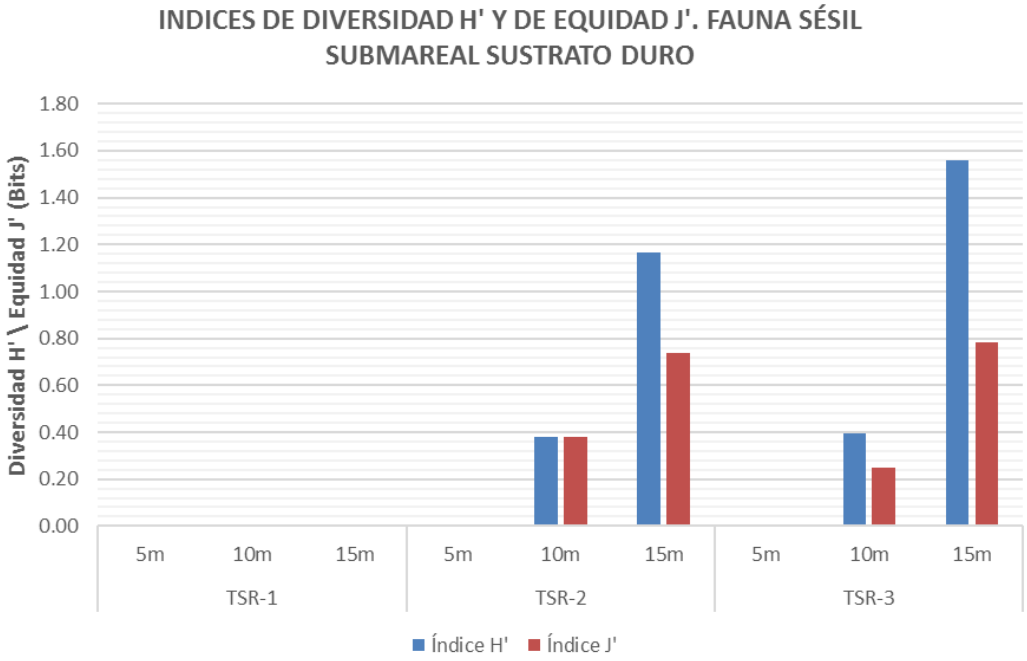


Figura 4.2-40 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades fauna sésil bentónicas de submareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos sésiles del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-41). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna sésil, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,056 p<0,05).

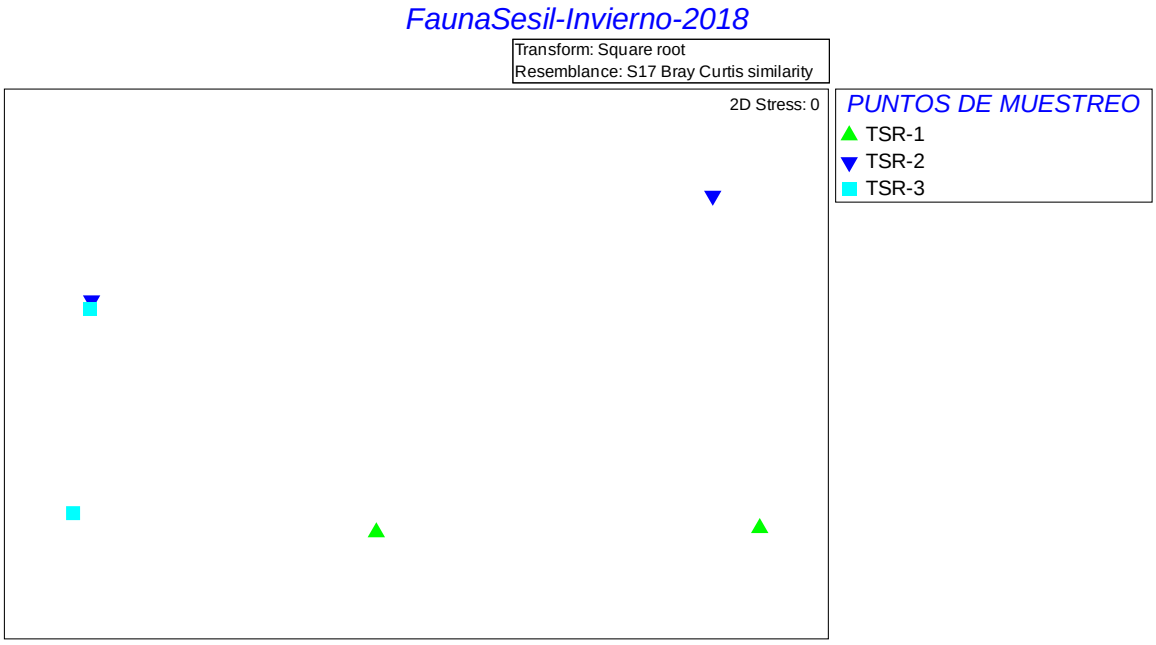


Figura 4.2-41 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna sésil submareal duro, entre los tres puntos de muestreo evaluados durante invierno 2018.

Respecto de los ensambles de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna móvil, presentes en los transectos prospectados, hay que señalar que los valores de riqueza más altos se determinaron, en general, en los pisos somero(5m) y de fondo(15m) en la mayoría de los transectos evaluados. Así, los valores de riqueza de fauna móvil más altos se estimaron en el piso de fondo (15m) de los transectos TSR-2 y TSR-3, estimándose en cada uno de ellos un valor de 8 y 5 grupos taxonómicos, respectivamente. (Figura 4.2-42a).

Por otra parte, los valores de abundancia de individuos presentaron un patrón similar al descrito en el párrafo anterior, donde el mayor número de individuos pertenecientes a fauna móvil se estimó en los pisos de profundidad en dos de los tres transectos visitados. De esta forma, el registro más alto de densidad de estimó en el piso de fondo (15m) del transecto TSR-2, alcanzando un valor de 372 ind·m-2 como consecuencia de la importante presencia de los caracoles Tegula spp. (Figura 4.2-42b).

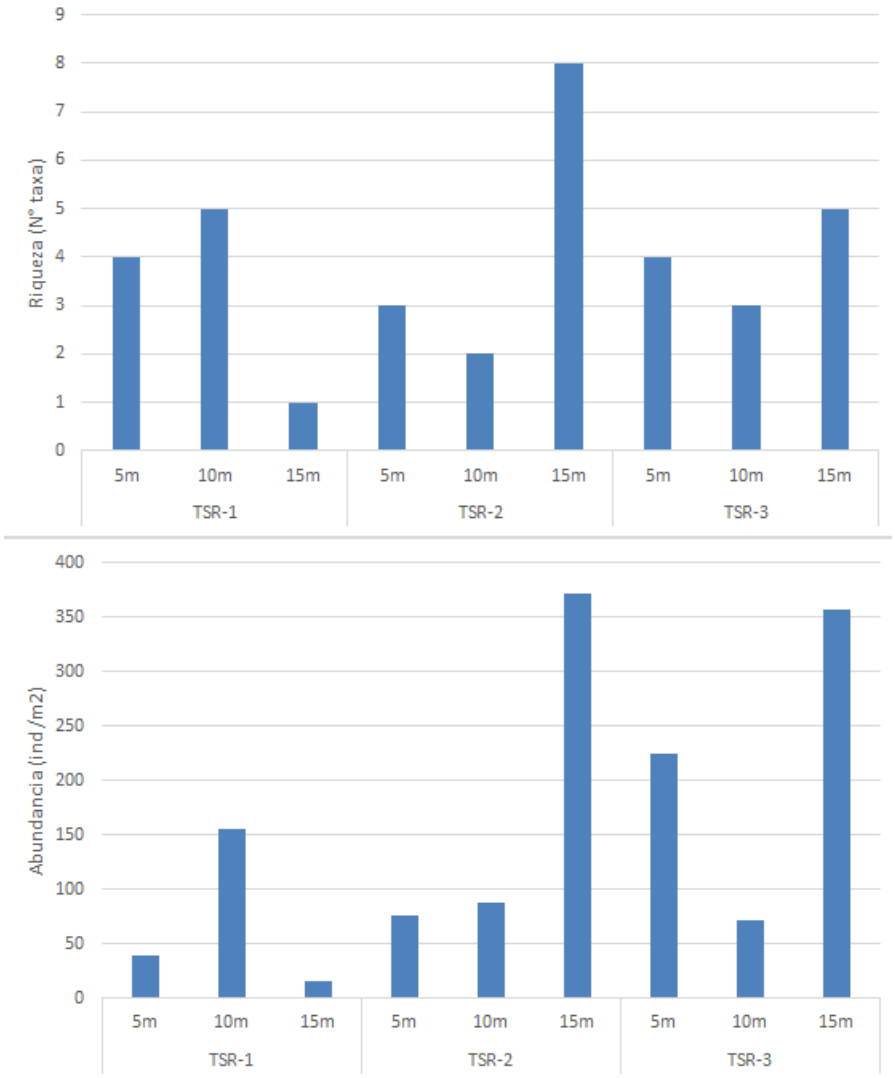


Figura 4.2-42: Riqueza (a) y cobertura (b) de fauna móvil presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

Con relación a las coberturas relativas de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna móvil se observó una relativa heterogeneidad de las dominancias de distintas especies en el área de interés, destacando en el piso de fondo del transecto TSR-1 y los pisos someros e intermedio del transecto TSR-2 del gastrópodo loco (*Concholepas concholepas*). En tanto, destaca el grupo de los caracoles negros (*Tegula* sp.) en todo el perfil batimétrico del transecto TSR-3 (Figura 4.2-43).

En fauna móvil El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, presentando valores bajo los 2 bits en todos los puntos, excepto TSR-2 (15m). En cuanto al índice de equidad (J') en todos los puntos de muestro se observaron valores cercanos a 1 bits, excepto en los 10m del punto TSR-2. Esto nos indicaría que en general los

ensambles presentaron una baja diversidad (excepto TSR-2 a 15m) de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa (Figura 4.2-44).

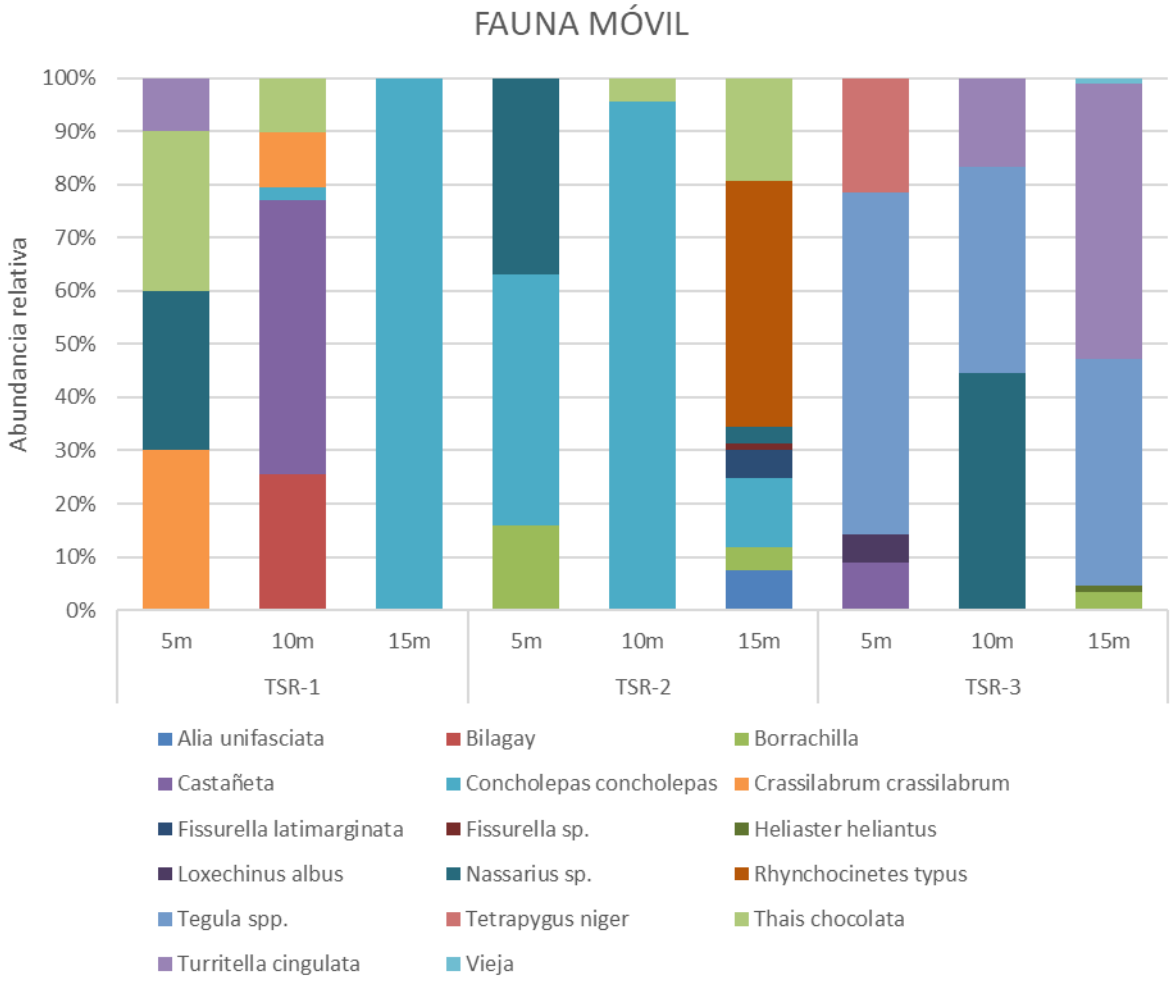


Figura 4.2-43: Abundancia relativa de ensambles de fauna móvil presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Invierno 2018.

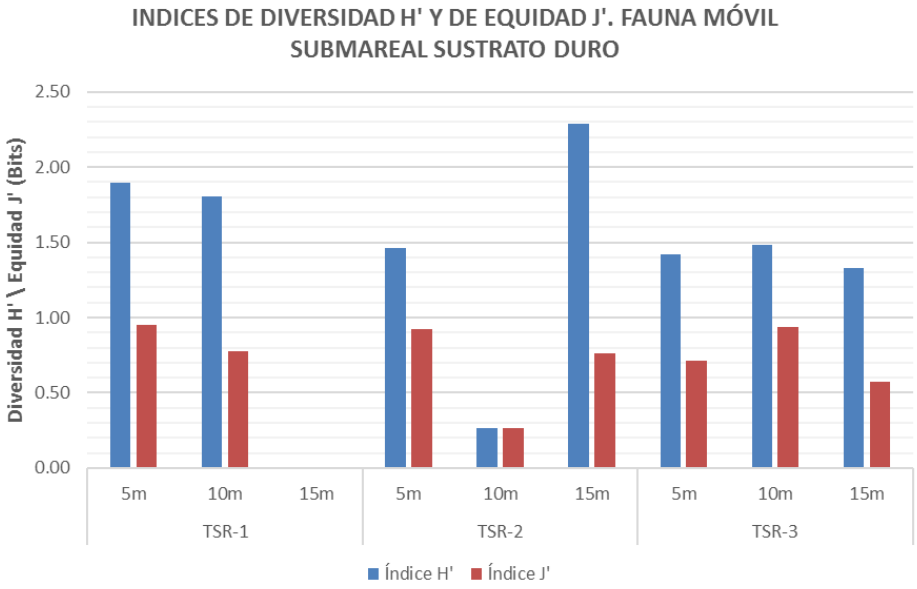


Figura 4.2-44 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades fauna móvil bentónicas en submareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de organismos móviles del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-45). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna móvil, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,56 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el caracol *Tegula* sp. fue la especie que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

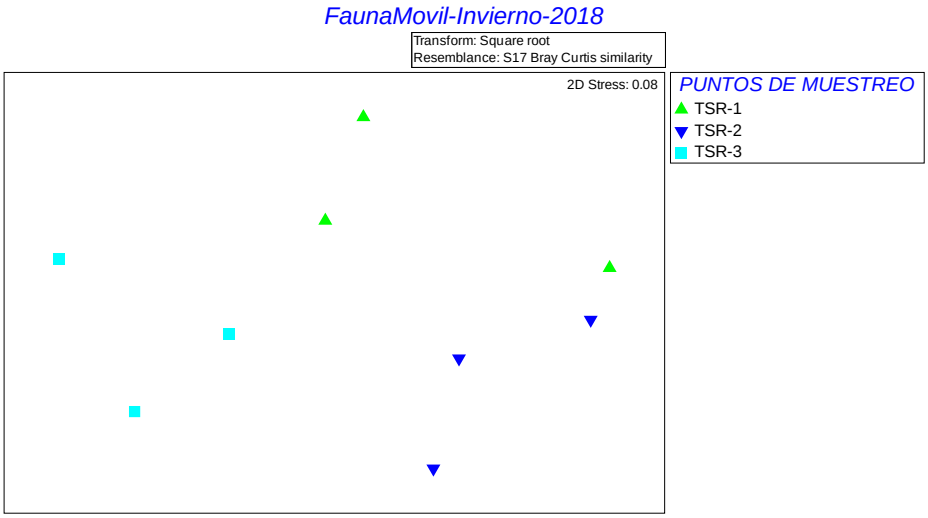


Figura 4.2-45 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna móvil submareal duro, entre los tres puntos de muestreo evaluados durante invierno 2018.

4.2.1.1.6 Comunidades bentónicas intermareal blando

Considerando los 6 transectos visitados (TIB-1 a TIB-6), se reconoció un total de 8 grupos taxonómicos, donde los gusanos poliquetos presentaron la mayor distribución y abundancia en el área de estudio. Las mayores riquezas se registraron entre los puntos de muestreo TIB-3 y TIB-6, en ambos casos asociadas al estrato medio y superior (Figura 4.2-46a).

Con relación a los valores de abundancia, las mayores densidades fueron registradas en los estratos medio e inferior del transecto intermareal TIB-6 (Figura 4.2-46b). Mientras que las mayores biomasas fueron registradas en el estrato inferior del transecto TIB-2 (Figura 4.2-46 b y c).

Con respecto a las abundancias relativas, *Emerita análoga* sólo se registró en el estrato inferior del transecto TIB-2, en donde fue el único taxón registrado. Un patrón similar ocurre con los Chironómidos en el estrato superior del transecto TIB-4 y con los oligochaetos registrados en el estrato superior del transecto TIB-6 (Figura 4.2-47).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, presentando valores bajo los 2 bits en todos los puntos. En cuanto al índice de equidad (J') en todos los puntos de muestro se observaron valores cercanos a 0 bits. Esto nos indicaría que en general los ensambles presentaron una dominancia monoespecífica de algún taxa (Figura 4.2-48).

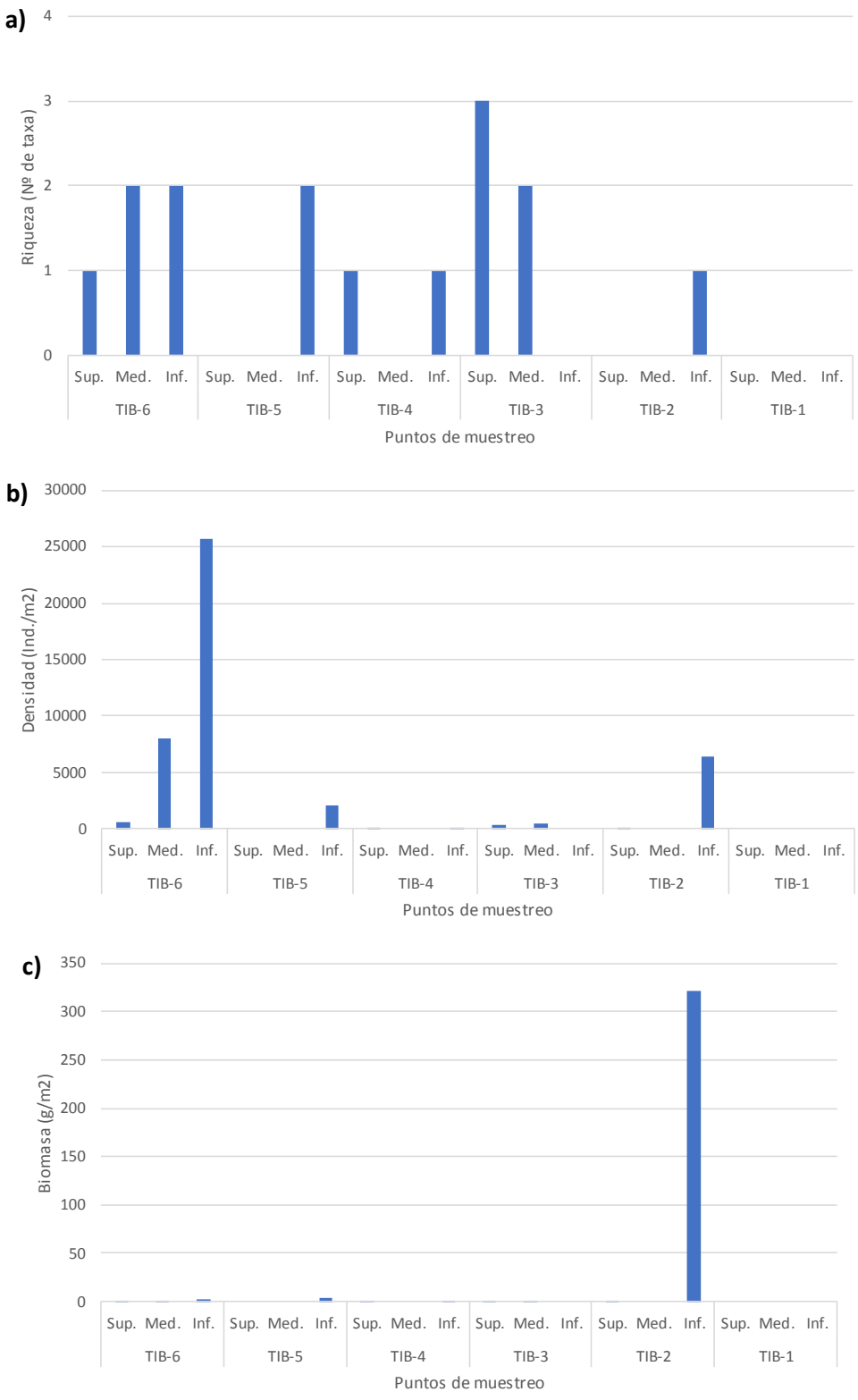


Figura 4.2-46 Riqueza (a), Densidad (b) y Biomasa (c) de ensambles de macroinfauna intermareal prospectados en transectos en el área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

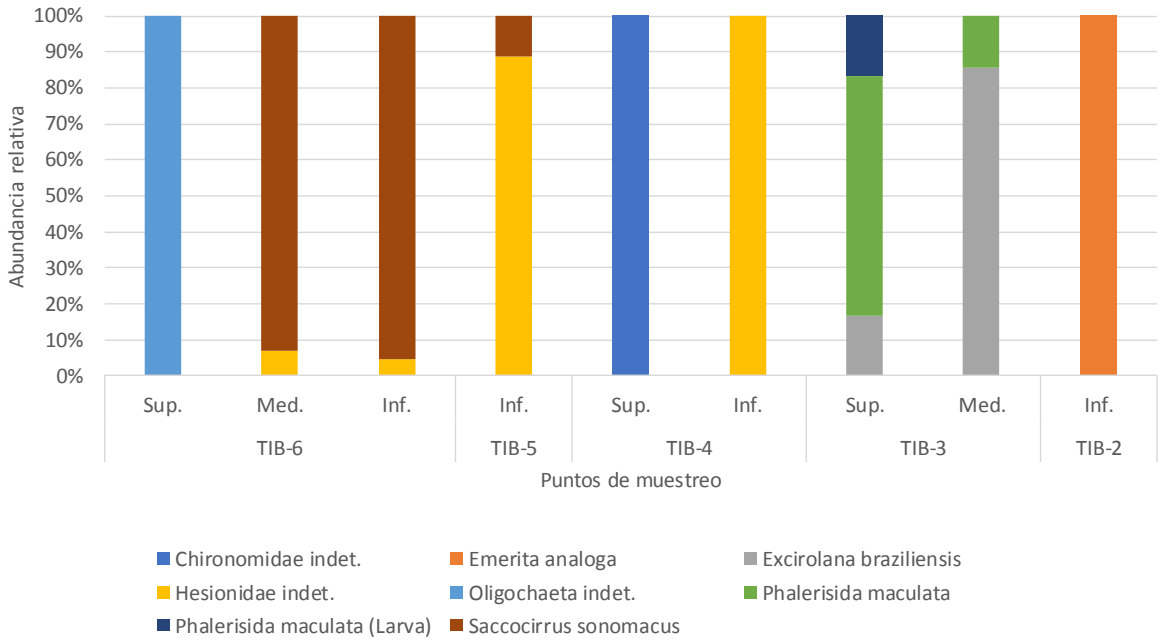


Figura 4.2-47 Abundancia relativa de ensambles de macroinfauna intermareal presente en área de estudio (Sup= Estrato superior; Med= Estrato Intermedio; Inf= Estrato Inferior). Bahía Algodonales. Campaña Invierno 2018

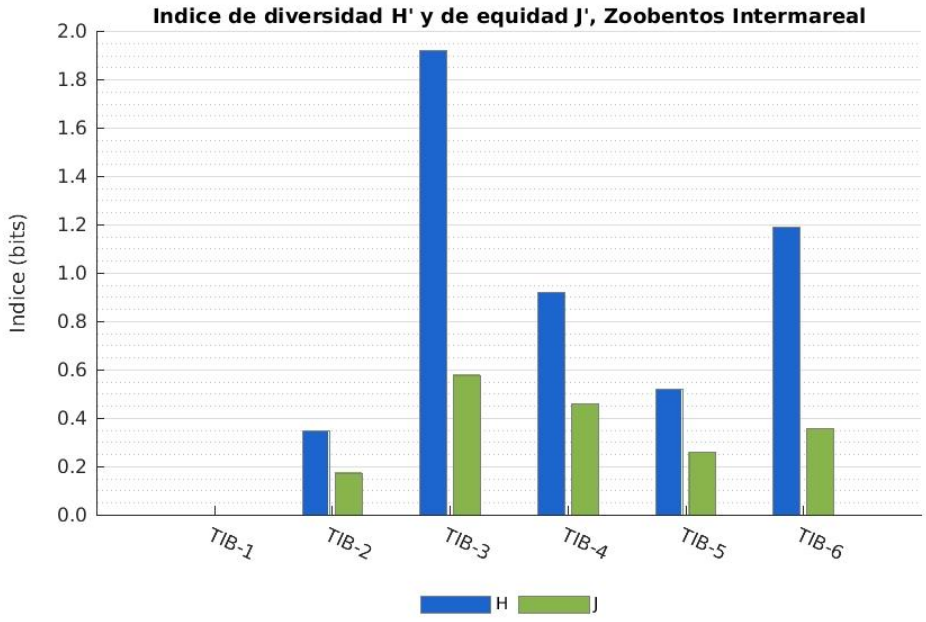


Figura 4.2-48 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas intermareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien heterogénea de las comunidades bentónicas del intermareal de fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-49). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos intermareal, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,75 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el poliqueto *Saccocirrus sonomacus* fue la especie que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

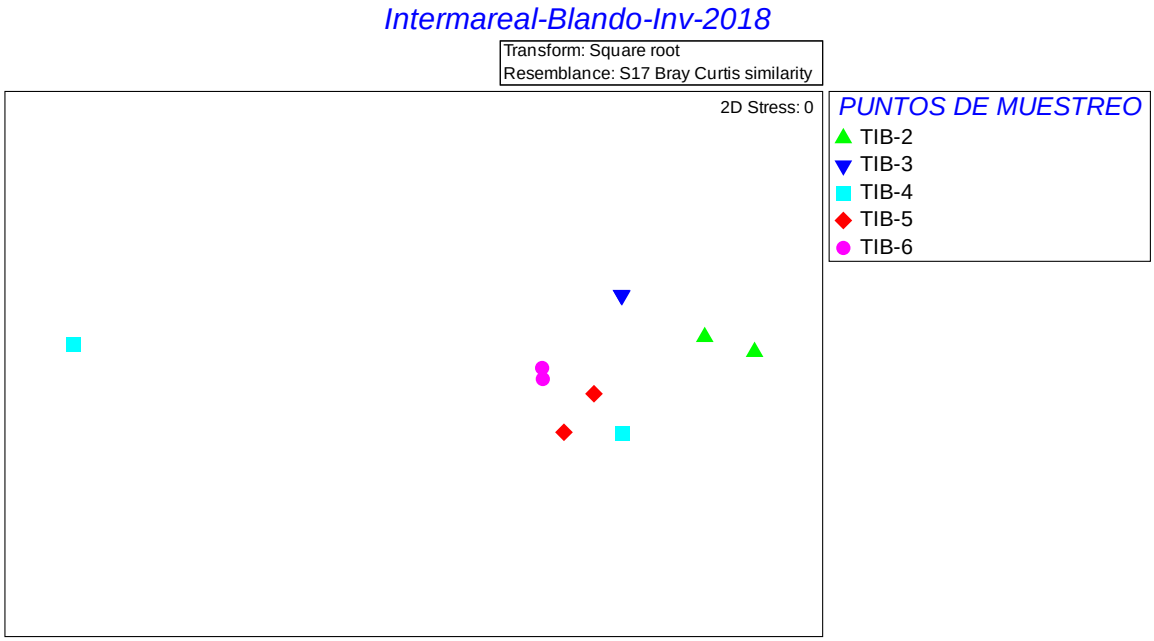


Figura 4.2-49 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos intermareal blando, entre los seis puntos de muestreo evaluados durante invierno 2018.

4.2.1.2 Campaña verano 2019

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

- **Calidad fisicoquímica de agua y sedimento submareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en la bahía en estaciones TOC-01@07.
- **Calidad fisicoquímica de sedimento intermareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos de sedimento marino en la bahía en las estaciones SED-1@6.
- **Parámetros fisicoquímicos en la vertical:** Lance de sonda CTD en estaciones TOC-1@7 para el muestreo de la columna vertical de agua de los parámetros temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial RedOx y turbidez.
- **Correntometría euleriana:** Instalación de ADCP para el muestreo de corrientes en la vertical durante un periodo de 30 días. El instrumento se fondeó el 05 de agosto del 2018 a una profundidad aproximada de 16 metros.

- **Correntometría lagrangiana:** Lance de derivadores en 6 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 TOC-01@07
- **Comunidades bentónicas:** Videos submareales para caracterización de comunidades bentónicas submareales de fondo duro en puntos TSR-01@03; Muestreo de comunidades bentónicas submareales de fondo blando en estaciones TOC-01@07; Muestreo de comunidades bentónicas intermareales de fondo duro en estaciones TIR-01@06; Muestreo de comunidades bentónicas intermareales de fondo blando en estaciones TIB-01@06.

4.2.1.2.1 Cuerpo de agua

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

Mediante el lance de una sonda CTD en las estaciones de monitoreo TOC-1 a TOC-7, se pudo medir algunos parámetros fisicoquímicos de la columna vertical de agua. A continuación, se presentan los gráficos de temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial RedOx y turbidez, obtenidos en la campaña de verano de 2019.

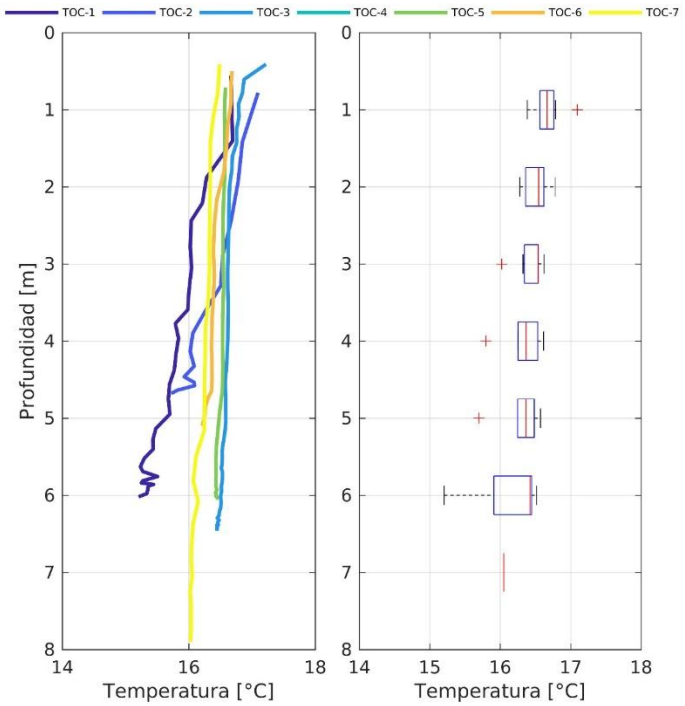


Figura 4.2-50: Temperatura en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2019.

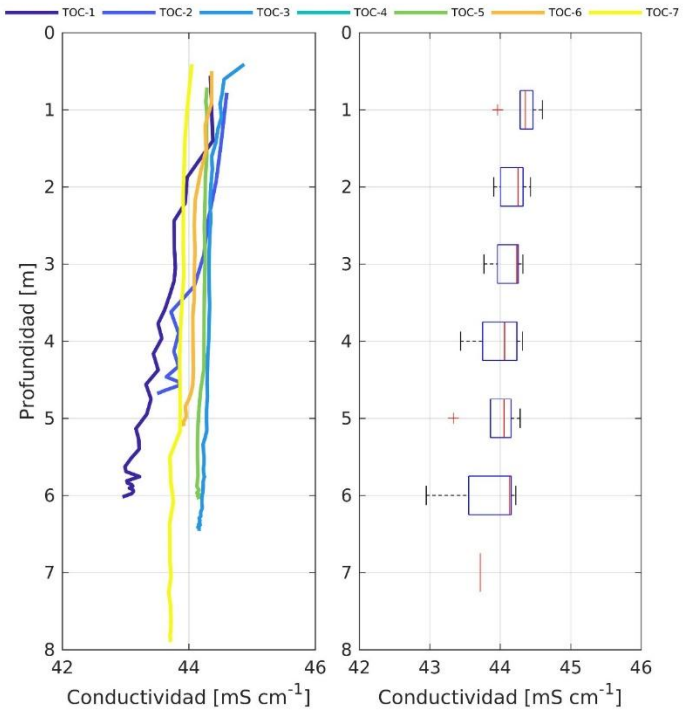


Figura 4.2-51: Conductividad eléctrica en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2019.

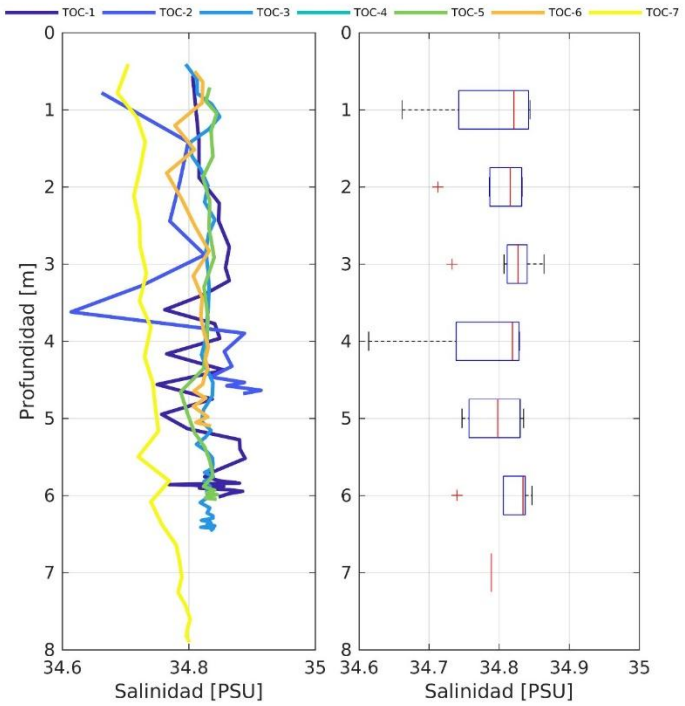


Figura 4.2-52: Salinidad en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2019.

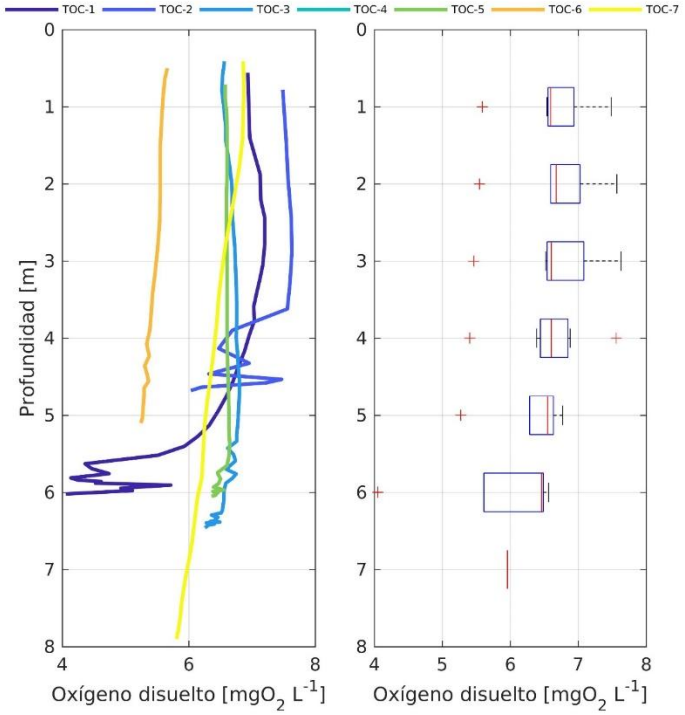


Figura 4.2-53: Oxígeno disuelto en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2019.

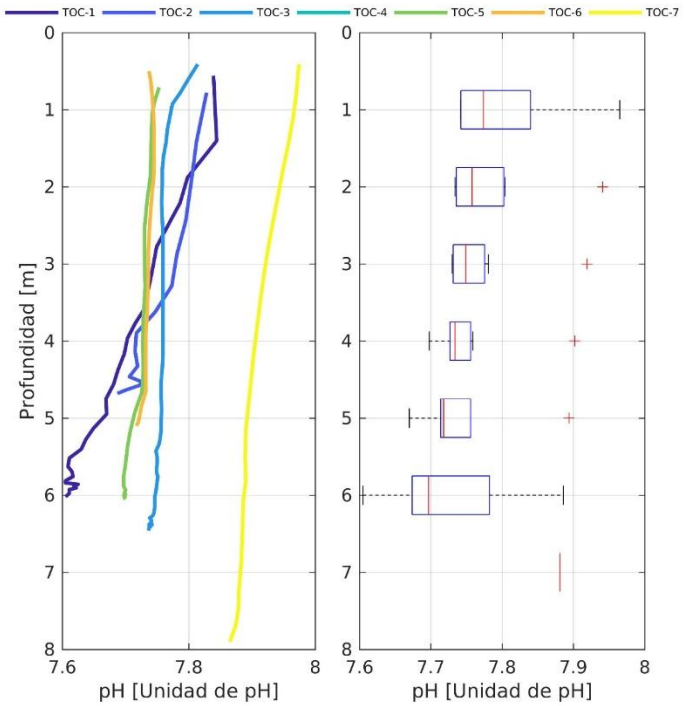


Figura 4.2-54: pH en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2019.

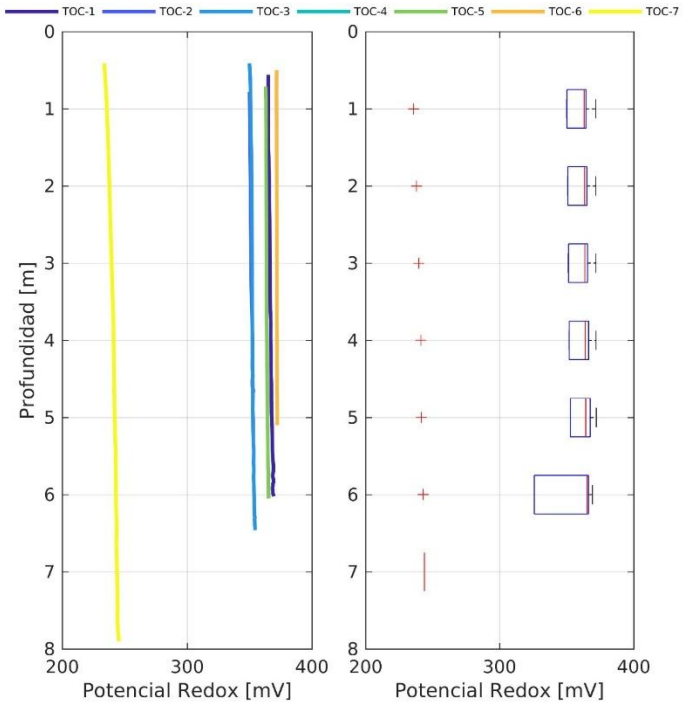


Figura 4.2-55: Potencial Redox en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2019.

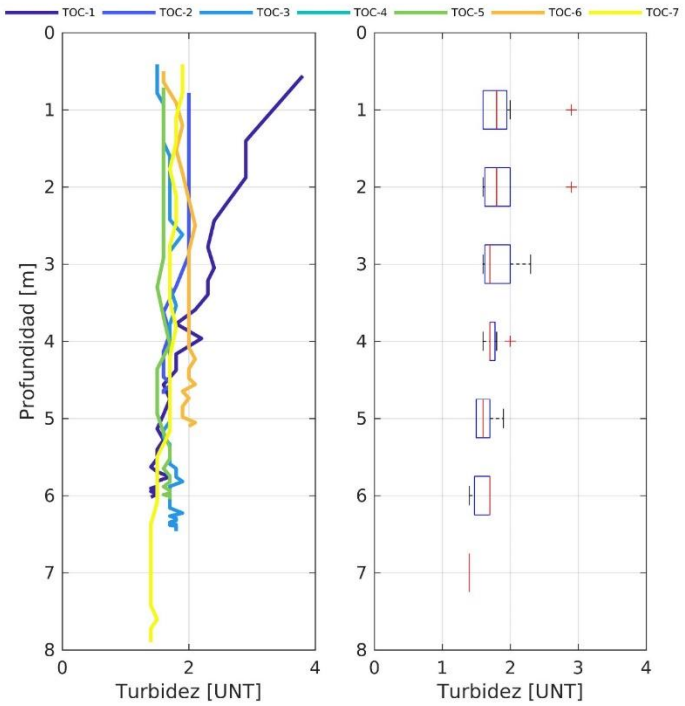


Figura 4.2-56: Turbidez en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2019.

Las aguas de Bahía Algodonales presentaron valores de conductividad eléctrica homogéneos entre los puntos de muestreo submareales. A nivel de estratos no se observa una diferencia importante, el estrato superficial varió entre 43,88 mS/cm y 45,36 mS/cm, mientras que el profundo presentó valores de 43,24 mS/cm y 44,15 mS/cm (Tabla 4.2-16).

La salinidad fue similar entre puntos de muestreo y estratos, con valores esperados para agua marina (mínimo=34,64 g/l y máximo=34,91 g/l), a excepción de TOC-7 (fondo) (Tabla 4.2-16)

El contenido de oxígeno disuelto en el estrato superficial de los puntos submareales varió de 5,5 mg/L a 7,1 mg/L, mientras que en el estrato profundo fue levemente menor 4,8 mg/L a 6,5 mg/L. En general, el estrato superficial presentó mejor oxigenación respecto al estrato profundo (Tabla 4.2-16).

Las aguas fueron moderadamente alcalinas, con variaciones de pH entre 7,57 y 8,23 unidades en el estrato superficial, y de 7,62 a 7,87 unidades en el estrato profundo. Todos los valores se encontraron dentro de los límites establecidos en la EPA (2009) (Tabla 4.2-16).

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

Los valores de potencial redox fueron propios de ambientes que favorecen las reacciones de oxidación, con valores en el estrato superficial entre 11,8 y 168,2 mV y de 39,4 a 168,53 en el estrato profundo (Tabla 4.2-16).

Tabla 4.2-16: Parámetros in situ medidos en la campaña de verano 2019. Bahía de Algodonales.

Punto de muestreo	Temperatura	Conductividad Eléctrica	Salinidad	O2	pH	Potencial Redox	Turbidez
	°C	mS/cm	g/L	mg/l	-	mV	NTU
TOC1-S	16,57	44,30	34,86	6,63	7,80	157,62	2,89
TOC1-F	15,49	43,24	34,86	4,84	7,62	161,61	1,58
TOC2-S	16,95	44,67	34,85	6,97	7,79	142,94	2,00
TOC2-F	16,11	43,81	34,82	6,45	7,72	145,01	1,66
TOC3-S	16,89	44,57	34,82	6,37	7,79	146,18	1,53
TOC3-F	16,44	44,15	34,83	6,43	7,73	145,83	1,77
TOC4-S	16,64	44,43	34,91	7,08	7,57	155,62	1,62
TOC4-F	16,43	44,14	34,83	6,31	7,69	158,79	1,67
TOC5-S	17,67	45,36	34,83	5,52	7,65	168,23	2,16
TOC5-F	16,27	43,99	34,85	5,06	7,66	168,53	1,73
TOC6-S	16,61	44,34	34,85	5,64	7,72	166,04	1,69
TOC6-F	16,29	43,99	34,82	5,12	7,72	166,72	1,97
TOC7-S	16,38	43,88	34,64	6,17	8,23	11,78	1,77
TOC7-F	16,04	43,71	34,79	5,72	7,87	39,43	1,40
CMC (Agudo) EPA,2009	-	-	-	-	-	-	-
CCC (crónico) EPA,2009	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-
CCME, 2007	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-

De los trece metales disueltos analizados (Tabla 4.2-17 y Tabla 4.2-18), seis presentaron concentraciones bajo el límite de detección (cadmio, cromo, manganeso, mercurio, níquel y plomo), el resto se detalla a continuación.

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

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

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

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

Tabla 4.2-17: Metales disueltos medidos en la campaña de verano 2019 en los puntos de muestreo TOC1, TOC2, TOC3 y TOC4, en Bahía Algodonales.

Variable mg/L	TOC-1		TOC-2		TOC-3		TOC-4		EPA,2009	
	S	F	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	0,021	0,013	**0,044**	<0,005	0,015	0,025	**0,038**	**0,072**	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088
Cobre	<0,003	<0,003	**0,007**	**0,007**	<0,003	**0,009**	<0,003	**0,012**	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	0,004	0,066	0,005	0,007	0,005	0,012	<0,002	0,011	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0,008	0,011	0,009	0,010	0,036	0,010	0,010	0,013	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,008	0,074	0,0082
Plomo	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,21	0,0081
Selenio	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,29	0,071
Vanadio	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,023	-	-
Zinc	0,005	0,023	0,025	0,006	0,022	0,033	<0,002	0,027	0,090	0,081

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

Tabla 4.2-18: Metales disueltos medidos en la campaña de verano 2019 en los puntos de muestreo TOC5, TOC6 y TOC7, en Bahía Algodonales.

Variable	TOC-5		TOC-6		TOC-7		EPA,2009	
	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	0,013	<0,005	0,033	<0,005	<0,005	0,029	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088
Cobre	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	0,009	0,009	0,010	0,007	0,006	0,015	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0,011	0,011	0,012	0,008	0,009	0,011	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,074	0,0082

Variable	TOC-5		TOC-6		TOC-7		EPA,2009	
	S	F	S	F	S	F	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Plomo	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,21	0,0081
Selenio	<0,005	0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,29	0,071
Vanadio	0,017	0,014	0,022	0,019	0,019	0,019	-	-
Zinc	0,031	0,010	0,009	0,013	0,023	0,031	0,090	0,081

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

En la Tabla 4.2-19 se adjuntan los valores de concentración de otros parámetros de interés ambiental para los puntos de muestreo TOC-1@7. Se destaca que los aceites y grasas, los hidrocarburos totales y los coliformes fecales presentaron valores bajo los límites de detección. En tanto, la concentración de clorofila a da cuenta de un estado oligotrófico-mesotrófico general a lo largo de la bahía, a excepción del punto de muestreo TOC-01, donde se destacan altos valores de concentración altos característicos de un estado eutrófico[2]. La diferencia entre estratos en las mediciones de oxígeno disuelto de la Tabla 4.2-16 en el mismo punto de medición dan cuenta del estado mencionado anteriormente.

Tabla 4.2-19: Otros parámetros de interés en estrato superficial y de fondo, bahía Algodonales, Tocopilla. Campaña verano 2019.

Parámetro	Estrato	Punto de muestreo						
		TOC-01	TOC-02	TOC-03	TOC-04	TOC-05	TOC-06	TOC-07
Aceites y grasas (mg/l)	Fondo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Superficie	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Clorofila a (mg/mg3)	Fondo	5,93	0,63	1,72	0,58	1,05	0,84	0,8
	Superficie	4,67	1,16	1,33	1,29	1,33	4,54	3,99
Coliformes fecales (NMP/100ml)	Fondo	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
	Superficie	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Hidrocarburos totales (mg/l)	Fondo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Superficie	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

4.2.1.2.2 Calidad de Sedimentos

En los sedimentos de Bahía Algodonales, al igual que en la campaña anterior, se analizó la granulometría de los sedimentos; hidrocarburos (hidrocarburos totales, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos aromáticos totales); y metales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio, talio, vanadio y zinc). A continuación, se describen en mayor detalle la granulometría y los metales que presentan un interés por su toxicidad y mayor presencia en la matriz. El resto de los

[2] Smith et al. (1999). "Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems". Environmental Pollution. 100, 179-196.

resultados se presentan en Anexos digitales: 03_OE2/00_Resultados_Laboratorio. Cabe mencionar que se tomó una réplica en cada una de las componentes.

La granulometría de los sedimentos de estudio se presenta en la Tabla 4.2-8 . El tamaño del grano de los sedimentos intermareales de Bahía Algodonales varió de arena gruesa a fina, con mayor predominancia de arena gruesa en los puntos de muestreo ubicados en caleta vieja-cenizales (SED-1), norgener (SED-5) y Playa al sur de Algodonales (SED-6. La arena fina se observó en caleta duendes (SED-2) y emisario sanitario (SED-3).

Tabla 4.2-20: Granulometría de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Verano 2019.

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

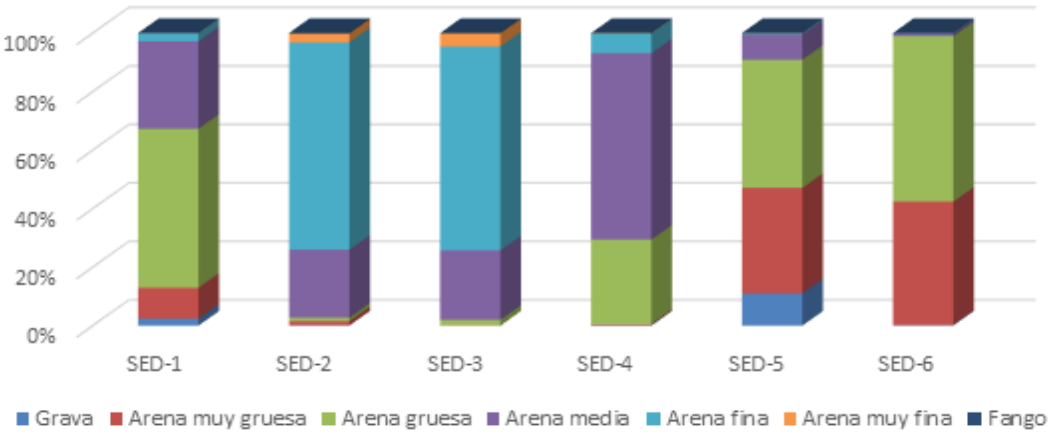


Figura 4.2-57: Granulometría en puntos de medición intermareal SED, campaña verano 2019.

En cuanto al contenido de metales de las muestras SED, la concentración de hierro varió entre 3019,0 mg/kg a 205284,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y SED-3 (emisario sanitario), respectivamente. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-22 y Tabla 4.2-21).

La concentración de cobre varió entre 12,4 mg/kg en SED-6 (playa al sur de Algodonales) y 5786,1 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando en todos los puntos el criterio ISGQ y la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) en SED-2, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-22 y Tabla 4.2-21).

La concentración de zinc varió entre 8,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 3875,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-22 y Tabla 4.2-21).

La concentración de arsénico varió entre 0,6 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 483,2 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-22 y Tabla 4.2-21).

La concentración de vanadio varió entre 21,1 mg/kg en SED-6 (playa al sur de caleta algodonales) y 154,7 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) 5 (Tabla 4.2-22 y Tabla 4.2-21).

La concentración de cromo varió entre 8,5 mg/kg en SED-5 (norgener) y 38,0 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), ningún punto superó los criterios de CCME,2002 (Tabla 4.2-22 y Tabla 4.2-21).

La concentración de plomo varió entre 0,5 mg/kg en SED-6 (playa al sur Punta Algodonales) y 29,9 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), ningún punto superó los criterios de CCME,2002 (Tabla 4.2-22 y Tabla 4.2-21).

La concentración de cadmio varió entre 0,1 mg/kg en SED-1 (playa al sur de algodonales) y SED-2 (caleta duendes) a 0,5 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), superando el criterio ISGQ correspondiente a 0,7 mg/kg en este último (Tabla 4.2-21).

Tabla 4.2-21: Concentración de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

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

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		SED-01	SED-02	SED-03	SED-04	SED-05	SED-06	ISGQ	PEL
Mercurio	mg/kg	0,01	0,05	0,04	0,05	0,08	0,01	0,13	0,7
Manganeso	mg/kg	69	386	239	325	115	22	(*)	(*)

(*) Normativa no establece límite de referencia.
Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002)
Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002)

Luego, considerando las mediciones realizadas en los puntos SED, se destaca en la bahía que en general los metales con mayor presencia en los sedimentos superficiales intermareales fueron el hierro (71883,2 ± 72398,1 mg/kg), cobre (2718,6 ± 2498,1 mg/kg) y zinc (956,3 ± 1460,1 mg/kg). Seguido de molibdeno (280,3 ± 260,2 mg/kg), manganeso (192,67 ± 133,85 mg/kg), arsénico (164,3 ± 178,9 mg/kg) y vanadio (94,5 ± 55,5 mg/kg) (Tabla 4.2-22). Espacialmente, las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (SED-2), emisario sanitario (SED-3), Playa/camping (SED-4) y Norgener (SED-5), indicando un menor flujo de energía en estos sectores, condiciones que favorecen la depositación. La excepción a este patrón se observó con el vanadio ya que las concentraciones de metales fueron mayores en caleta vieja (SED-1), disminuyendo hacia el sur.

Tabla 4.2-22: Concentración promedio de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Verano 2019.

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Hierro	6	71883,17	66090,14	3019,00	205284,00
Cobre	6	2718,62	2280,43	12,40	5786,10
Zinc	6	956,33	1332,89	8,00	3875,00
Molibdeno	6	280,33	237,55	5,00	696,00
Manganeso	6	192,67	133,85	22,00	386,00
Arsénico	6	164,34	163,27	0,55	483,20
Vanadio	6	94,53	50,69	21,10	154,70
Cromo	6	20,03	11,44	8,50	38,00
Plomo	6	10,67	9,88	0,50	29,90
Níquel	6	7,50	4,76	1,50	14,50
Selenio	6	1,00	0,00	1,00	1,00
Talio	6	1,00	0,00	1,00	1,00
Cadmio	6	0,25	0,15	0,10	0,50
Mercurio	6	0,04	0,02	0,01	0,08

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

El tamaño del grano de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales varió de grava a arena muy fina, con mayor predominancia de arena fina y muy fina. La grava se observó al

sur de la bahía, específicamente en el punto TOC-7, mientras que la arena muy fina en TOC-3, TOC-4 y TOC-5 (Tabla 4.2-23 y Figura 4.2-58).

Tabla 4.2-23: Granulometría de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

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

(-) punto de muestreo sin sedimentos.

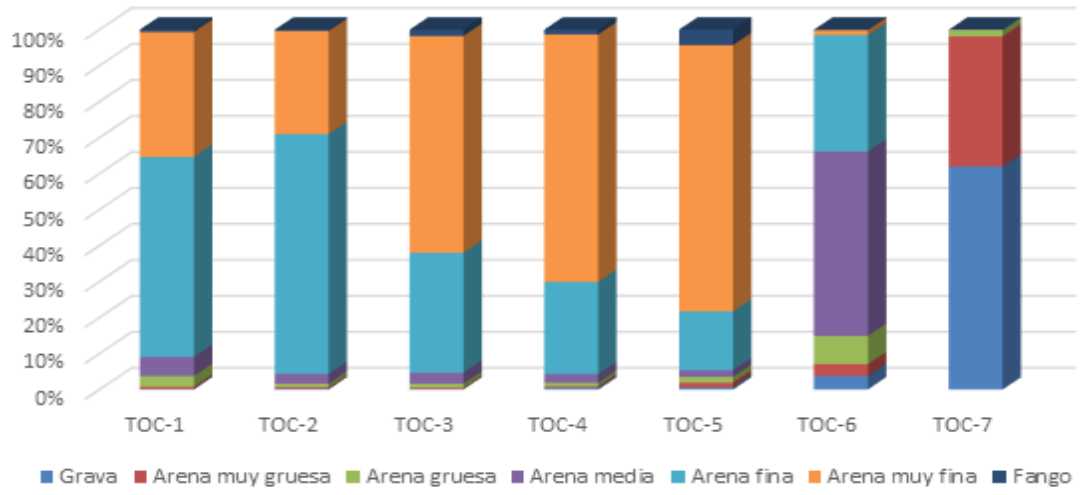


Figura 4.2-58: Granulometría en puntos de medición submareal TOC, campaña verano 2019.

En cuanto al contenido de metales en los puntos de medición submareales TOC, la concentración de hierro varió entre 22083,0 mg/kg y 185589,0 mg/kg en TOC-7 (Lipesed) y TOC-2 (caleta duendes), respectivamente. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24)

La concentración de cobre varió entre 95,4 mg/kg en TOC-1 (Caleta vieja-cenizales) y 4363,6 mg/kg en TOC-3 (emisario sanitario), superando, a excepción de TOC-1, la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24).

La concentración de zinc varió entre 5,0 mg/kg en TOC-7 (playa al sur de Punta Algodonales) y 3653,0 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), superando la concentración a partir de la cual

es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos TOC-02, TOC-3, TOC-4 y TOC-5) (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24)

La concentración de arsénico varió entre 3,4 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja, cenizales) y 403,0 mg/kg en TOC-2 (Caleta Duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos TOC-02, TOC -3, TOC -4 y TOC-5 (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24)

La concentración de vanadio varió entre 14,0 mg/kg en TOC-7 (playa al sur de Punta Algodonales) y 221,9 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja, cenizales), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24)

La concentración de cromo varió entre 0,8 mg/kg en TOC-7 (playa al sur de Punta Algodonales) y 48,1 mg/kg en TOC-2 (Caleta Duendes), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 52,3 mg/kg (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24).

La concentración de plomo varió entre 0,8 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y 27.3 mg/kg en TOC-5 (norgener), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 30,2 mg/kg (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24).

La concentración de cadmio varió entre 0,1 mg/kg en TOC-1, TOC-3 y TOC-7 a 0,5 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 0,7 mg/kg (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24).

Tabla 4.2-24: Concentración de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

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

Variable	unidad	PUNTO DE MUESTREO							CCME (2002)	
		TOC-01	TOC-02	TOC -03	TOC -04	TOC -05	TOC-06	TOC-7	ISGQ	PEL
Manganeso	Mg/kg	61,00	291,00	385,00	315,00	210,00	128,00	131,00	(*)	(*)

(*) Normativa no establece límite de referencia.
Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002)
Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002)

Así, considerando las mediciones realizadas en cada uno de los puntos submareales TOC, se destaca que en general los metales con mayor presencia en los sedimentos submareales fueron el hierro (85074,6 ± 61542,3 mg/kg), cobre (2240,4 ± 1890,7 mg/kg) y zinc (1162,1 ± 1373,5 mg/kg). Seguido de molibdeno (304,4 ± 326,8 mg/kg), manganeso (217,29 ± 108,89), vanadio (129,2 ± 67,6 mg/kg) y arsénico (126,6 ± 149,0 mg/kg) (Tabla 4.2-25). Espacialmente las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (TOC-2), planta de lixiviación (TOC-3), Playa/camping (TOC -4) y Norgener (TOC-5). Lo cual sugiere que en estos puntos existe un menor flujo de energía, condiciones que favorecen la depositación (Tabla 4.2-25 y Tabla 4.2-24).

Tabla 4.2-25: Concentración promedio de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Hierro	7	85074,57	56977,14	22083,00	185589,00
Cobre	7	2240,44	1750,48	95,40	4363,60
Zinc	7	1162,14	1271,62	5,00	3653,00
Molibdeno	7	304,43	302,58	9,00	853,00
Manganeso	7	217,29	108,89	61,00	385,00
Vanadio	7	129,21	62,63	14,00	221,90
Arsénico	7	126,62	137,98	3,40	403,00
Cromo	7	23,97	13,55	0,80	48,10
Níquel	7	17,16	14,50	1,50	48,90
Plomo	7	16,34	10,43	0,80	27,30
Selenio	7	1,00	0,00	1,00	1,00
Talio	7	1,00	0,00	1,00	1,00
Cadmio	7	0,23	0,16	0,10	0,50
Mercurio	7	0,04	0,02	0,01	0,06

En la Tabla 4.2-26 se adjuntan los valores de concentración de hidrocarburos en sedimentos, tanto en el estrato intermareal (SED-1@6) como en el submareal (TOC-1@7), donde se destaca la baja concentración presente en cada uno de los puntos de muestreo, de manera tal que se encuentran bajo el límite de detección.

Tabla 4.2-26: Concentraciones de hidrocarburos en sedimentos en bahía Algodonales, Tocopilla. Campaña verano 2019.

Punto de muestreo	Hidrocarburos alifáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos totales (mg/kg)
SED-01	<9,1	<9,1	<9,1
SED-02	<9,7	<9,7	<9,7
SED-03	<9,2	<9,2	<9,2
SED-04	<9,4	<9,4	<9,4
SED-05	<9,7	<9,7	<9,7
SED-06	<9,7	<9,7	<9,7
TOC-01	<9,7	<9,7	<9,7
TOC-02	<9,7	<9,7	<9,7
TOC-03	<9,6	<9,6	<9,6
TOC-04	<9,7	<9,7	<9,7
TOC-05	<9,7	<9,7	<9,7
TOC-06	<9,3	<9,3	<9,3
TOC-07	<9,5	<9,5	<9,5

4.2.1.2.3 Comunidades planctónicas

iv. Fitoplancton

En el análisis cualitativo de fitoplancton asociado a la campaña estival se registró la presencia de un total de 32 taxa, de los cuales 16 corresponden al grupo de las diatomeas, 15 taxa al grupo de los dinoflagelados y el resto a otros grupos taxonómicos (Tabla 4.2-15). La distribución espacial de fitoplancton fue heterogénea entre los puntos de muestreo, registrando índices de abundancia relativa entre “Raro” (R) a “Muy Abundante” (M). El dinoflagelado *Tripos fusus* presentó un índice de abundancia relativa “Muy Abundante” (MA) en toda el área de estudio con una frecuencia de ocurrencia del 100%. Otros dinoflagelados “Abundante” y “Muy Abundante” en más de la mitad de los puntos prospectados fueron *Protoperidinium pellucidum* y *Protoperidinium* spp.

Tabla 4.2-27 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) de la comunidad de fitoplancton obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019. R: Raro, E: Escaso, A: Abundante, MA: Muy Abundante.

Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Chaetoceros spp.	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**
Asteromphalus sp.						R	E
Biddulphia sp.			E	E	E		
Chaetoceros sp.		E					
Chaetoceros spp.	E		E		E		
Coscinodiscus sp.	E		E	E			
Coscinodiscus spp.					E	E	**A**
Detonula sp.		E					
Grammatophora sp.				E			R
Lithodesmium sp.		E			E	E	**A**

Diatomeas	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Pennales ind.					R		
Planktoniella sp.		E		E			E
Pleurosigma sp.		R		E		R	E
Pseudonitzschia sp.					E		
Rhizosolenia sp.	E						
Thalasionema sp.				E			
Thalassiosira sp.	R	E	E		R	A	A
Dinoflagelados	**TOC-1**	**TOC-2**	**TOC-3**	**TOC-4**	**TOC-5**	**TOC-6**	**TOC-7**
Dinophysis sp.	E	A		MA			
Dinophysis spp.			MA				
Gonyaulax sp.		E	E	E	E		
Prorocentrum sp.		E	E	E	E		A
Protoperidinium claudicans			E	R	E	E	R
Protoperidinium pellucidum	A	MA	A	MA	MA		
Protoperidinium sp.							E
Protoperidinium spp.	A	MA	MA	MA	MA	E	
Tripos balechii					R		
Tripos fusus	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Tripos limulus		A	E	A	MA		
Tripos lineatus	E	A	A	E			
Tripos muelleri		E	R	R			
Tripos sp.	R	A	MA			R	
Tripos spp.				MA	MA		
Otros grupos							
Octactis sp.	E			E	E	R	A
Chlorophyceae ind						R	

En el análisis cuantitativo de fitoplancton se registró un total de 54 taxa, de los cuales 26 taxa pertenecen al grupo de las diatomeas, 25 taxa al grupo de los dinoflagelados y el resto a otros grupos de menor representación taxonómica. No se observa un patrón espacial en particular (Figura 4.2-14a).

La abundancia de fitoplancton, en general, registró las mayores magnitudes en el sector sur del área de estudio (TOC-6-TOC-3) (Figura 4.2-14b).

Entre las microalgas identificadas, el dinoflagelado *Tripos fusus* registró las mayores abundancias en toda el área de estudio (TOC-1 a TOC-7), tanto en el estrato superficial (Figura 4.2-15) como en el de fondo (Figura 4.2-16).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en los puntos extremos del sector norte (TOC-1) y sur (TOC-7) en los dos estratos. En cuanto al índice de equidad (J') se observó que para todos los

puntos y estratos valores cercanos a 0,5 bits. Esto nos indicaría que en general en los extremos de la bahía existiría alta diversidad con un grupo dominante de taxa. Para el resto de los puntos cercanos y dentro de la bahía existiría una baja diversidad de especies poco equitativas por un grupo dominante (Figura 4.2-62).

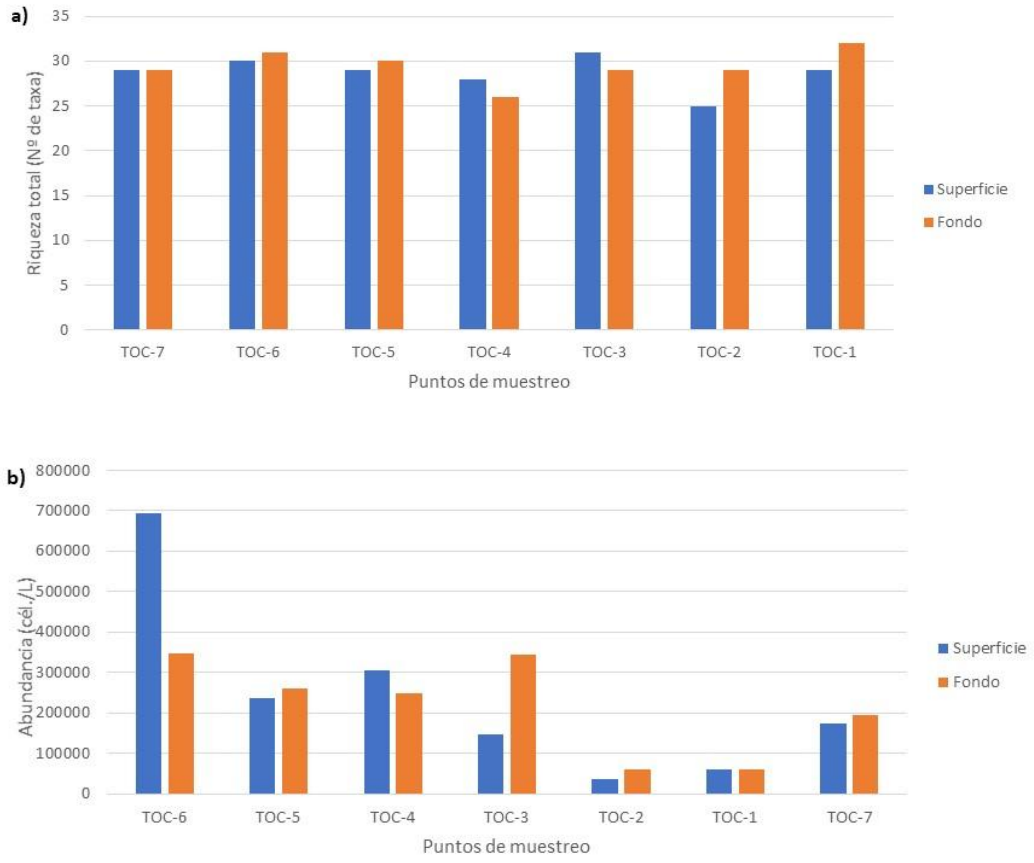


Figura 4.2-59 a) Riqueza y (b) Abundancia del Fitoplancton en dos estratos de la columna de agua (Superficie y Fondo). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

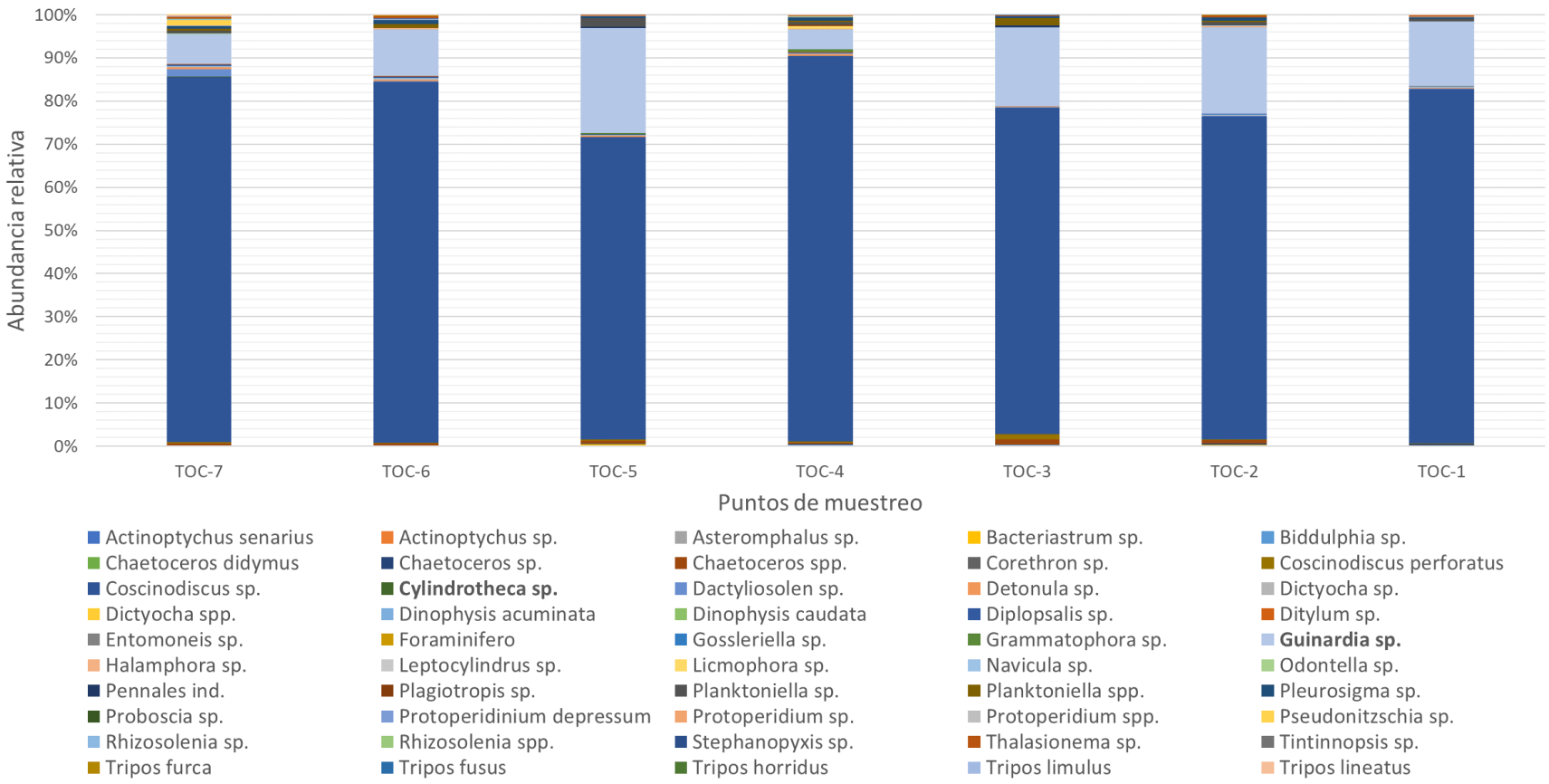


Figura 4.2-60 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato superficial de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

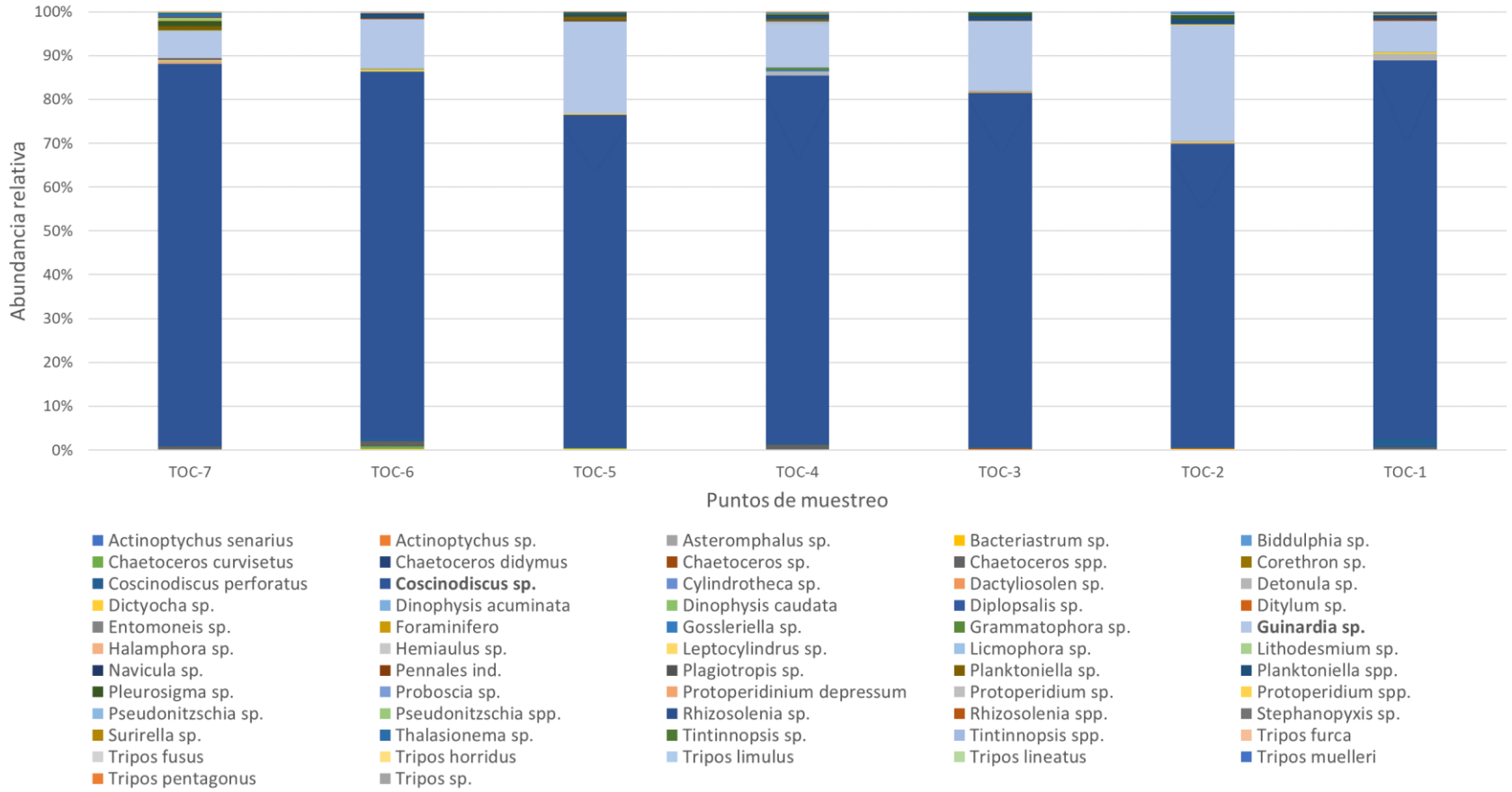


Figura 4.2-61 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato fondo de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

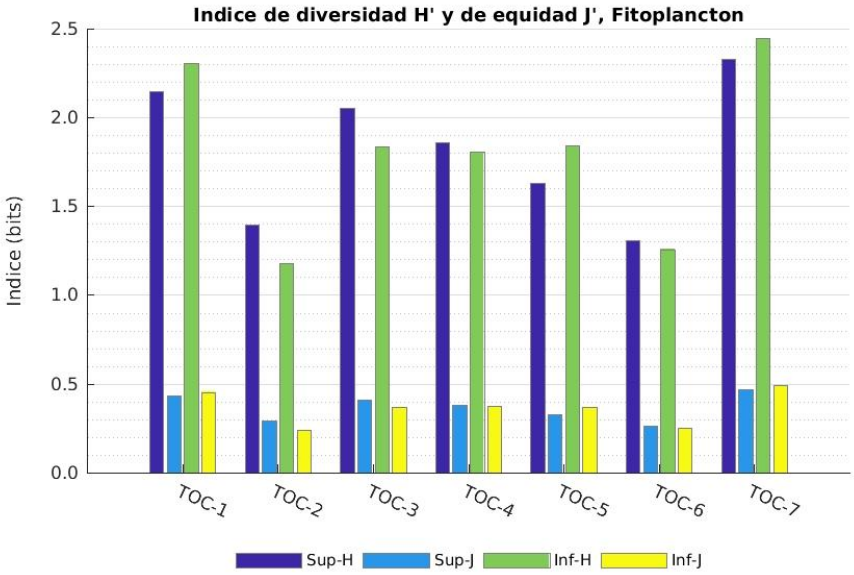


Figura 4.2-62 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades fitoplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de fitoplancton, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-63). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fitoplancton, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,847 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que los dinoflagelados *Gonyaulax* sp. y *Tripos fusus*. fueron las especies que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

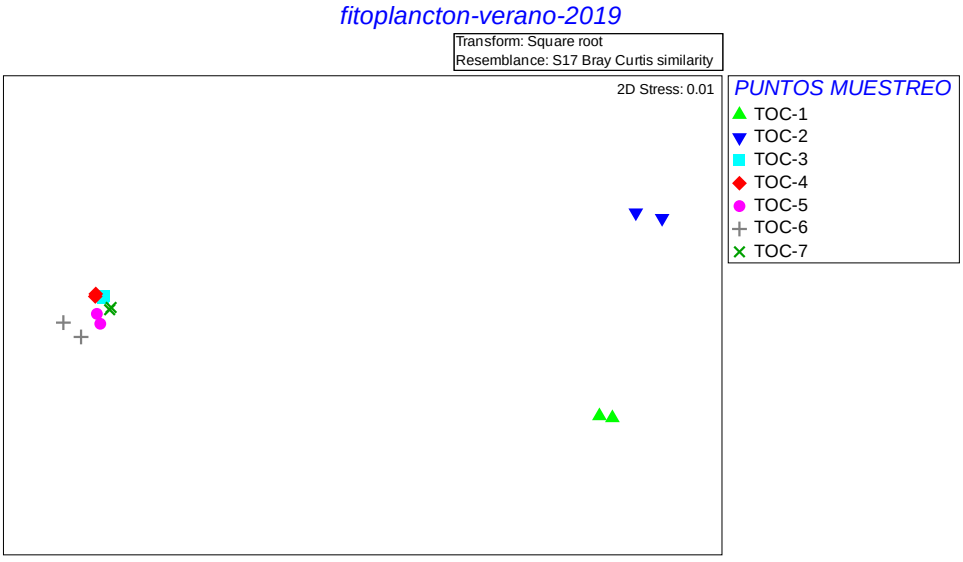


Figura 4.2-63 Análisis Escalamiento Multidimensional de fitoplancton, entre siete puntos de muestreo durante verano 2019.

v. Zooplancton

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

El Meroplancton registró 22 taxa. A nivel espacial, la riqueza total presentó en general un patrón homogéneo en el área de estudio, destacando el valor más alto de riqueza en el sector norte del área de estudio (TOC-2) (Figura 4.2-19a). En cuanto a la abundancia, las mayores magnitudes se registraron en el sector sur del área de estudio (TOC-6 y TOC-7) (Figura 4.2-19b).

La composición de taxa indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios y poliquetos en el área de estudio. (Figura 4.2-20).

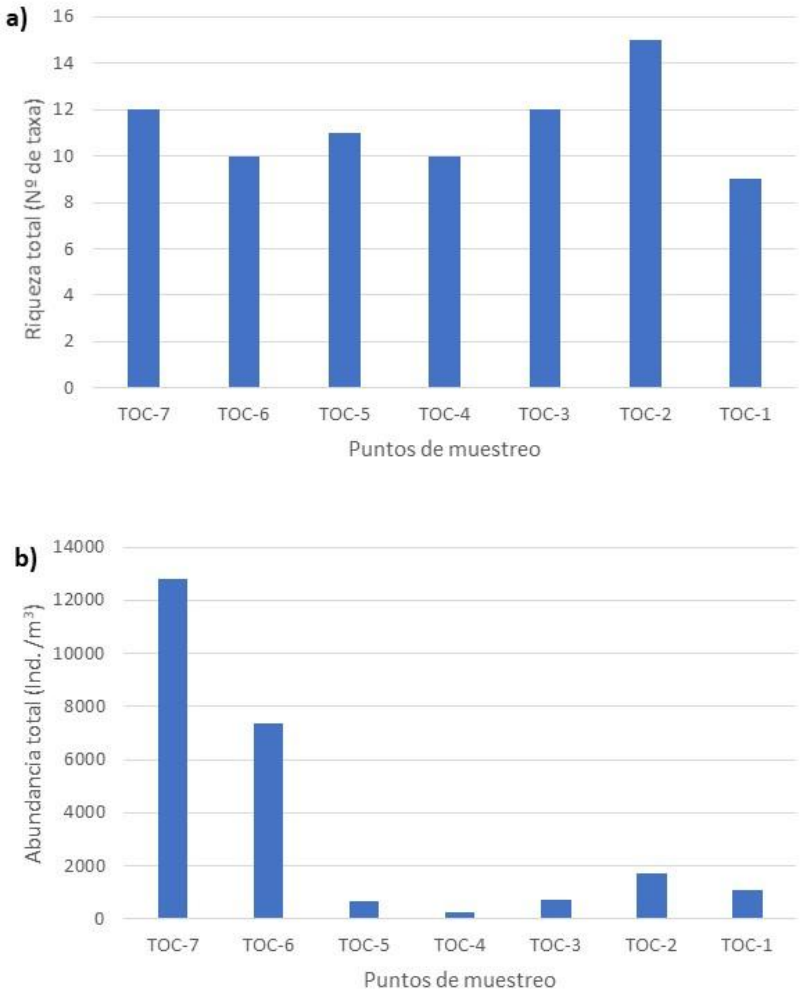


Figura 4.2-64 a) Riqueza y (b) Abundancia del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

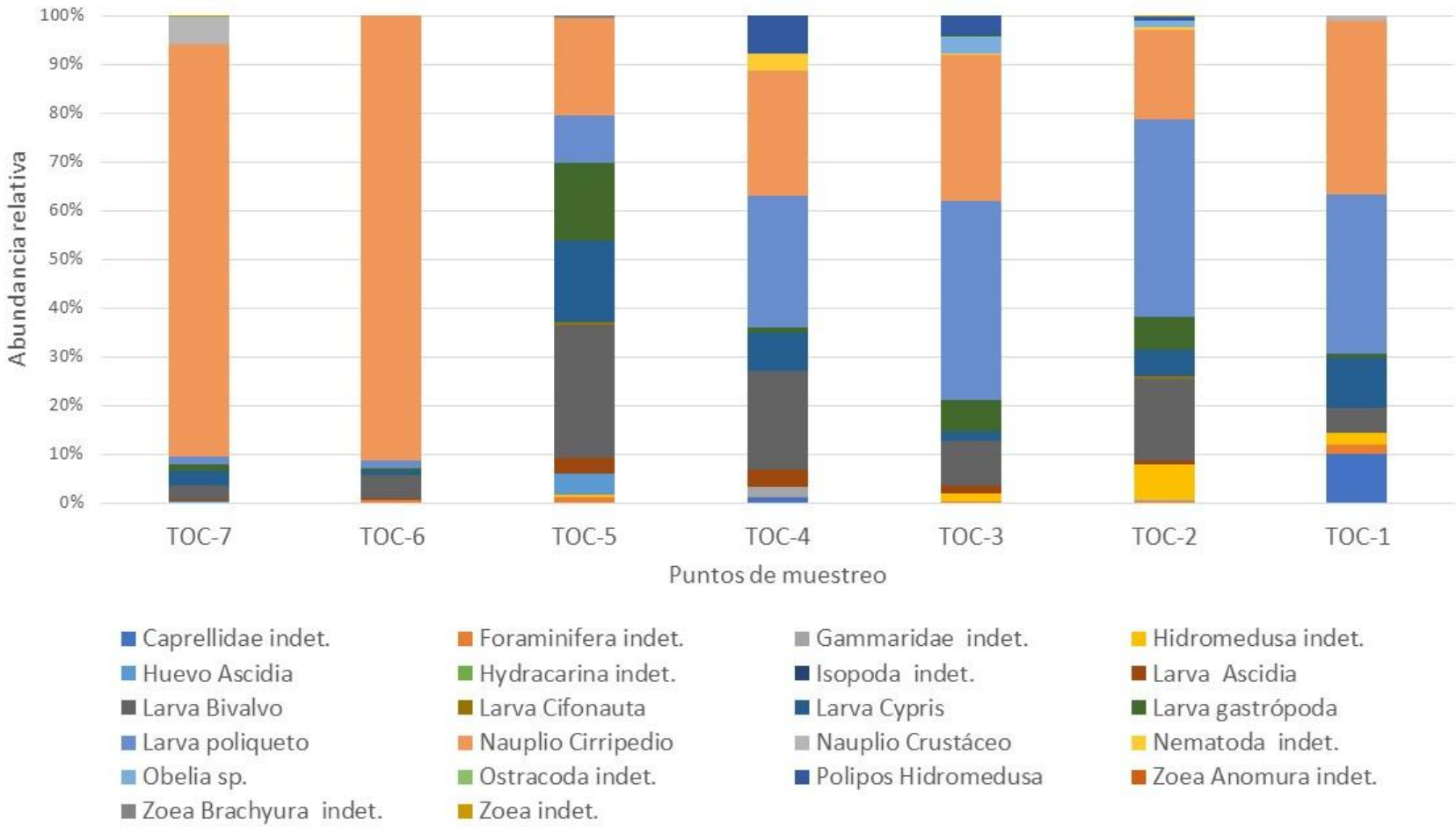


Figura 4.2-65 Abundancia Relativa (%) del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

El Holoplancton registró 15 taxa compuesto principalmente por Copépodos. A nivel espacial, en general, la riqueza total presentó en general un patrón homogéneo en el área, donde el mayor valor se observó en el sector norte del área de estudio (TOC-2) (Figura 4.2-21a). En cuanto a la abundancia, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos de muestreo, observándose las mayores magnitudes en los puntos de muestreo localizados hacia el sur TOC-7 y TOC-6 (Figura 4.2-21b).

Durante la campaña de verano en el área de estudio se registró mayor presencia de copépodos. Las mayores abundancias relativas fueron registradas por estados ontogénicos tempranos de copépodos (Figura 4.2-22).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector norte (TOC-1) presentando valores sobre 2 bits. En cuanto al índice de equidad (J') el valor promedio más alto también se observó en el punto TOC-1, con valores sobre 0,5. En general esto nos indican que el ensamble presentó una alta diversidad en la zona norte del estudio de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa el cual puede estar dado principalmente por estadios temprano de copépodo (Figura 4.2-68).

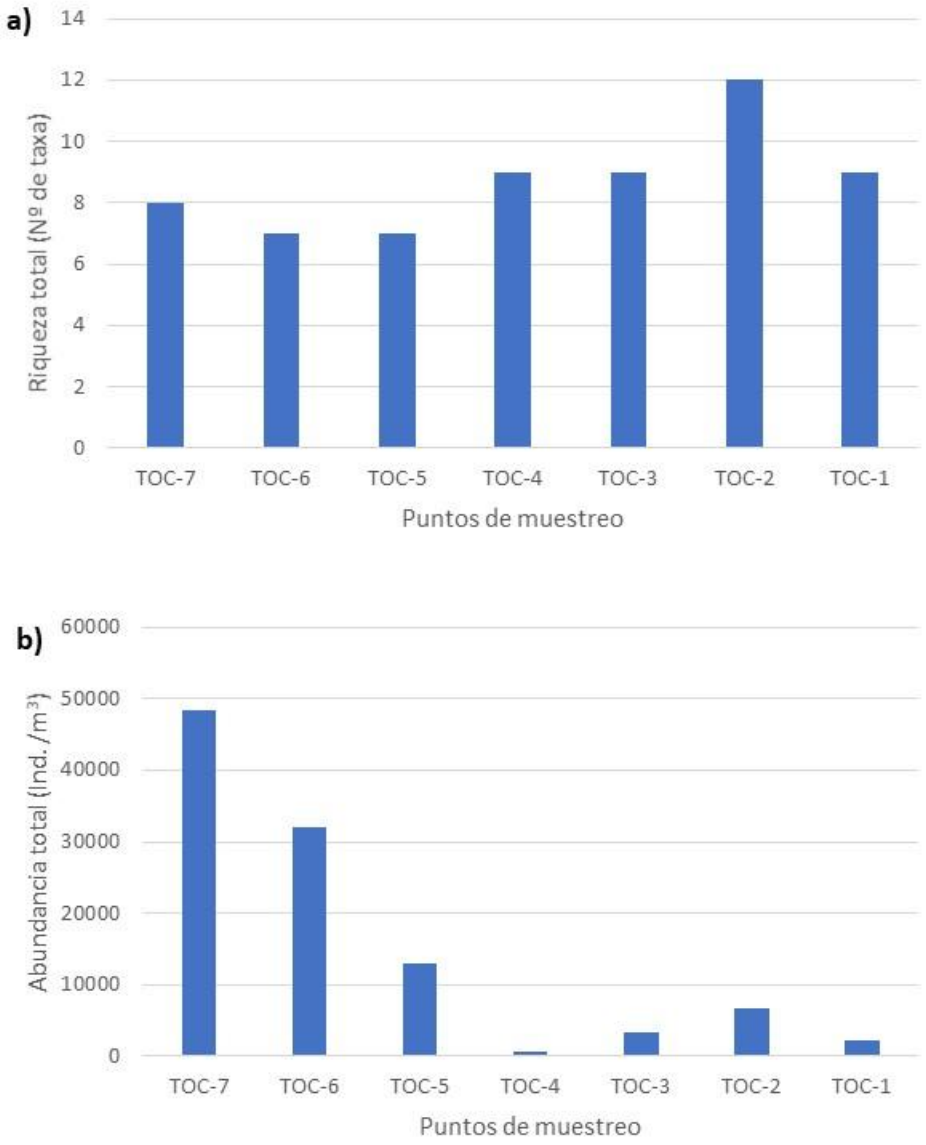


Figura 4.2-66 a) Riqueza y (b) Abundancia del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

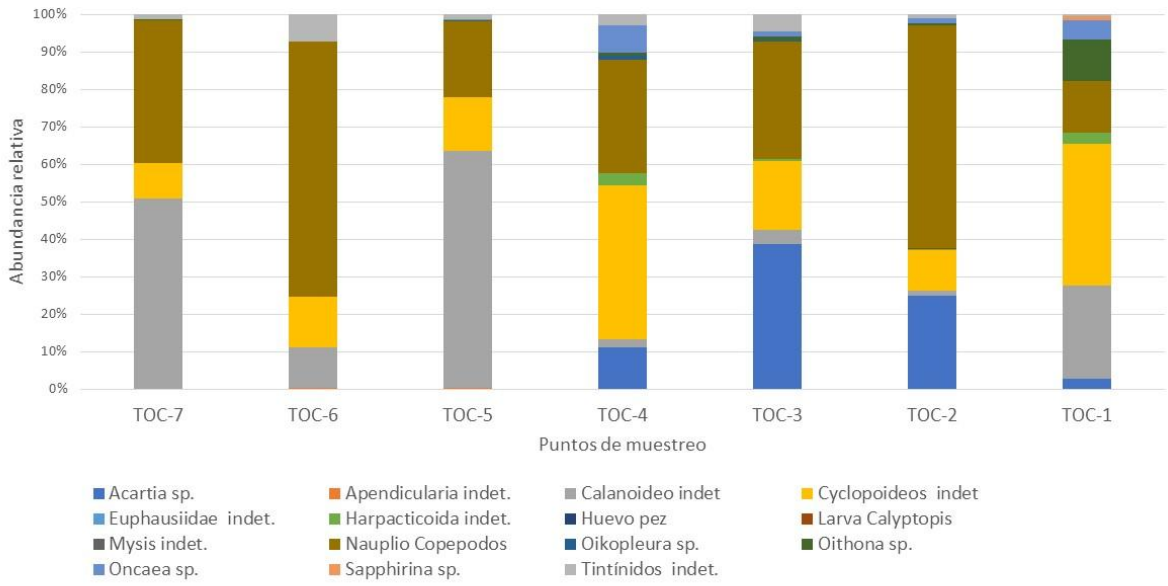


Figura 4.2-67 Abundancia Relativa (%) del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

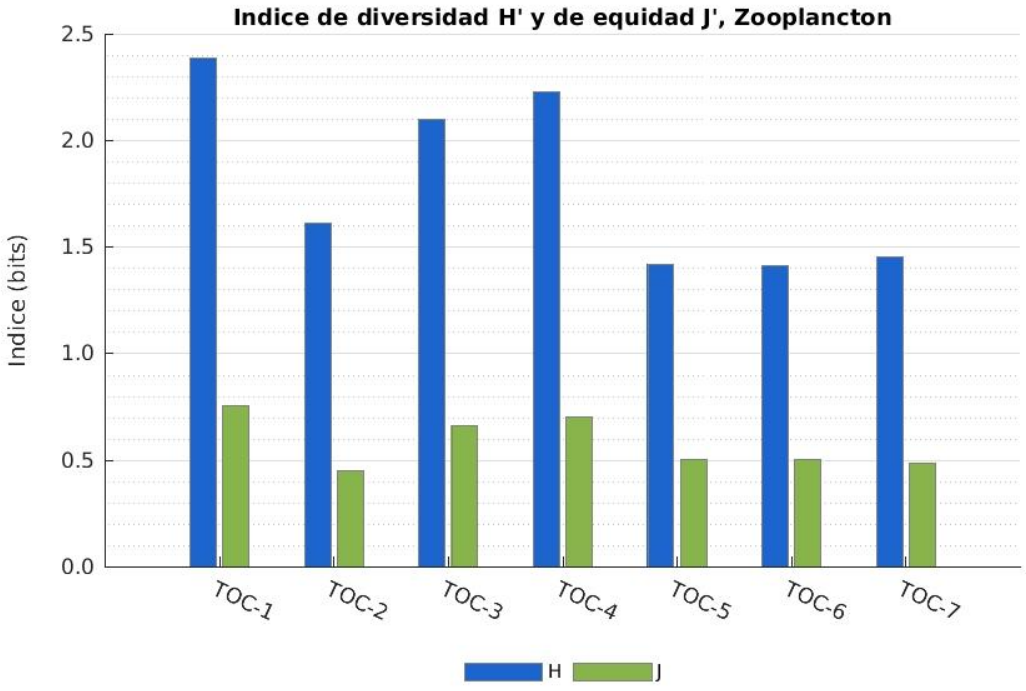


Figura 4.2-68 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades zooplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de zooplancton, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-69). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la

composición y abundancia de zooplancton, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,857 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el estado nauplio Copepoda indet. y Calanoideo indet. fueron las especies que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

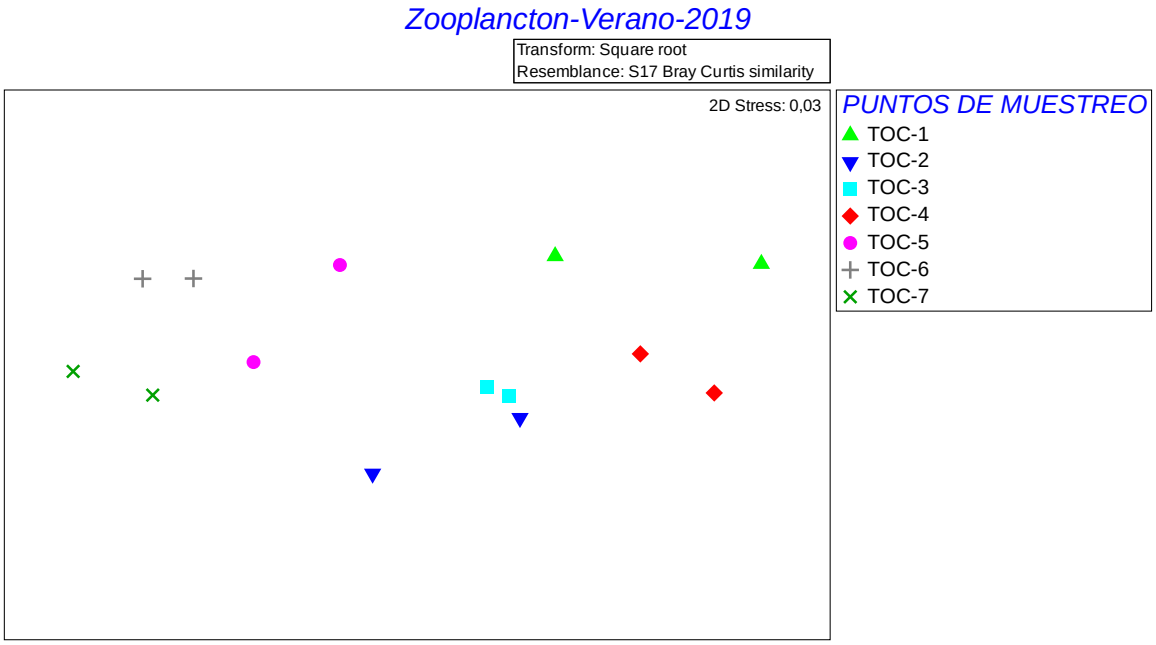


Figura 4.2-69 Análisis Escalamiento Multidimensional de zooplancton, entre siete puntos de muestreo durante verano 2019.

vi. Ictioplancton

El ictioplancton alcanzó valores discretos durante la campaña estival, alcanzando una riqueza total de 2 taxa. La riqueza total en el área de estudio presentó valores homogéneos entre los escasos puntos de muestreo donde se reconoció la presencia de ictioplancton, conformado exclusivamente por huevos (Figura 4.2-25a).

La abundancia presentó las mayores magnitudes en la porción de los huevos en el sector del área de estudio (TOC-5), no se detectó la presencia de larvas de peces (Figura 4.2-25b).

Para determinar la dominancia de organismos del ictioplancton en el área de estudio, se consideraron todos los taxa registrados durante la campaña actual. El Mote (*Normanichtys crockeri*) y el Baúnco (*Girella laevifrons*) dominaron en forma exclusiva en la porción de huevos de los escasos puntos de muestreo donde se reconocieron representantes de esta fracción del zooplancton (Figura 4.2-26 a y b).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y de equidad (J') en comunidades ictioplanctónicas para la campaña verano 2019 no fue posible obtener datos por la baja

cantidad de datos obtenidos, causado por la baja cantidad de especies por punto (Figura 4.2-72).

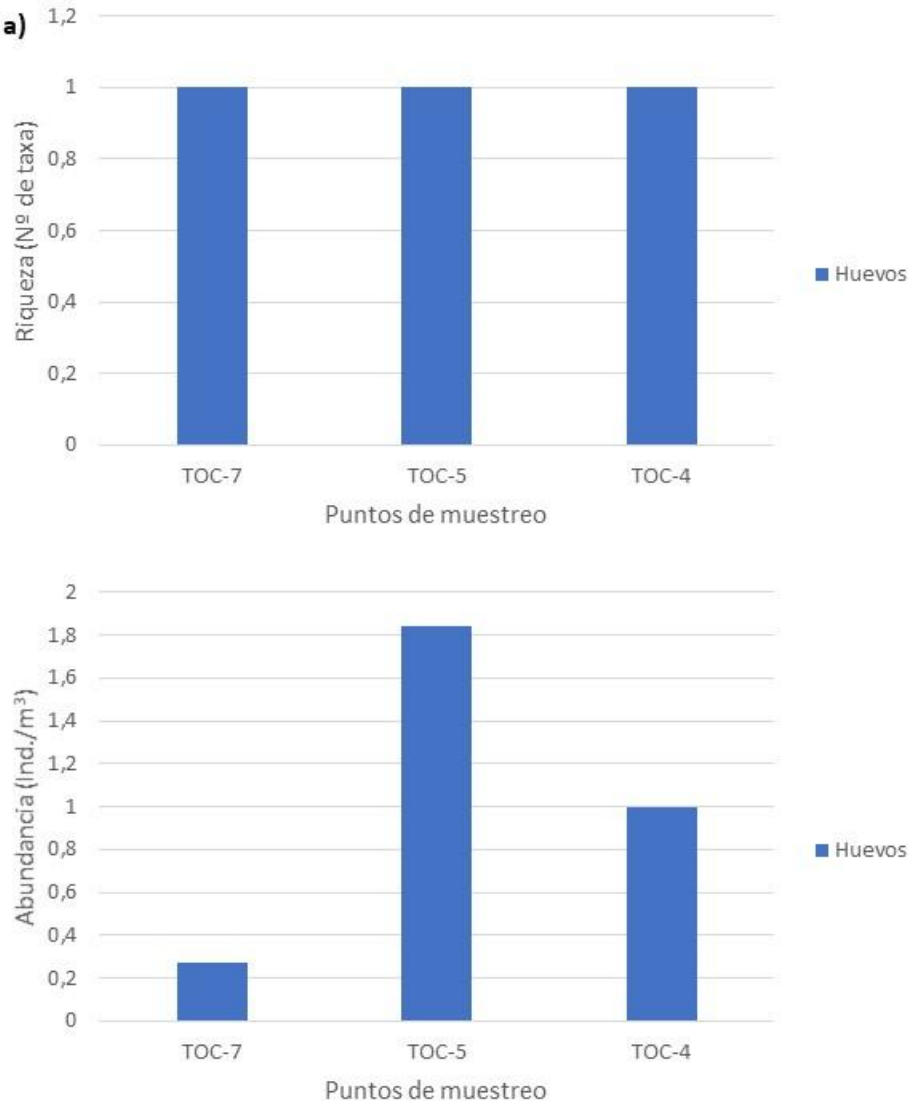


Figura 4.2-70 a) Riqueza y (b) Abundancia del ictioplancton (Huevos). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

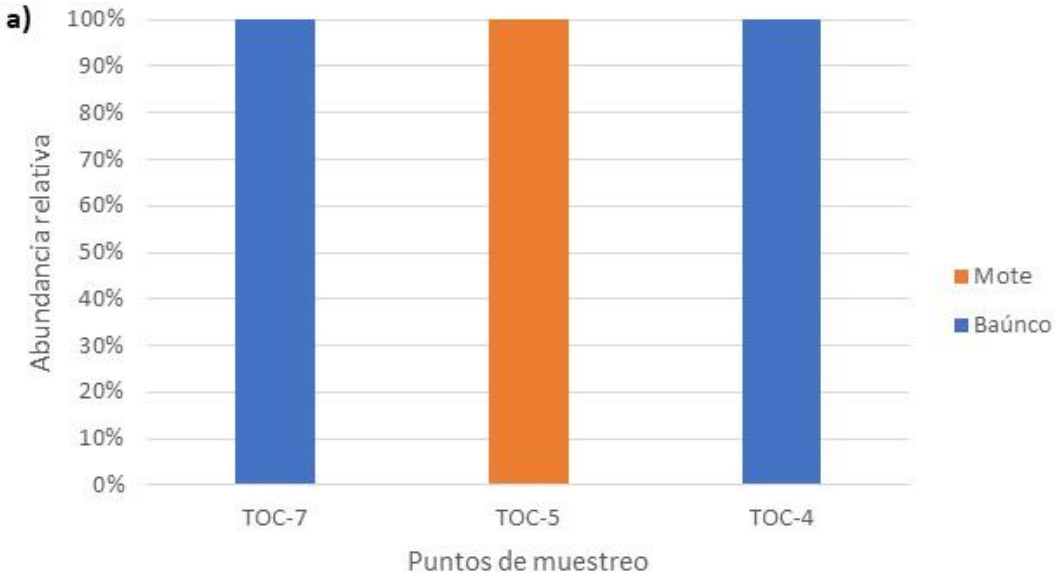


Figura 4.2-71 (a) Abundancia Relativa (%) de porción de Huevos del ictioplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2019.

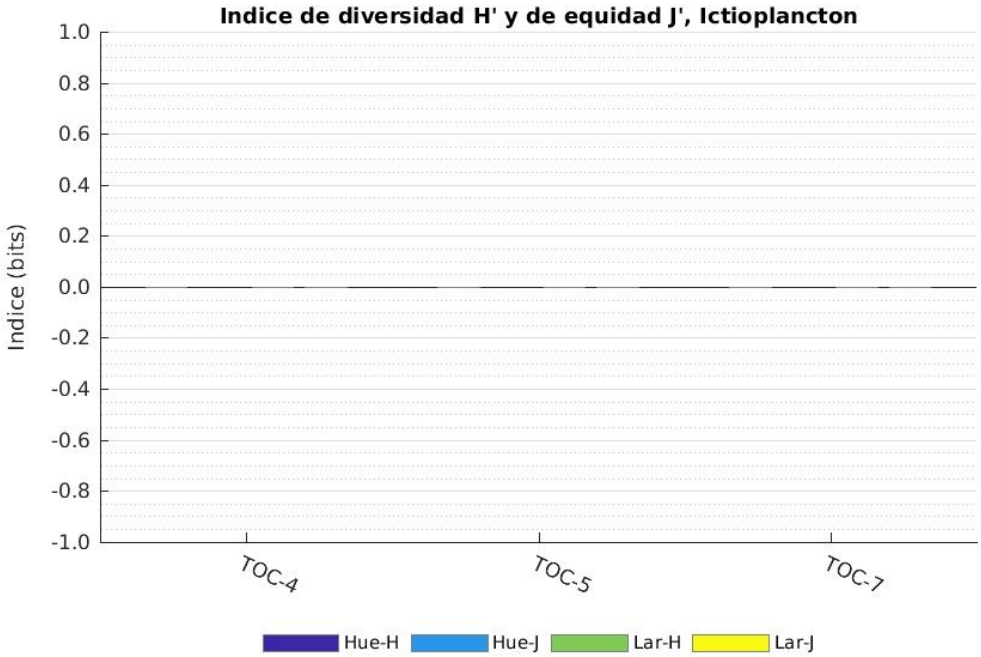


Figura 4.2-72 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades ictioplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

4.2.1.2.4 Comunidades bentónicas submareal blando

Los ensambles de macroinfauna submareal prospectados estuvieron constituidos en total por 28 grupos taxonómicos. La mayor riqueza fue registrada en la zona centro-sur del área de estudio (TOC-4 y TOC-5) y la menor en el sector centro-norte (TOC-3) (Figura 4.2-28a).

Con relación a los valores de abundancia estimados en el área de estudio, las mayores magnitudes fueron registradas en las zonas central y sur del área de estudio (TOC-4 y TOC-6). En tanto, las densidades más bajas se registraron fundamentalmente en la zona centro-norte (Figura 4.2-28b).

Respecto de la biomasa estimada en la zona de interés, se observó que el registro más alto se detectó hacia el sector sur del área de estudio (TOC-6). En tanto, los valores más bajos se concentraron en la zona centro-norte (Figura 4.2-28c).

Con relación a las abundancias relativas estimadas en los ensambles prospectados, se constató que el grupo de los gusanos poliquetos representaron el grupo dominante en casi la totalidad del área de estudio (excepto en algunas zonas puntuales del sector norte – TOC-2). Las especies dominantes en la zona centro-sur (TOC-5 a TOC-7) zona centro (TOC-3) y extremo norte del área de estudio (TOC-1), son características de sustratos finos (Familias Spionidae y Hesionidae). En tanto, en la zona centro del área de estudio (TOC-4) dominaron gusanos poliquetos característicos de sustratos un poco más gruesos (Familia Pectinariidae). Solamente en el sector norte (TOC-2) se observó la dominancia relativa de un grupo faunístico distinto del grupo de poliquetos, representados por el grupo de los decápodos pagúridos (cangrejos ermitaños), representados por el género *Pagurus* sp. (Figura 4.2-29).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde los mayores valores se registraron en el sector dentro de la bahía con valores mayores a 2 bits (excepto TOC-3). En cuanto al índice de equidad (J') el valor más alto se observó en el punto TOC-2, con valores sobre 0,5 bits. Esto nos indican que en general los puntos dentro de la bahía presentarían una alta diversidad con grupos equitativos (Figura 4.2-75).Figura 4.2-23

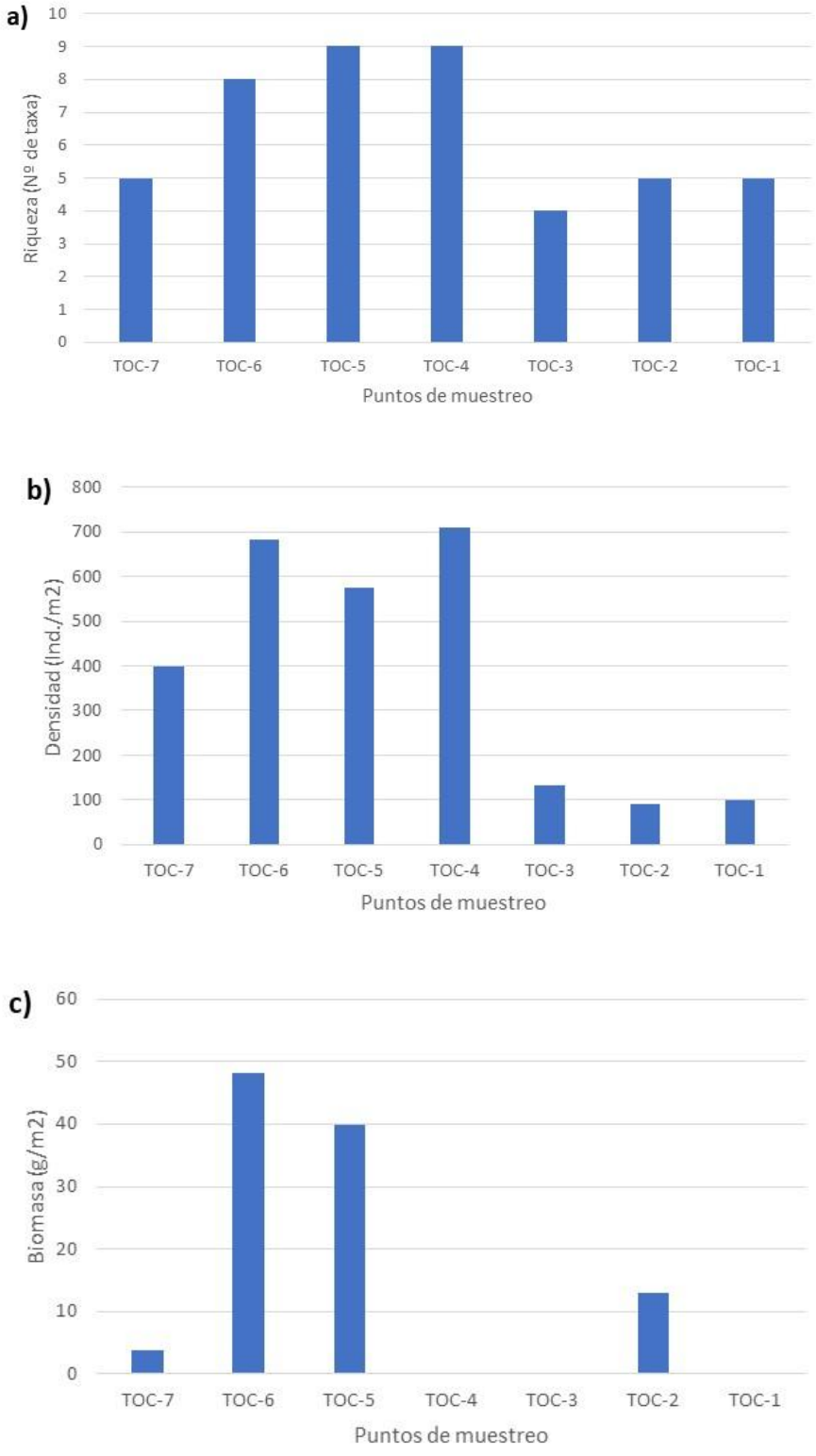


Figura 4.2-73 Riqueza (a), Densidad (b) y biomasa (c) de ensambles de macroinfauna submareal presentes en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

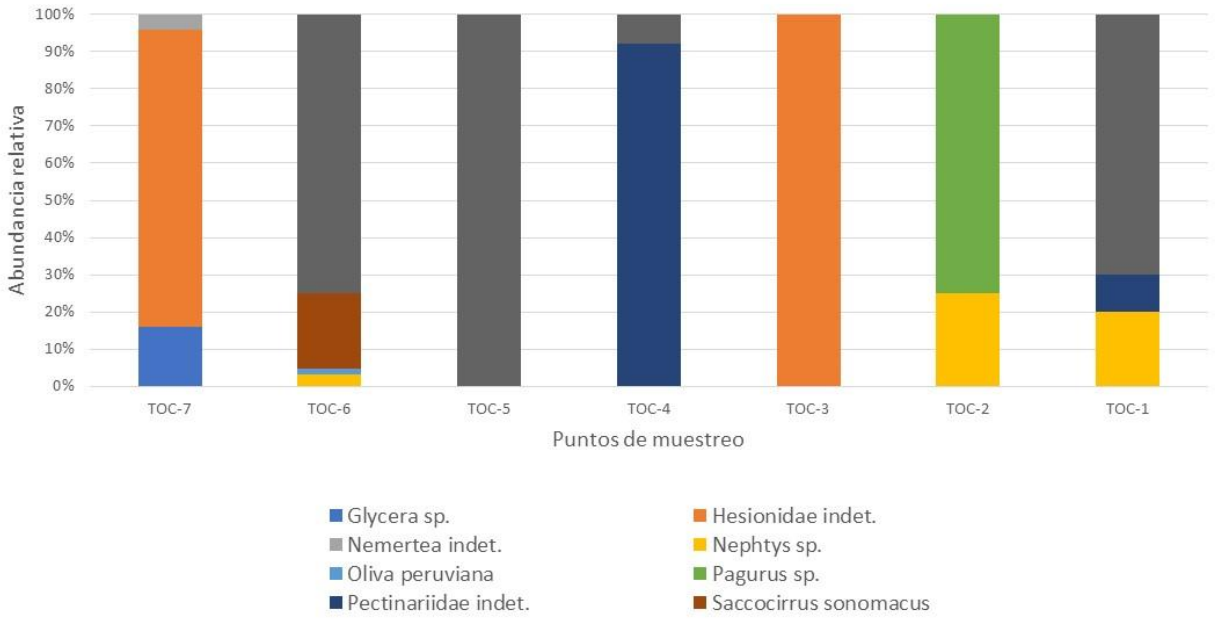


Figura 4.2-74 Abundancia relativa de ensambles de macroinfauna submareal presente en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

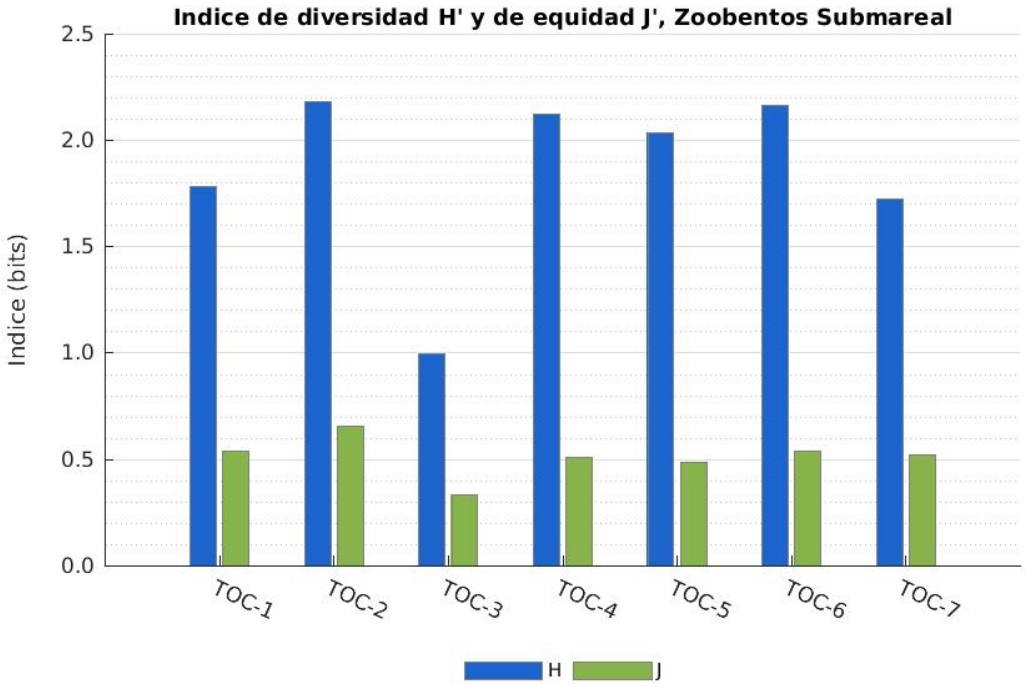


Figura 4.2-75 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien heterogénea de las comunidades bentónicas del submareal de fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-76). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos submareal, el cual indicó una distribución espacial con una leve formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,66 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el grupo de Spionidae indet. fue el que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

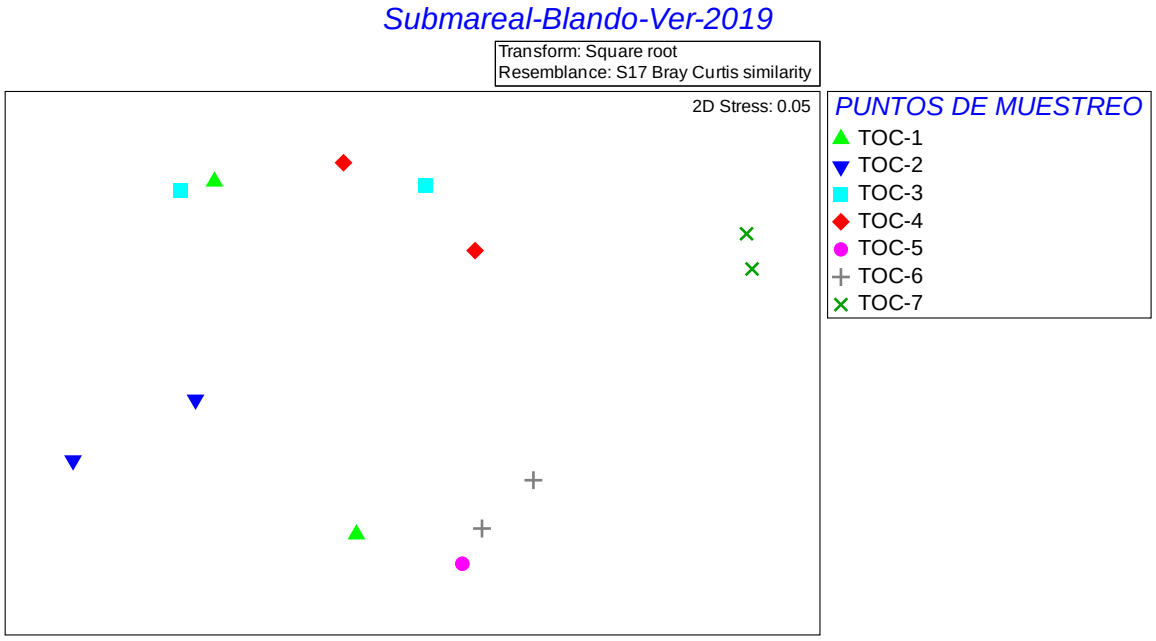


Figura 4.2-76 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos submareal blando, entre los siete puntos de muestreo evaluado durante verano 2019.

El análisis comparativo de las curvas de k-dominancia efectuado a los registros levantados durante la campaña estival para los ensambles completos de invertebrados prospectados en cada uno de los puntos de muestreo visitados mostró que de los siete puntos analizados en 5 de ellos la relación entre ambas curvas de k-dominancia es homologable a una condición de no perturbación de dichos ensambles (puntos TOC-1, TOC-2, TOC-5, TOC-6 y TOC-7). En contraste, uno de los puntos prospectados localizado en bahía Algodonales a la cuadra de ciudad de Tocopilla (TOC-3), presentó una relación entre ambas curvas propia de ensambles perturbados donde la curva de abundancia se sitúa por sobre la de biomasa y el valor del estadígrafo W alcanza valores negativos distintos de 0. Por otra parte, el punto de muestreo TOC-4, también localizado en Bahía Algodonales frente a la ciudad de Tocopilla, presentó una relación entre ambas curvas de k-dominancia propia de ensambles moderadamente perturbados, donde el estadígrafo W alcanza valores positivos cercanos a 0, según consignan algunos autores que han hecho uso del método (Warwick 1986, 1988; Gray et al. 1988, Carrasco & Gallardo 1989, Grizzle & Penniman 1991) (Figura 4.2-77).

Tal como se comentó en párrafos anteriores, se considera que dentro del ensamble de macrozoobentos, el grupo de los gusanos poliquetos responde de manera más sensible a fenómenos de perturbación (Warwick & Clarke 1994), por lo cual se configuraron las curvas ABC considerando sólo el grupo de los gusanos poliquetos, con el objeto de ponderar de manera complementaria los resultados del presente análisis. Así, la Figura 4.2-78 muestra que, de los siete puntos de muestreo prospectados, solamente se ratificó una condición de no perturbación para los ensambles de gusanos poliquetos provenientes de los puntos TOC-6 y TOC-7, localizados ambos hacia la zona sur del área de muestreo. El resto de los puntos muestreados presentó variaciones al considerar solamente el ensamble de gusanos. Mientras los puntos de muestreo TOC-1 y TOC-5 presentaron una relación entre ambas curvas propia de ensambles perturbados, lo que sugiere una condición de perturbación más desfavorable de lo que mostró el análisis considerando el ensamble completo; el ensamble de gusanos poliquetos proveniente del punto de muestreo TOC-4 presentó una relación entre ambas curvas propia de ensambles no perturbados, lo que sugiere una condición de perturbación morigerada respecto de lo que muestra el análisis al considerar el ensamble completo. En tanto, en los puntos de muestreo TOC-2 y TOC-3 la ausencia o bajo número de gusanos poliquetos impidieron el desarrollo de este análisis.

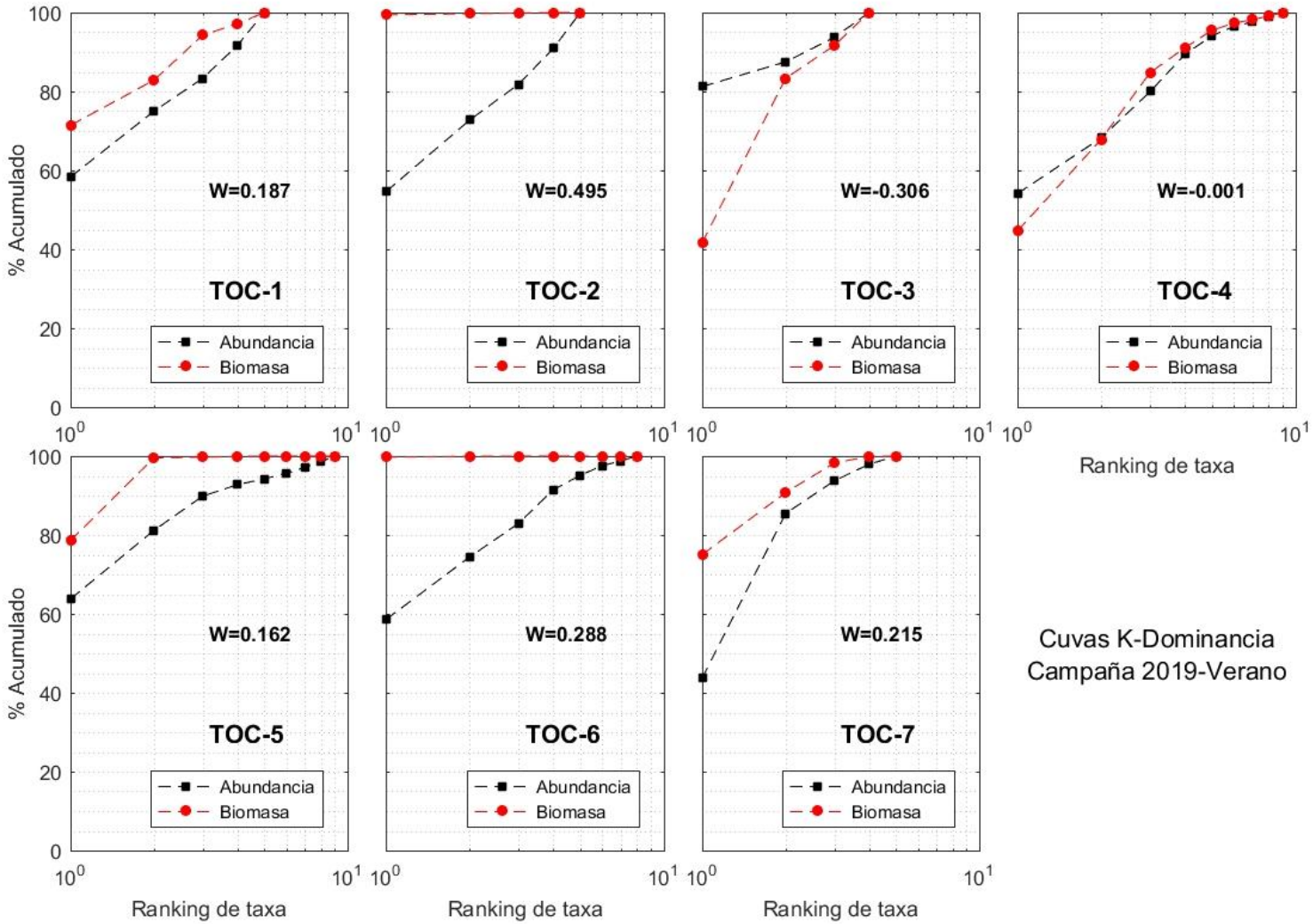


Figura 4.2-77: Curvas K-Dominancia de comunidades bentónicas de submareal blando, campaña de verano 2019.

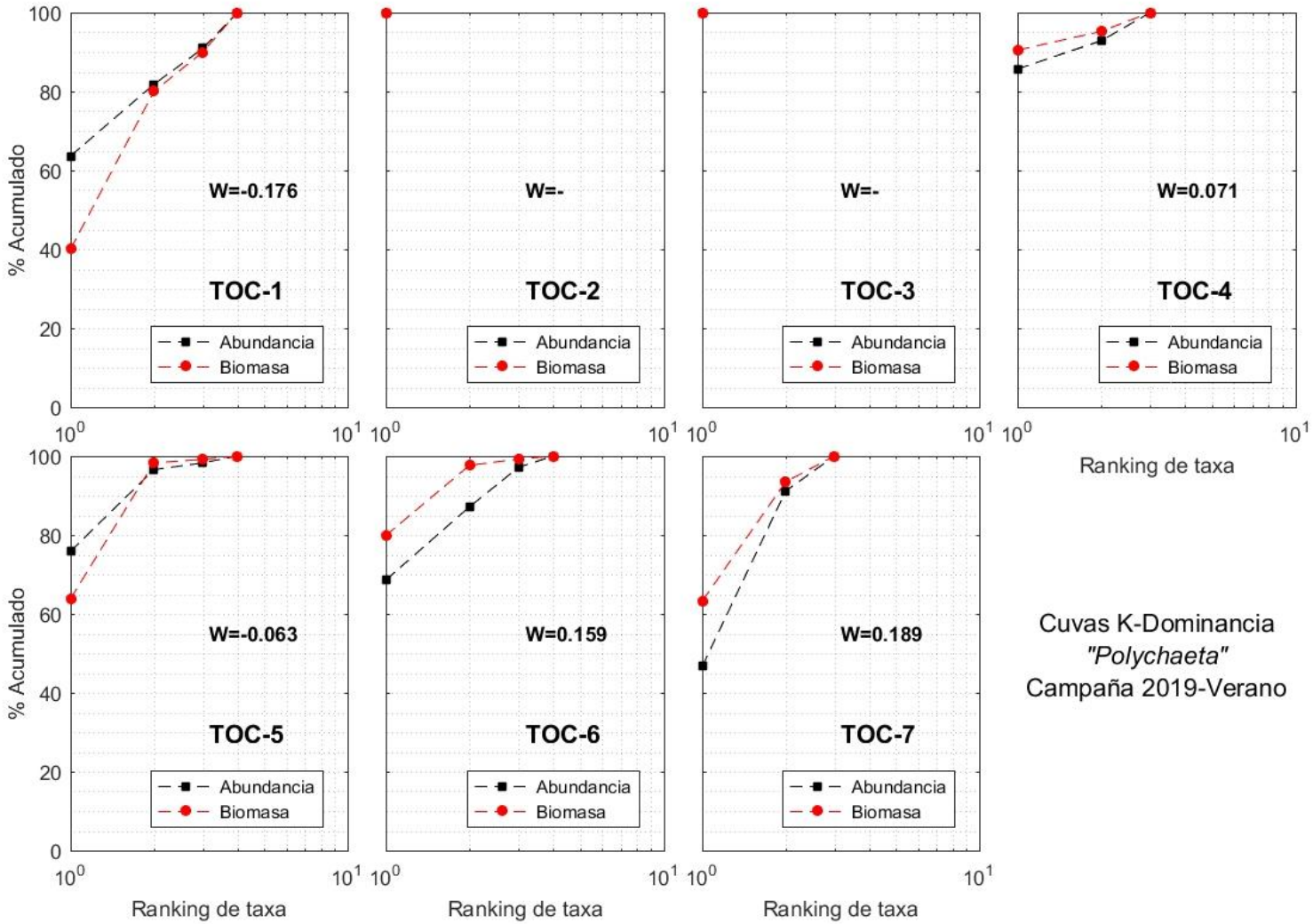


Figura 4.2-78: Curvas K-Dominancia de *Polychaeta* de submareal blando, campaña de verano2019.

4.2.1.2.5 Comunidades bentónicas submareal duro

En el ambiente submareal de sustrato duro se discriminaron tres grandes grupos, respecto de la epibiota reconocida en el área de estudio: macroalgas, fauna sésil y fauna móvil. Respecto de las macroalgas y fauna sésil y considerando los 3 transectos distribuidos en el área de interés (TSR-1 a TSR-3), se reconoció un total de 7 grupos taxonómicos para cada grupo. En tanto, para el grupo de fauna móvil se discriminaron 22 grupos taxonómicos.

Con relación a la riqueza puntual de macroalgas observada en la zona submareal de sustrato duro prospectada, se observó que los mayores valores de riqueza se registraron en el piso intermedio (10m) de los tres transectos prospectados. Aun cuando espacialmente no se reconocieron tendencias claras, los mayores valores de riqueza se observaron en los pisos medio (10m) y de fondo (15m) del transecto TSR-3, localizado en el sector de Punta Algodonales (promedio de 3,7 y 3,3 grupos taxonómicos, respectivamente) (Figura 4.2-79a).

Con relación a los valores de cobertura de macroalgas, se observó en general que los mayores registros se levantaron igualmente en el piso intermedio de fondo en los distintos transectos distribuidos en el área de interés. Espacialmente, las mayores coberturas de macroalgas fueron registradas en el piso intermedio (10m) del transecto TSR-2, localizado aproximadamente 800 metros al norte de Caleta Duendes (promedio de 69% de cobertura) (Figura 4.2-79b).

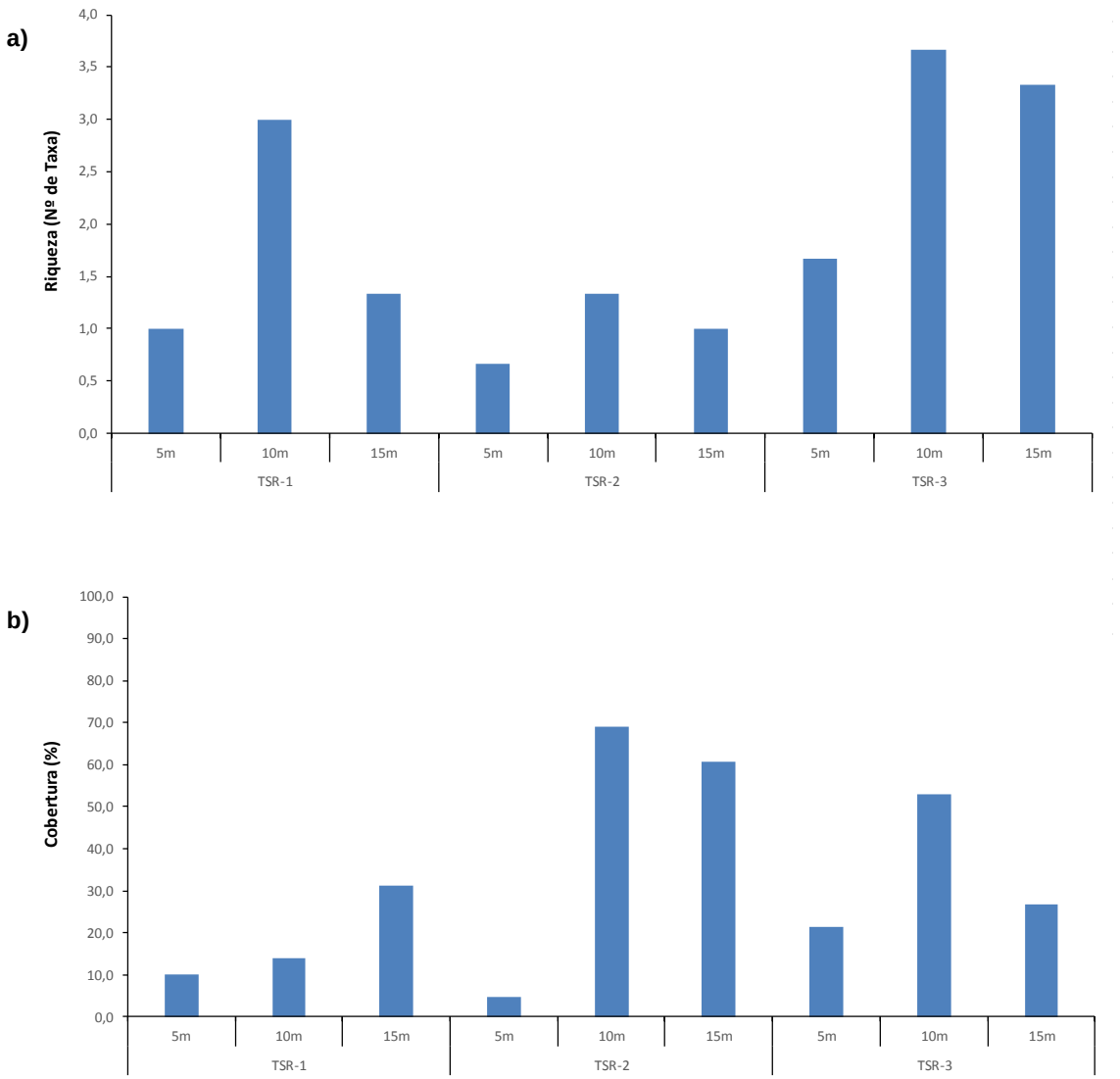


Figura 4.2-79 Riqueza (a) y cobertura (b) de macroalgas presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

Con relación a las coberturas relativas de macroalgas, destacó la dominancia en términos generales de las algas rojas crustosas Lithothamnium sp. En todos los pisos de profundidad del transecto TSR-3 y en los pisos intermedio y de fondo del transecto TSR-1 localizado en el extremo norte del área de estudio, en el sector de Punta Año. En tanto, en el transecto TSR-2 se observó una dominancia diferenciada de macroalgas rojas para cada piso de profundidad. Mientras en el piso somero (5m) e intermedio (10m) dominaron Rodófitas indeterminadas y parches de Ceramiales, respectivamente; en el piso de profundidad (15m) dominaron las algas crustosas del género *Hildenbrandia* sp. (Figura 4.2-80).

Para macroalgas submareales de sustrato duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y de equidad (J') fueron mayores en los estratos menos profundos en TSR-1 y a mayor profundidad en TSR-3, lo que indicaría mayor biodiversidad con abundancia uniforme entre taxa. Respecto al punto TSR-2 (10m) y los estratos de 15m en TSR-1 más 5m en TRS-3 estos presentaron baja diversidad con abundancia menos equitativa de taxa (Figura 4.2-82).

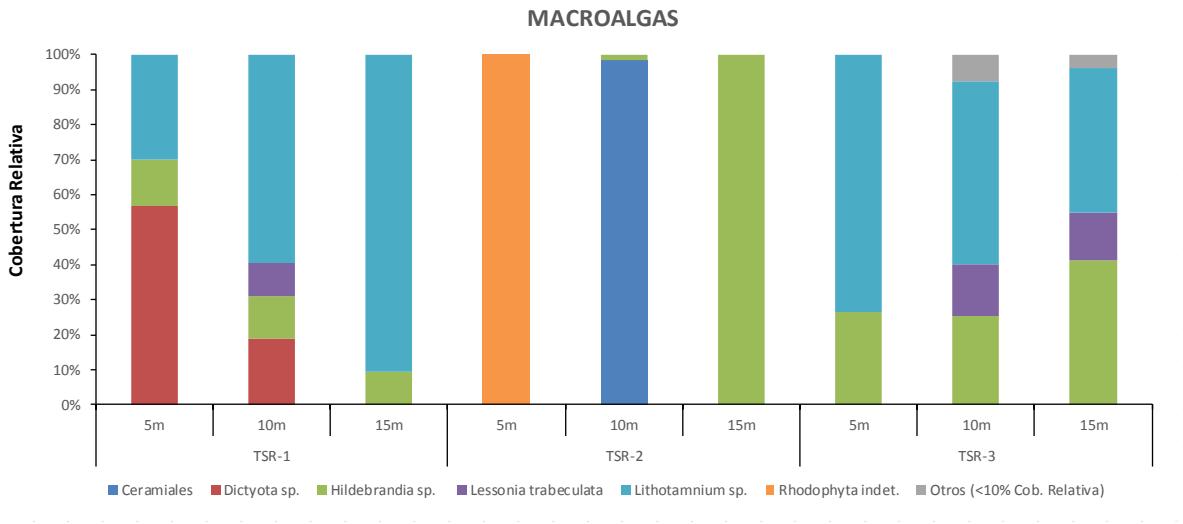


Figura 4.2-80 Cobertura relativa de ensambles de macroalgas presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de macroalgas del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-81). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de macroalgas, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,3 p<0,05).

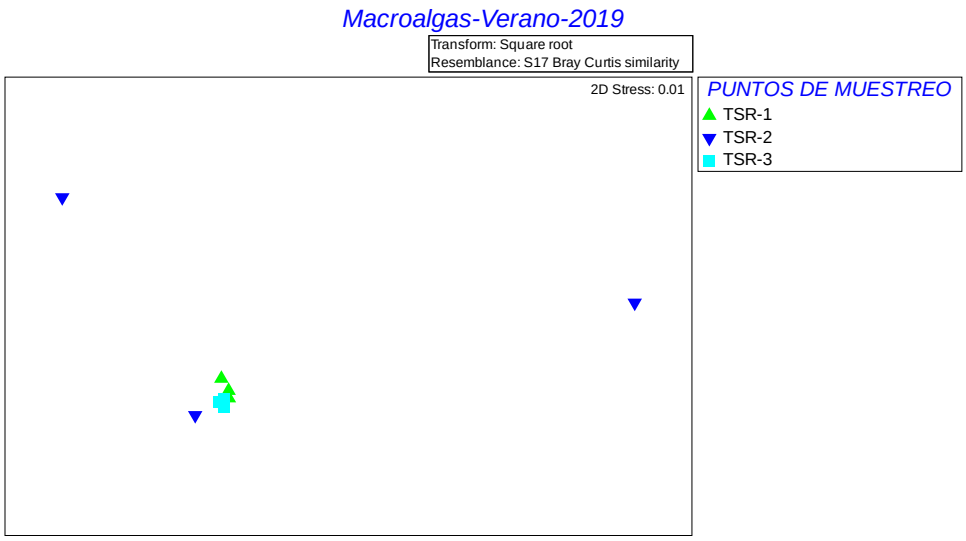


Figura 4.2-81 Análisis Escalamiento Multidimensional de macroalgas, entre tres puntos de muestreo durante verano 2019.

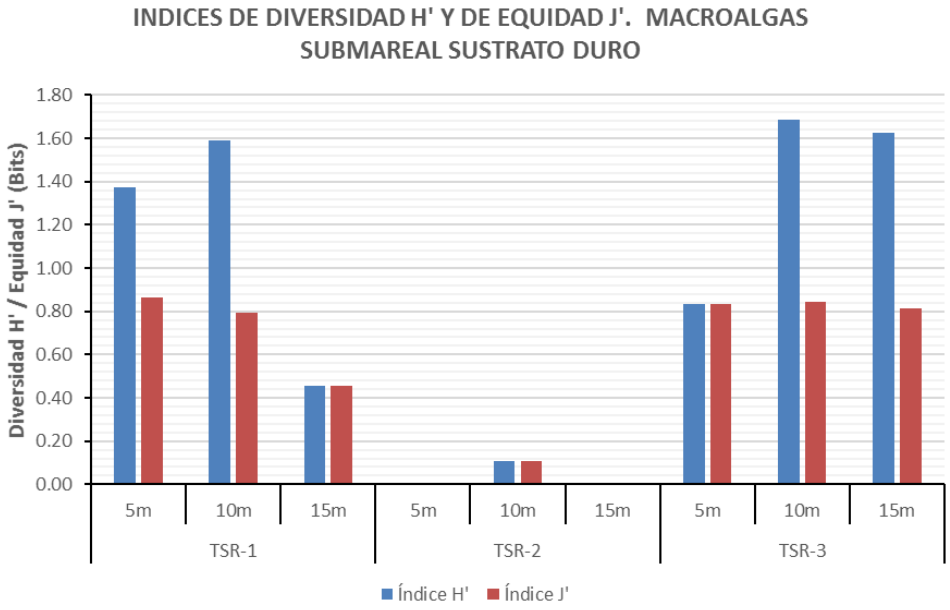


Figura 4.2-82 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de macroalgas bentónicas submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

Con relación a la fauna sésil la Figura 4.2-83 presenta los valores de riqueza y cobertura estimados para este grupo de epibiontes en el área de estudio. En general, los ensambles de epibiontes correspondientes a fauna sésil estuvieron conformados por escasos organismos observándose los mayores valores de riqueza en el piso somero de la mayoría de los transectos prospectados. Así, el registro de riqueza más alto se determinó en el piso somero del transecto TSR-3, alcanzando un promedio de 1,7 taxa (Figura 4.2-83a).

De la misma manera, los registros de cobertura observados en los transectos prospectados mostraron los valores más altos en el piso somero en dos de los tres transectos establecidos. Aun así, el registro más alto levantado durante la campaña estival se observó en el piso intermedio del transecto TRS-1, alcanzando un promedio de 38,3% de cobertura para este grupo de organismos producto de la importante presencia de gusanos poliquetos tubícolas (Figura 4.2-83b).

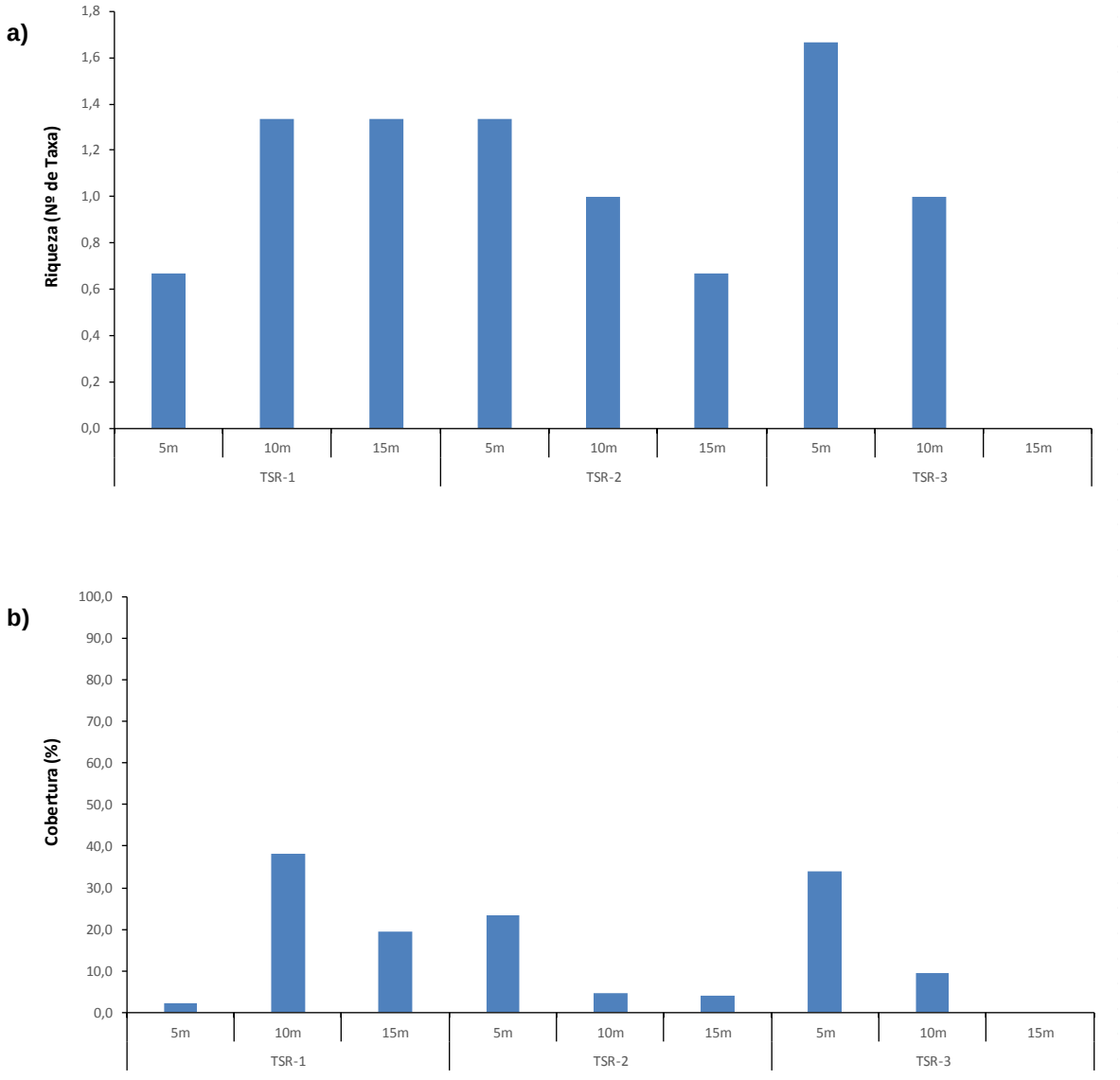


Figura 4.2-83 Riqueza (a) y cobertura (b) de fauna sésil presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

Con relación a las coberturas relativas de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna sésil, destacó la dominancia en términos generales de gusanos poliquetos tubícolas

indeterminados, los que alcanzaron relevancia en todo el perfil batimétrico del transecto TSR-1, así como en el piso intermedio y de fondo del transecto TSR-2. Otros grupos taxonómicos relevantes en cuanto a sus coberturas relativas correspondieron a bancos de mitílidos en los pisos someros de los transectos TSR-2 y TSR-3, alcanzando valores que fluctuaron entre 64-87% de cobertura. En tanto, en el piso intermedio del transecto TSR-3 dominaron los gusanos poliquetos de habitáculos calcáreos del género *Spirorbis* sp. (82% de cobertura (Figura 4.2-84).

Respecto a la fauna sésil en organismos submareales de sustrato duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, presentando valores bajo los 2 bits en todos los puntos y estratos. En cuanto al índice de equidad (J') en general presento en los estratos superficiales (5m y 10m) valores cercanos a 1 bits. Esto nos indicaría que los ensambles presentaron una baja diversidad de especies con una alta dominancia monoespecífica de algún taxa (Figura 4.2-86).

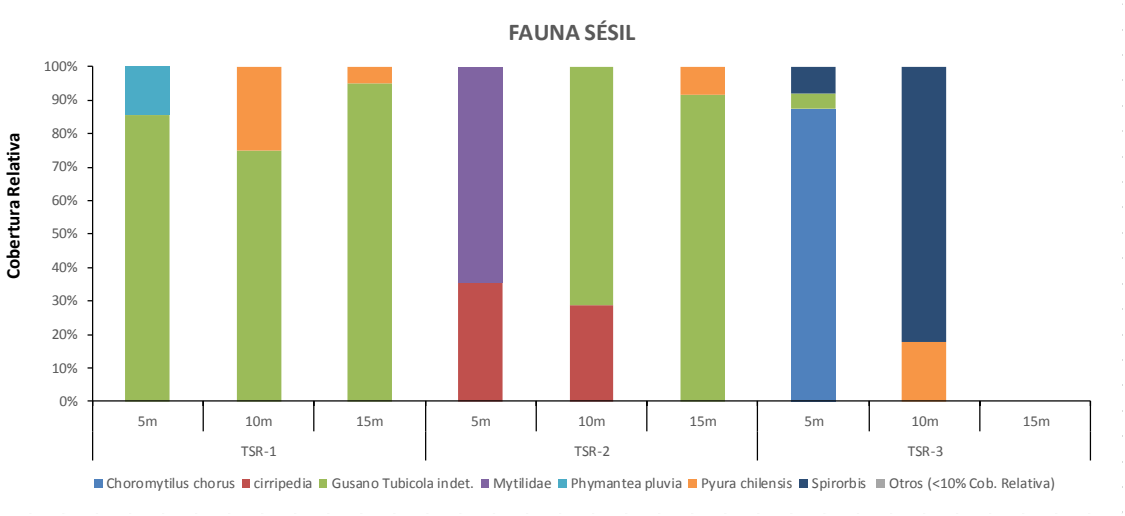


Figura 4.2-84 Cobertura relativa de ensambles de fauna sésil presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos sésiles del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-85). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna sésil, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,422 p<0,05).

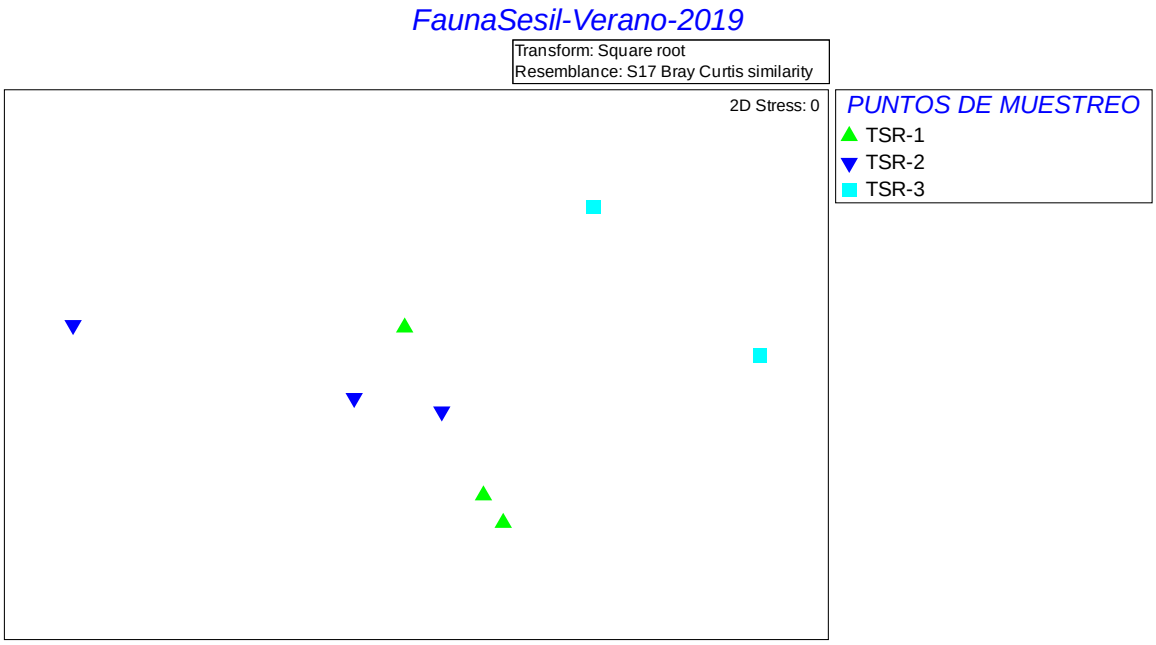


Figura 4.2-85 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna sésil submareal duro, entre los tres puntos de muestreo evaluados durante verano 2019.

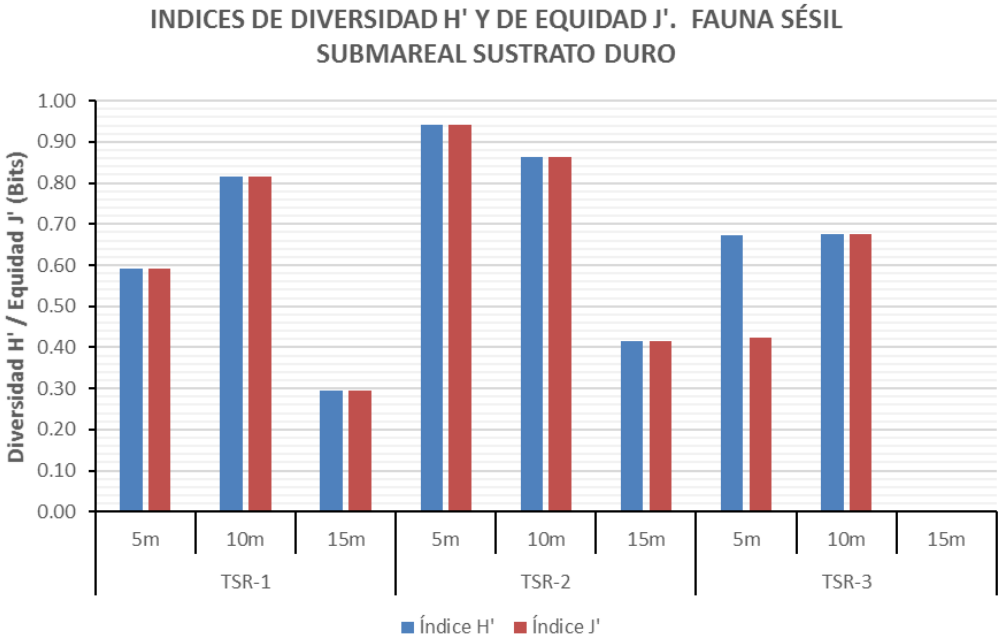


Figura 4.2-86 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de fauna sésil bentónicas en submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

Respecto de los ensambles de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna móvil, presentes en los transectos prospectados, hay que señalar que los valores de riqueza más altos se determinaron, en general, en los pisos intermedio y de fondo en la mayoría de los

transectos evaluados. Así, los valores de riqueza de fauna móvil más altos se estimaron en el piso de fondo (15m) del transecto TSR-2 y en el piso somero (5m) del transecto TSR-3, estimándose en cada uno un promedio de 6 grupos taxonómicos (Figura 4.2-87a).

Por otra parte, los valores de abundancia de individuos presentaron un patrón similar al descrito en el párrafo anterior, donde el mayor número de individuos pertenecientes a fauna móvil se estimó en los pisos de profundidad en dos de los tres transectos visitados. De esta forma, el registro más alto de densidad de estimó en el piso de fondo del transecto TSR-1, alcanzando un promedio de 254,7 ind·m-2 como consecuencia de la importante presencia de los caracoles carnívoros Alia unifasciata (Figura 4.2-87b).

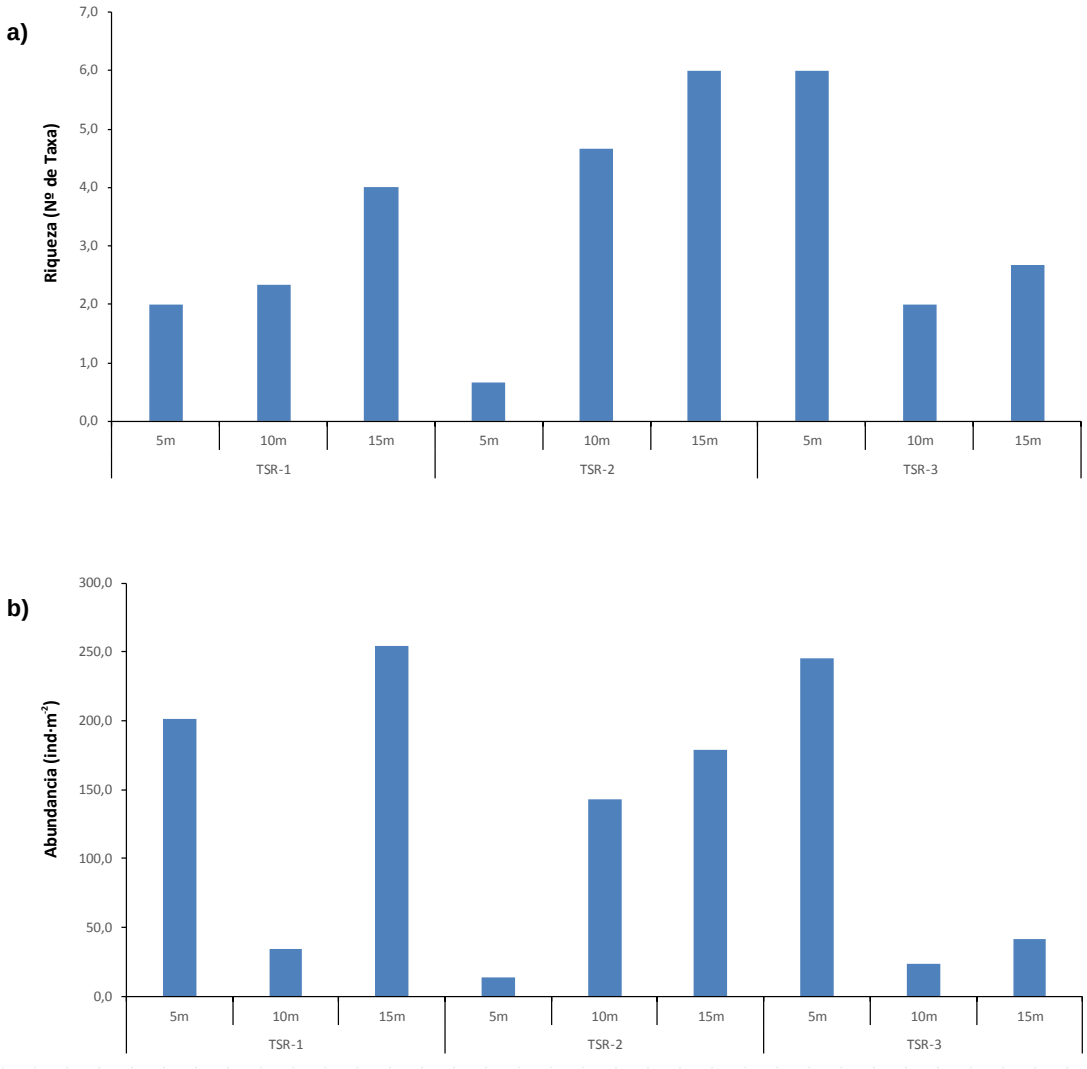


Figura 4.2-87 Riqueza (a) y cobertura (b) de fauna móvil presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

Con relación a las coberturas relativas de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna móvil, destacó la heterogeneidad de las especies dominantes en los distintos pisos de

profundidad de los transectos prospectados. Mientras en el piso somero de la mayoría de los transectos visitados dominaron los caracoles negros *Tegula* sp. (salvo en el transecto TSR-2 donde dominaron las jaibas reina (*Cancer coronatus*), en los pisos intermedio y de fondo se observaron distintas especies de fauna móvil con una importante presencia en dichos niveles batimétricos. Así, hay que destacar la dominancia de los caracoles carnívoros Nassarius sp. en los pisos de fondo de los transectos TSR-2 y TSR-3, así como en el piso intermedio del transecto TSR-1. De igual forma sobresale la presencia de los ya mencionados caracoles A. unifasciata en el piso de fondo del transecto TSR-1 o de los caracoles negros *Tegula* sp. En el piso intermedio del transecto TSR-3 (Figura 4.2-88).

Respecto a fauna móvil en submareal duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, registrando los mayores valores en TSR-2 valores sobre los 2 bits (10m y 15m). En cuanto al índice de equidad (J') en todos los puntos de muestro se observaron valores cercanos a 1 bits. Esto nos indicaría que los ensambles presentaron en su mayoría una baja diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa (Figura 4.2-89).

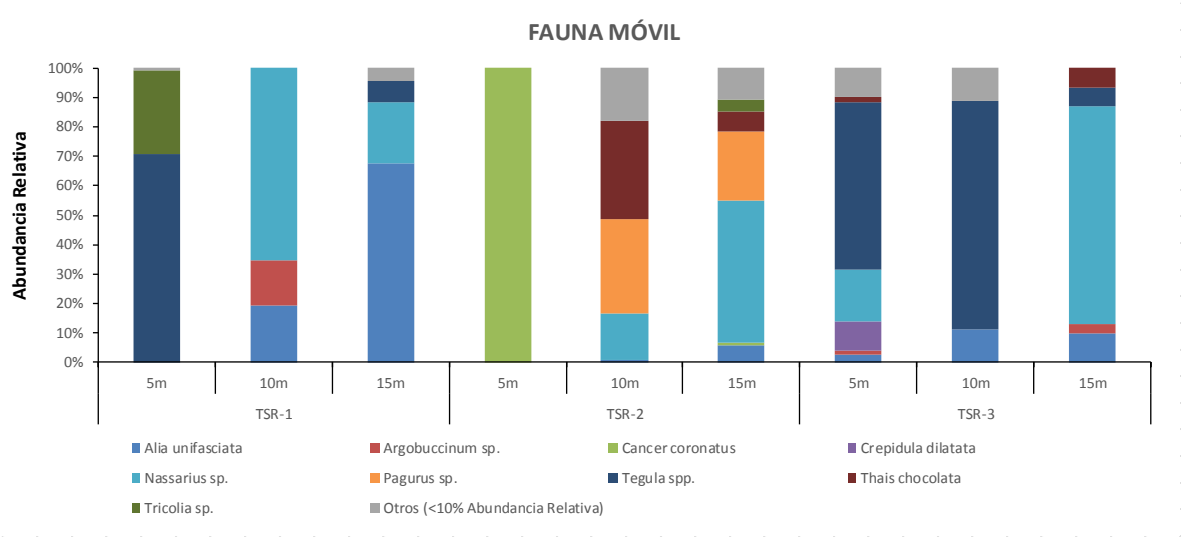


Figura 4.2-88 Abundancia relativa de ensambles de fauna móvil presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2019.

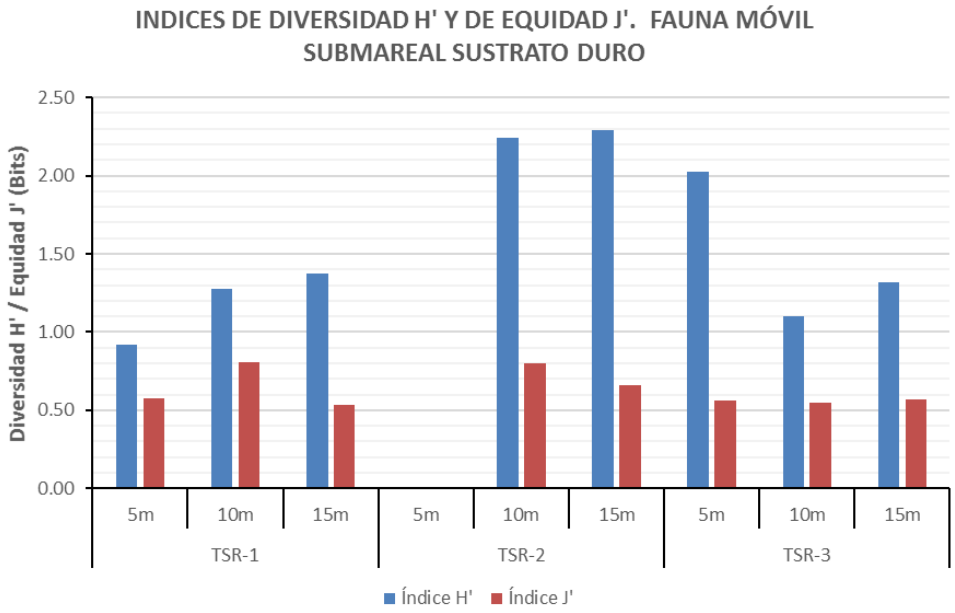


Figura 4.2-89 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de fauna móvil bentónicas en submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos móviles del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-90). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna móvil, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,128 p<0,05).

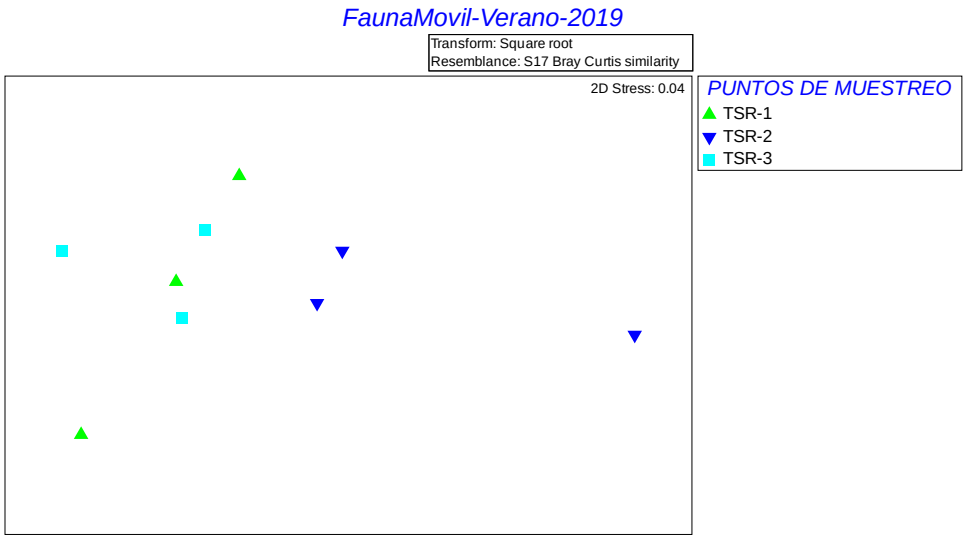


Figura 4.2-90 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna móvil submareal duro, entre los tres puntos de muestreo evaluados durante verano 2019.

4.2.1.2.6 Comunidades bentónicas intermareal blando

Considerando los 6 transectos visitados (TIB-1 a TIB-6), se reconoció un total de 6 grupos taxonómicos. Con relación a la riqueza puntual observada en los sectores de muestreo, los ensambles de macroinvertebrados en la zona intermareal estuvieron conformados por escasos representantes. Así, los mayores valores de riqueza se registraron en el sector norte (TIB-2 y TIB-3) y en el extremo sur del área de interés (TIB-6), alcanzando a 2 grupos taxonómicos, independiente del estrato de muestreo en el perfil vertical (Figura 4.2-46a).

Con relación a los valores de abundancia, las mayores densidades fueron registradas en los estratos medio y superior del transecto intermareal TIB-2, localizado en la zona norte del área de interés (Figura 4.2-46b). Mientras que las mayores biomasas fueron registradas en el estrato inferior del transecto TIB-6, localizado en el extremo sur (Figura 4.2-46 b y c).

Con respecto a las abundancias relativas, el decápodo anomuro *Emerita análoga* se reconoció como la especie dominante en al menos uno de los tres estratos prospectados (excepto en el transecto TIB-5, donde no se reconoció la presencia de esta especie). Otros grupos dominantes en estratos puntuales de los transectos prospectados, correspondieron a gusanos poliquetos (Familia Hesionidae) y crustáceos anfípodos (*Ampelisca* sp.) en el estrato inferior, así como isópodos (*Excirolana braziliensis*) e insectos (*Phalerisida maculata*) en el estrato superior e inferior (Figura 4.2-47).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, presentando el mayor valor en el punto TIB-3 sobre los 2 bit. En cuanto al índice de equidad (J') en todos los puntos de muestro se observaron valores cercanos a 0 bits, excepto en el punto TIB-3. Esto nos indicaría que en general los ensambles presentaron una baja biodiversidad de especies con abundancia poco equitativa dominada por una especie, excepto en el punto TIB-3 con mayor diversidad. (Figura 4.2-93).

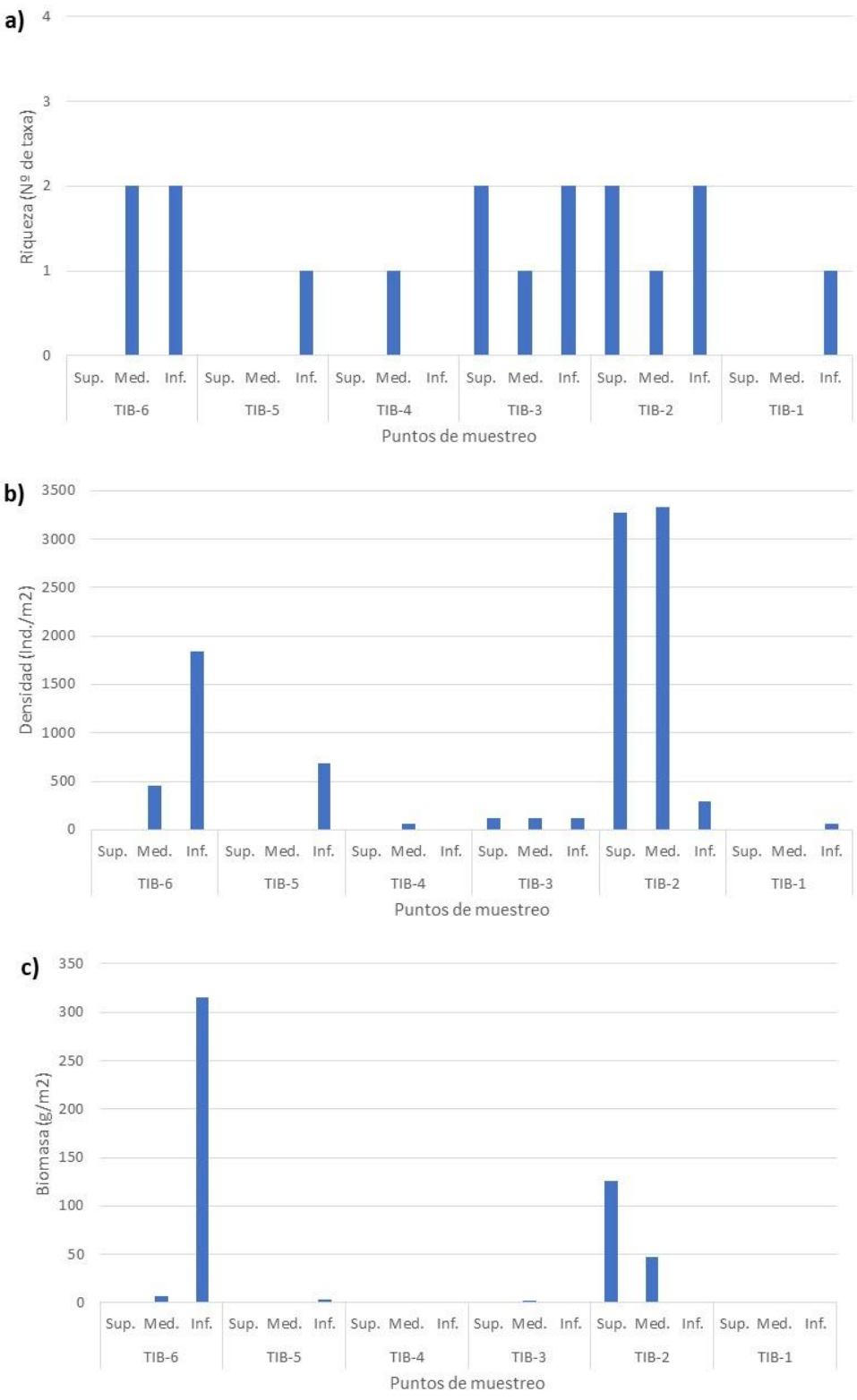


Figura 4.2-91 Riqueza (a), Densidad (b) y Biomasa (c) de ensambles de macroinfauna intermareal prospectados en transectos en el área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

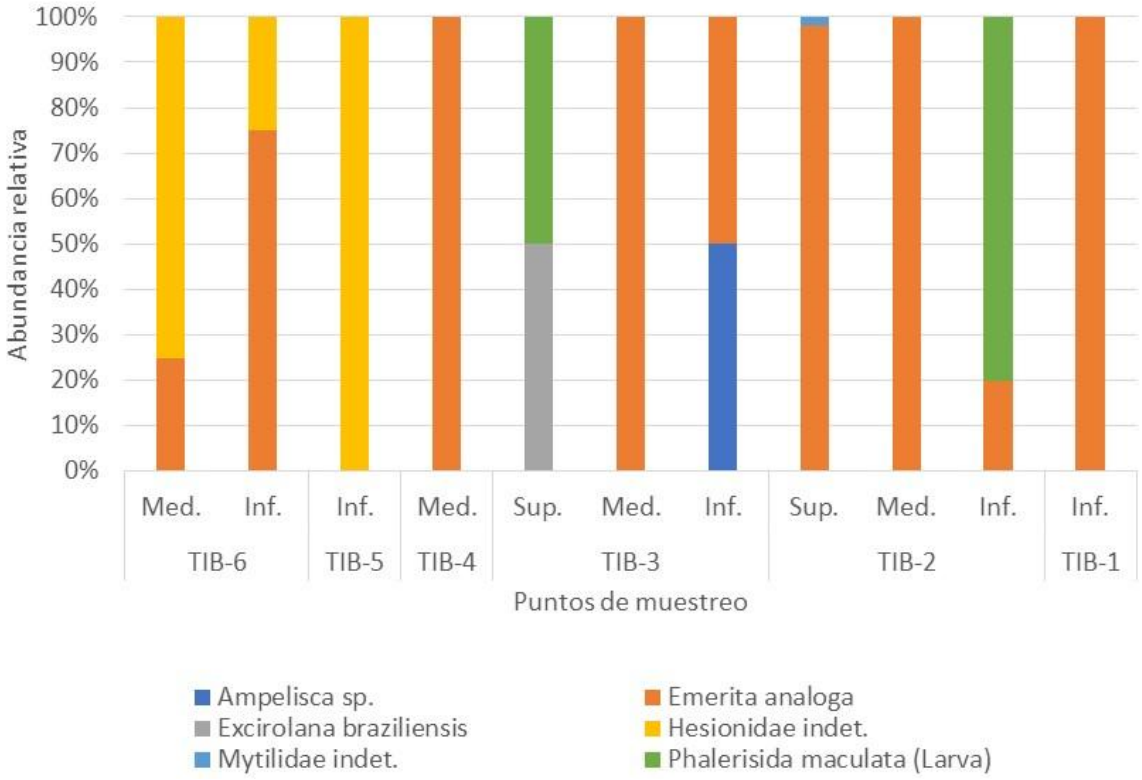


Figura 4.2-92 Abundancia relativa de ensambles de macroinfauna intermareal presente en área de estudio (Sup= Estrato superior; Med= Estrato Intermedio; Inf= Estrato Inferior). Bahía Algodonales. Campaña Verano 2019.

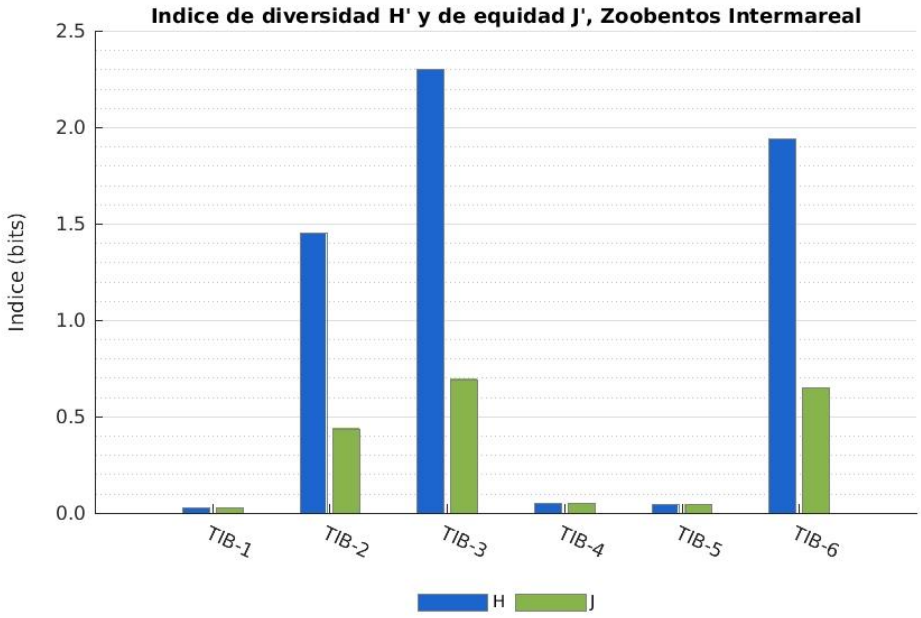


Figura 4.2-93 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas intermareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2018.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de las comunidades bentónicas del intermareal de fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-94). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos intermareal, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,356 p<0,05).

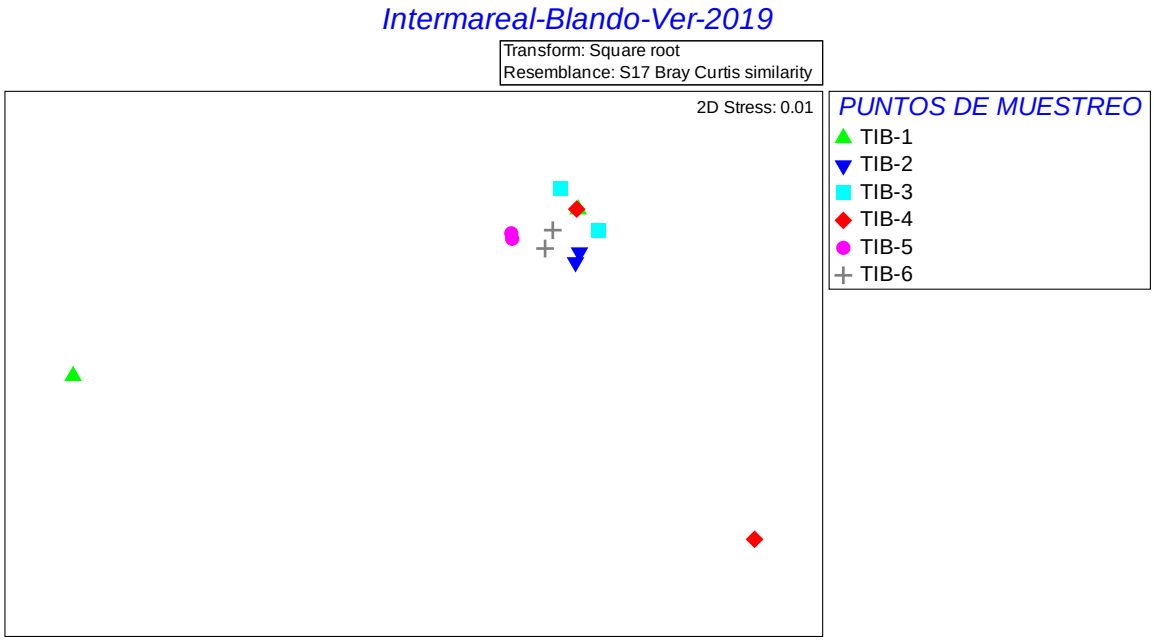


Figura 4.2-94 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos intermareal blando, entre los seis puntos de muestreo evaluado durante verano 2019.

4.2.1.2.7 Comunidades bentónicas 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 y considerando los 6 transectos visitados (TIR-1 a TIR-6), se reconoció un total de 23 grupos taxonómicos. De estos, 13 pertenecieron al grupo de macroalgas. En tanto, el grupo de crustáceos, moluscos y cnidarios estuvo representado cada uno por 3 grupos taxonómicos. Por su parte, se reconoció la presencia de un taxón perteneciente al grupo de gusanos poliquetos de habitáculos calcáreos. 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 media e inferior de la franja intermareal. Aun cuando espacialmente no se reconocieron tendencias claras, los mayores valores de riqueza se observaron en la zona media del transecto TIR-6, localizado en el extremo sur del área de estudio (promedio de 5,3 taxa) y en la zona inferior del transecto TIR-1, localizado en el extremo norte del área de estudio (promedio de 5 taxa) (Figura 4.2-95a).

Con relación a los valores de cobertura de los organismos sésiles, se observó en general que los mayores registros se levantaron igualmente en el estrato intermedio e inferior de la franja intermareal prospectada (salvo en el transecto TIR-3, donde el mayor registro de cobertura promedio se observó en la zona superior del intermareal duro). Espacialmente, las mayores coberturas fueron registradas en el estrato medio del ya mencionado transecto TIR-6 (promedio de 80,3% de cobertura) y en la zona media del transecto TIR-3, localizado hacia el norte de la zona urbana de la ciudad de Tocopilla (promedio de 73% de cobertura) (Figura 4.2-95b).

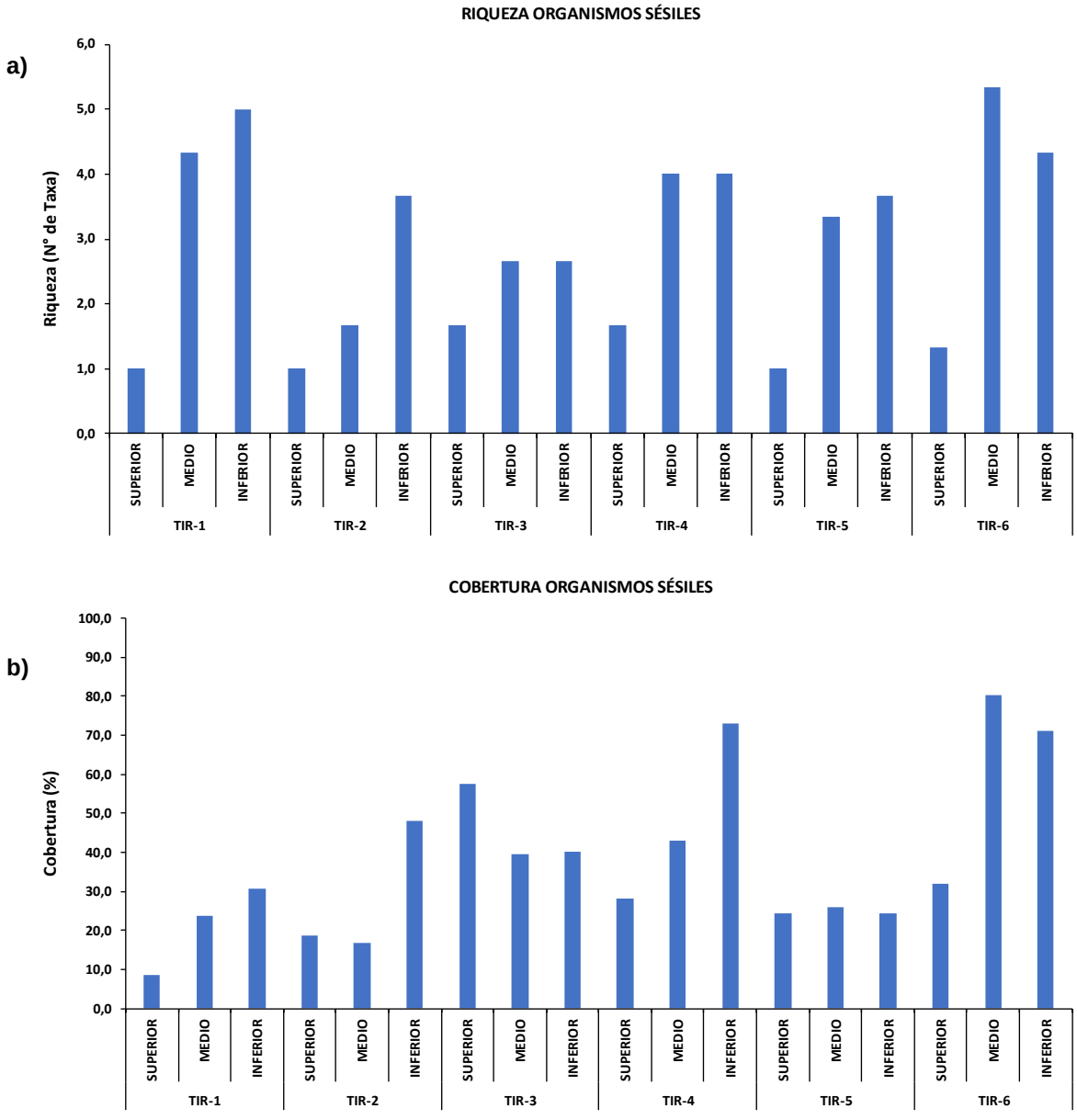


Figura 4.2-95 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos sésiles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

Al considerar la morfología y relieve costero del área de estudio se observó la presencia de macizos rocosos que dominan la parte superior de la franja intermareal. En la parte media e inferior de la franja se reconoció la presencia de pozones ocasionales entre colpas de granito y pequeñas terrazas costeras, las que dan paso en la zona baja a cantos rodados de distinto tamaño. El área de estudio presentó en términos generales un relieve discreto a moderado, lo que favorece la influencia de las masas de agua hasta las zonas superiores de la franja intermareal prospectada. El conjunto de elementos que caracterizan el relieve costero del área de interés (cantos rodados, pozones, terrazas, rocas graníticas), aunque se distribuyen de manera diferenciada en el espacio latitudinal, todos convergen en la promoción de una amplia heterogeneidad de hábitats, los que son colonizados por distintas especies. Así, con relación a las coberturas relativas, destacó la dominancia en términos generales del grupo de crustáceos cirripedios (*Jhelius cirratus* y *Nothochtamalus cirratus*) en gran parte del área de estudio (salvo en el transecto TIR-6, donde sus abundancias relativas alcanzaron valores discretos). Mientras en la zona superior destacan pocas especies respecto de sus abundancias relativas (crustáceos cirripedios), en la zona intermedia e inferior de todos los transectos visitados se reconocen variados grupos taxonómicos con abundancias relativas destacadas, resaltando en la parte inferior del transecto TIR-3 la dominancia del alga verde *Ulva* sp., o la dominancia en la zona baja de los transectos TIR-5 y TIR-6 de las algas rojas *Corallina* sp. Y *Lithothamnium* sp. 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 4.2-96).

Respecto a organismos sésiles en intermareal duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector norte (TIR-1). En cuanto al índice de equidad (J') en general presentaron valores cercanos a 1bits. Esto nos indican que en los puntos TIR-1, TIR-4 y TIR-6 el ensamble presentó una alta diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa. En cuanto a los otros puntos en general presentaron baja diversidad con abundancias poco equitativas por un grupo dominante (Figura 4.2-97).

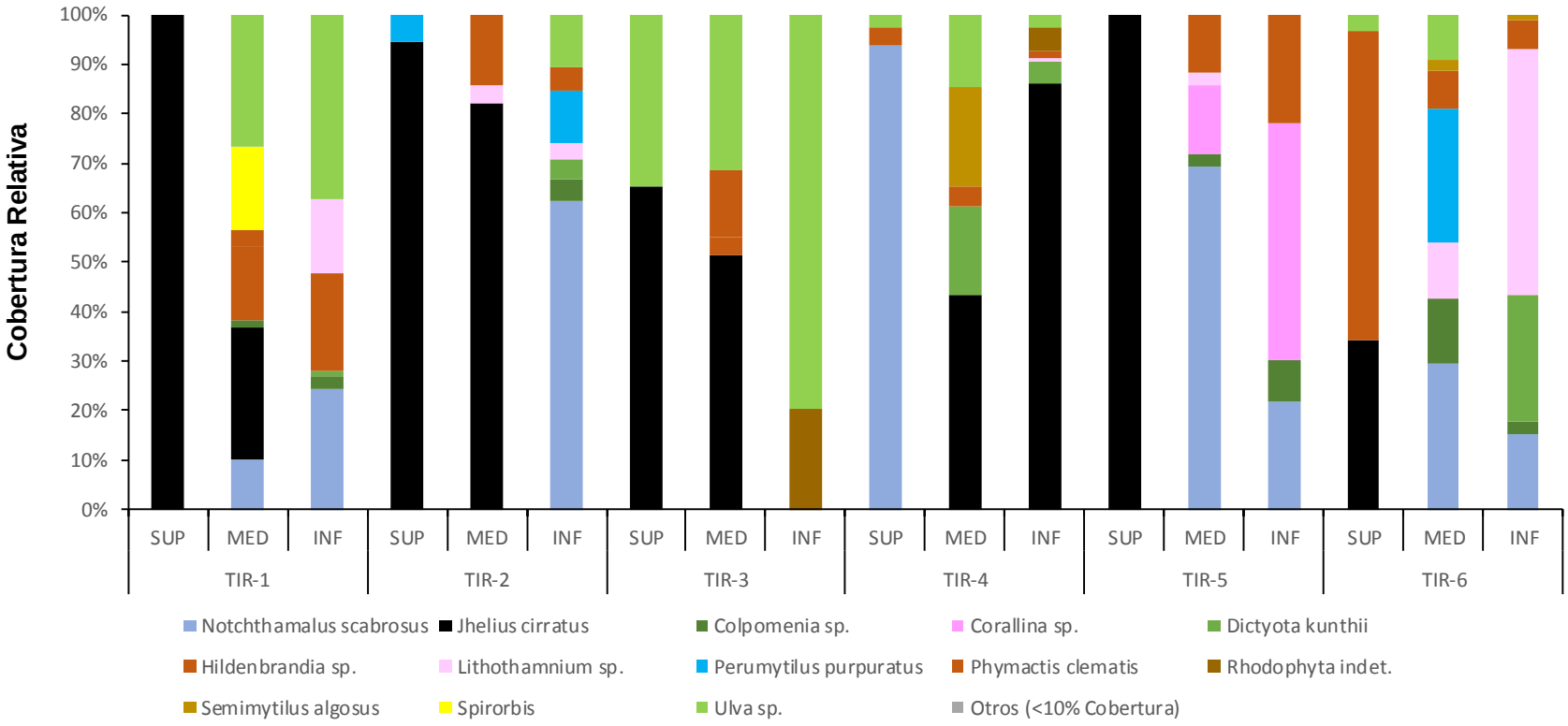


Figura 4.2-96 Cobertura relativa de ensambles de organismos sésiles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2019.

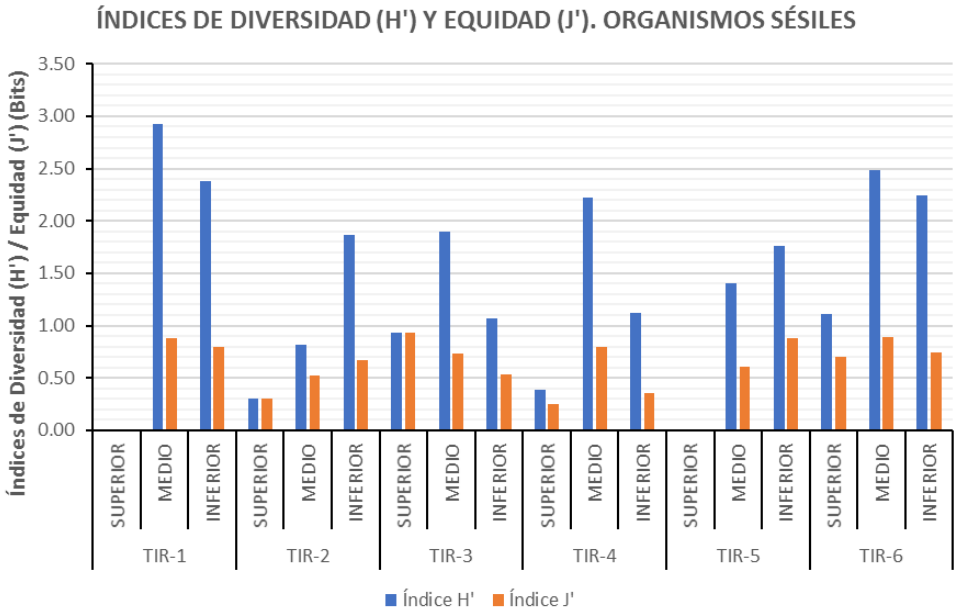


Figura 4.2-97 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas intermareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos sésiles del intermareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-98). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de organismos sésiles, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,047 p<0,05).

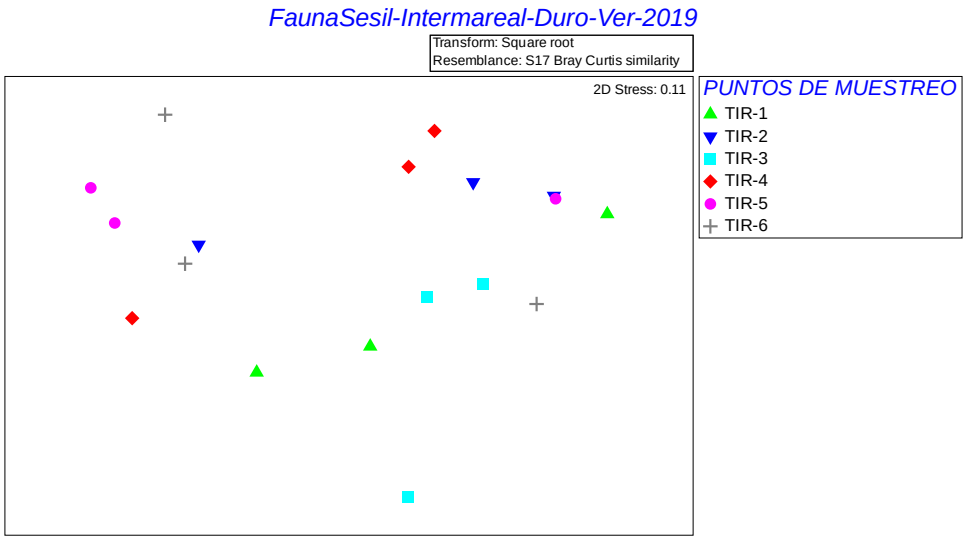


Figura 4.2-98 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna sésil submareal duro, entre los seis puntos de muestreo evaluados durante verano 2019

La Figura 4.2-99 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 28 grupos taxonómicos, dominados por el grupo de los moluscos (15 especies), secundados por el grupo de los equinodermos (8 especies) y complementados por el grupo de los crustáceos (2 especies). Asimismo, se reconocieron grupos taxonómicos menos conspicuos representados cada uno por 1 taxón (3 grupos taxonómicos). 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 intermedia o inferior de la mayoría de los transectos visitados (a excepción del transecto TIR-4). Los valores más altos de riqueza se estimaron en el transecto TIR-1, localizado en el extremo norte del área de estudio, alcanzando en la zona media 4,3 taxa y en la zona inferior 3,7 taxa (Figura 4.2-99a).

Con relación a los registros de densidad estimados, se observó que los registros más altos se detectaron en la zona intermedia y superior de los transectos TIR-3, TIR-2 y TIR-6 (296 ind·m-2; 290,7 ind·m-2 y 232 ind·m-2, respectivamente) como consecuencia de la importante presencia de los caracoles pulmonados *Austrolittorina araucana* y *Echinolittorina peruviana*, los que son especies características de este tipo de ambientes (Figura 4.2-99b).

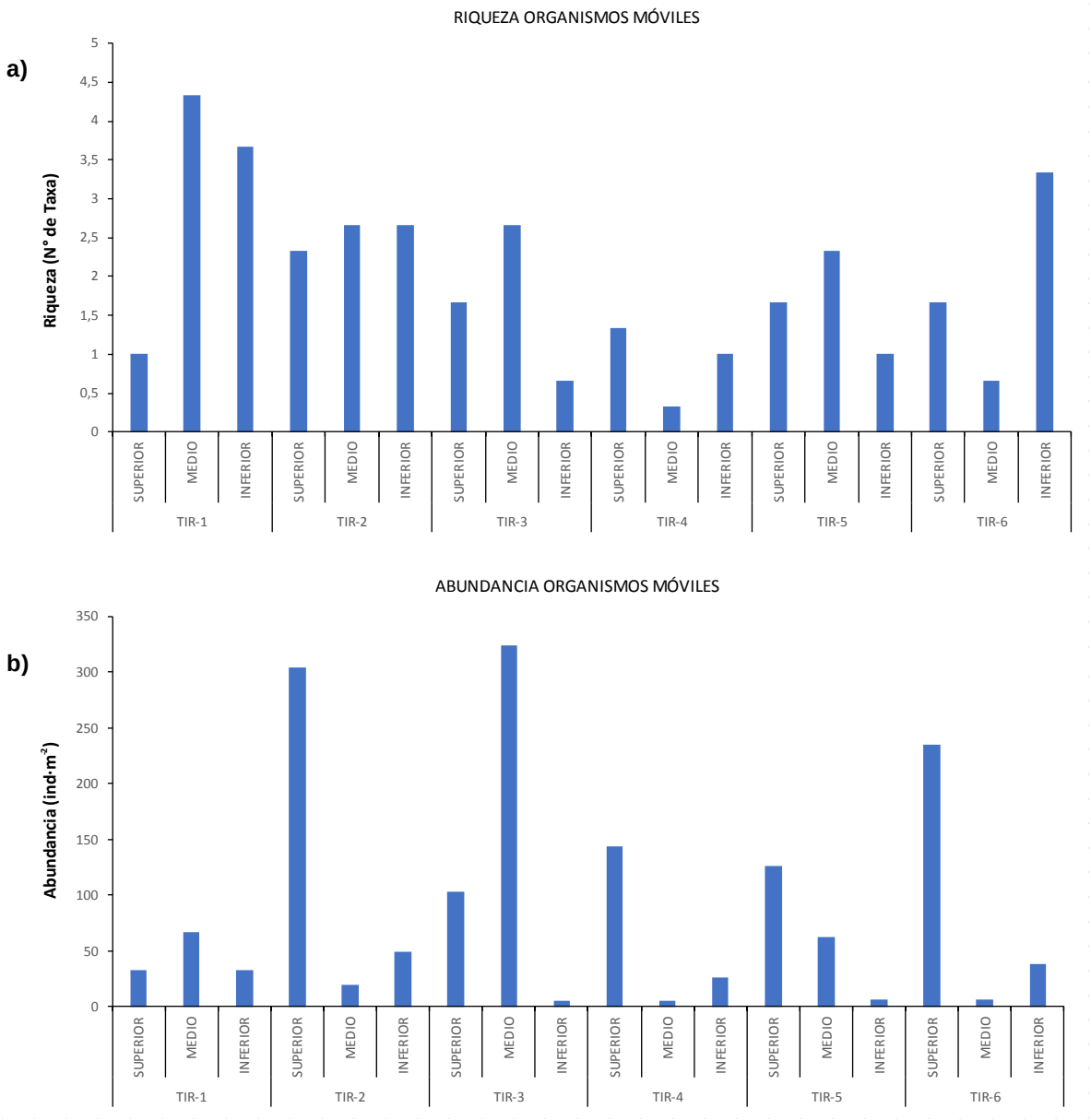


Figura 4.2-99 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos móviles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

Con relación a las abundancias relativas, destacó la dominancia en términos generales del grupo de los moluscos, específicamente los caracoles litorínidos mencionados en el párrafo anterior (*A. araucana* y *E. peruviana*), cuya presencia dominó sin contrapeso en los estratos intermedio o superior de todos los transectos visitados. Por otra parte, patrones de dominancia claros respecto de otras especies reconocidas. No obstante, esto, se reconoció la dominancia puntual de algunas especies en el área de estudio. Tal es el caso de los erizos negros (*Tetrapygus niger*) los que abundaron en la zona media o baja de los transectos localizados en los extremos del área de estudio (TIR-1 y TIR-6). Otra especie destacada, pero de irregular presencia en el área de estudio correspondió al sol de mar (Heliaster helianthus), cuyas abundancias relativas destacaron en la zona intermedia o inferior de los

transectos TIR-5 y TIR-1. Finalmente, el molusco poliplacóforo *Enoplochiton niger* presentó valores puntuales de dominancias destacadas en la zona baja de los transectos TIR-2 y TIR-6. El resto de los organismos discriminados mostraron valores de dominancia variables y puntuales en el área de estudio. Al igual que lo comentado para los organismos sésiles, todas las especies de organismos móviles identificadas durante la presente campaña poseen un amplio rango de distribución geográfica que excede ampliamente la escala local y regional (Figura 4.2-100).

Respecto a organismos móviles en intermareal duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector norte (TIR-1). En cuanto al índice de equidad (J') en general presentaron valores cercanos a 1bits. Esto nos indican que en general el ensamble presentó una baja diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa, excepto en TIR-1 medio que presentó alta diversidad (Figura 4.2-101).

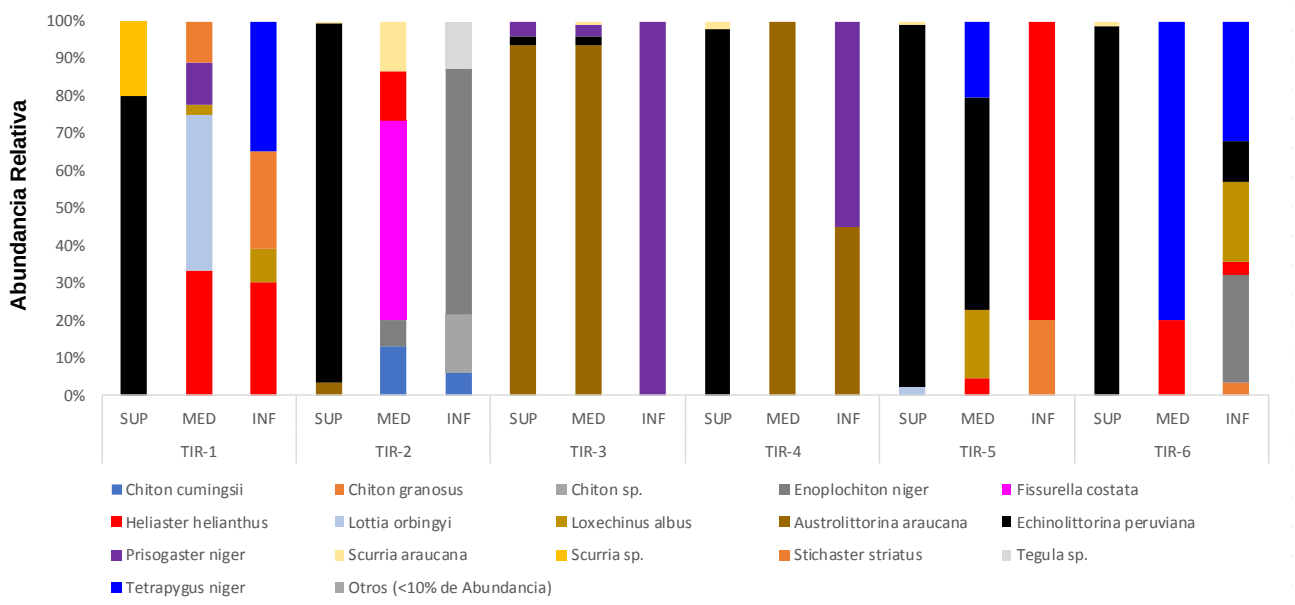


Figura 4.2-100 Abundancia relativa de ensambles de organismos móviles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2019.

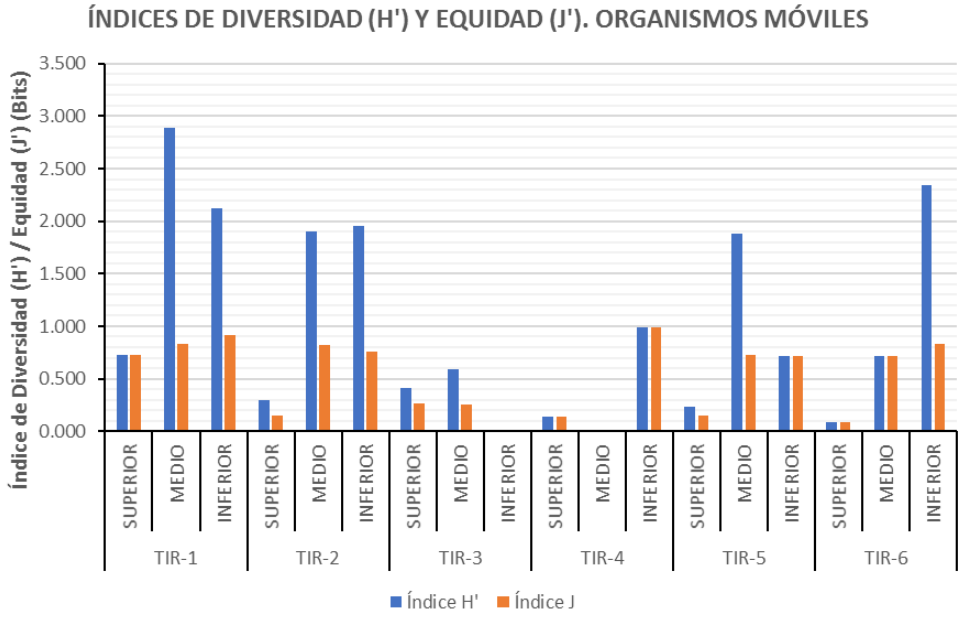


Figura 4.2-101 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas intermareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos móviles del intermareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-102). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna móvil, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,149 p<0,05).

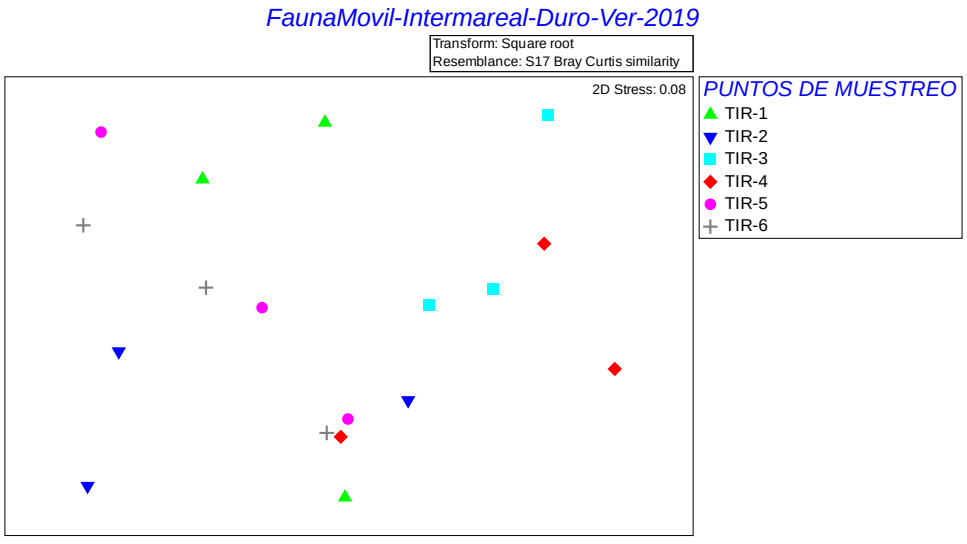


Figura 4.2-102 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna móvil intermareal duro, entre los seis puntos de muestreo evaluado durante verano 2019

4.2.1.3 Campaña de invierno 2019

Las actividades fueron programadas entre el día 27/07/2019 y el 07/08/2019, sin embargo, debido a las malas condiciones de marea, solo se pudo trabajar los días 05/08/2019 y 06/08/2019 (Figura 4.2-103 y Figura 4.2-104), quedando al debe las siguientes actividades:

- Toma de muestras en intermareales duros y blandos.
- Recolección de especies para metales en biota.
- Transectos submareales.

SERVICIO Meteorológico de la Armada de Chile

Lunes, 29 de julio de 2019 | 17:41:43

ENGLISH VERSION | Pronósticos | Versión Liviana | Estado de Puertos | Reportes estadísticos | Estaciones Meteorológicas Automáticas | Artícu Edito

Estado de Puertos

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

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

Capitanía de Puerto	Estado del Puerto	Condición	Información Adicional	Fecha y Hora Local	Viento	Mar
CUARTA ZONA NAVAL » subir						
ARICA	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	SITIO 2B, 3, 4 Y 5 DE TPA ABIERTOS; SITIO 7 DE ENAPU Y TTMM COMAP Y SICA SICA ABIERTO.	29/07/2019 00:27	Viento estimado Dirección 320º Intensidad 5 nudos	LLANA (sin dirección).
PATACHE	Abierto - Condiciones normales	NORMAL		29/07/2019 06:17	Viento estimado Dirección 170º Intensidad 8 nudos	CALMA (sin dirección).
IQUIQUE	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	PUERTO ABIERTO, CONDICIÓN NORMAL.	29/07/2019 06:13	Viento medido con instrumento Dirección 167º Intensidad 1 nudos	RIZADA del SurWeste
MEJILLONES	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	PUERTO ABIERTO CONDICIÓN NORMAL, TERMINAL MARÍTIMO MICHILLA INHABILITADO POR RESOLUCIÓN LOCAL.	29/07/2019 06:20	Viento medido con instrumento Dirección 198º Intensidad 5 nudos	LLANA (sin dirección).
ANTOFAGASTA	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	PUERTO DE ANTOFAGASTA SIN RESTRICCIONES PARA ATI, EPA, ENEX Y COLOSO.	29/07/2019 06:09	Viento medido con instrumento Dirección 230º Intensidad 1 nudos	LLANA (sin dirección).
TALTAL	Abierto - Condiciones normales	NORMAL		29/07/2019 06:18	Viento medido con instrumento Dirección 300º Intensidad 3 nudos	RIZADA del NorEste
TOCOPILLA	Cerrado Totalmente - Paralización de actividad	MAREJADAS	CONDICIÓN DE PUERTO CERRADO PARA NAVES MAYORES Y MENORES, DENTRO Y FUERA DE LA BAHÍA, PARALIZACIÓN DE FAENAS PORTUARIAS Y FAENAS DE BUCEO.	29/07/2019 05:59	Viento medido con instrumento Dirección 231º Intensidad 6 nudos	MAREJADA del SurWeste

Figura 4.2-103: Condición de puerto en Tocopilla entregado por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile para el 29/07/2019.

SERVICIO Meteorológico de la Armada de Chile

Jueves, 8 de agosto de 2019 | 08:56:37

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

Estado de Puertos

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

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

Capitanía de Puerto	Estado del Puerto	Condición	Información Adicional	Fecha y Hora Local	Viento	Mar
CUARTA ZONA NAVAL » subir						
ARICA	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	SITIO 2B DE TPA RESTRINGIDO USO SHORE TENSION, SITIO 3,4 Y 5 DE TPA ABIERTOS; SITIO 7 DE ENAPU CERRADO; TERMINALES MARÍTIMOS COMAP Y SICA SICA CERRADOS.	08/08/2019 00:03	Viento medido con instrumento Dirección 100º Intensidad 10 nudos	LLANA (sin dirección).
PATACHE	Abierto - Condiciones normales	NORMAL		08/08/2019 06:42	Viento medido con instrumento Dirección 161º Intensidad 3 nudos	RIZADA del SurWeste
IQUIQUE	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	Puerto Abierto, Condición Normal.	08/08/2019 05:13	Viento medido con instrumento Dirección 192º Intensidad 3 nudos	LLANA (sin dirección).
MEJILLONES	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	CONDICIÓN DE PUERTO NORMAL, TERMINAL MARÍTIMO MICHILLA INHABILITADO POR RESOLUCIÓN LOCAL.	08/08/2019 06:05	Viento medido con instrumento Dirección 201º Intensidad 5 nudos	LLANA (sin dirección).
ANTOFAGASTA	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	CONDICIÓN DE PUERTO NORMAL.	08/08/2019 05:56	Viento medido con instrumento Dirección 180º Intensidad 2 nudos	CALMA (sin dirección).
TALTAL	Abierto - Condiciones normales	NORMAL	PUERTO ABIRTO CON CONDICIONES NORMALES .	08/08/2019 00:21	Viento medido con instrumento Dirección 025º Intensidad 3 nudos	CALMA (sin dirección).
TOCOPILLA	Cerrado Totalmente - Paralización de actividad	MAREJADAS	CONDICION DE PUERTO CERRADO PARA NAVES MAYORES Y MENORES DENTRO Y FUERA DE LA BAHIA	08/08/2019 05:54	Viento medido con instrumento Dirección 130º Intensidad 3 nudos	MAREJADA del NorWeste

Figura 4.2-104: Condición de puerto en Tocopilla entregado por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile para el 08/07/2019.

Debido a los constantes pronósticos de marejadas y condiciones de puerto cerrado en Tocopilla, las actividades restantes se llevaron a cabo entre los días 08/10/2019 y 09/10/2019.

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

- **Calidad fisicoquímica de agua y sedimento submareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en la bahía en estaciones TOC-01@07.
- **Calidad fisicoquímica de sedimento intermareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos de sedimento marino en la bahía en las estaciones SED-1@6.
- **Parámetros fisicoquímicos en la vertical:** Lance de sonda CTD en estaciones TOC-1@7 para el muestreo de la columna vertical de agua de los parámetros temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial RedOx y turbidez.
- **Comunidades planctónicas:** Muestreo de comunidades planctónicas en superficie y profundidad en estaciones TOC-01@07
- **Comunidades bentónicas:** Videos submareales para caracterización de comunidades bentónicas submareales de fondo duro en puntos TSR-01@03; Muestreo de comunidades bentónicas submareales de fondo blando en estaciones TOC-01@07; Muestreo de comunidades bentónicas intermareales de fondo duro en estaciones TIR-01@06; Muestreo de comunidades bentónicas intermareales de fondo blando en estaciones TIB-01@06.

A continuación, se entregan resultados de calidad química de agua, calidad química de sedimento y biota de los resultados de laboratorio obtenidos a la fecha del presente informe.

4.2.1.3.1 Cuerpo de agua

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

Mediante el lance de una sonda CTD en las estaciones de monitoreo TOC-1 a TOC-7, se pudo medir algunos parámetros fisicoquímicos de la columna vertical de agua. A continuación, se presentan los gráficos de temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial RedOx y turbidez, obtenidos en la campaña de invierno de 2019.

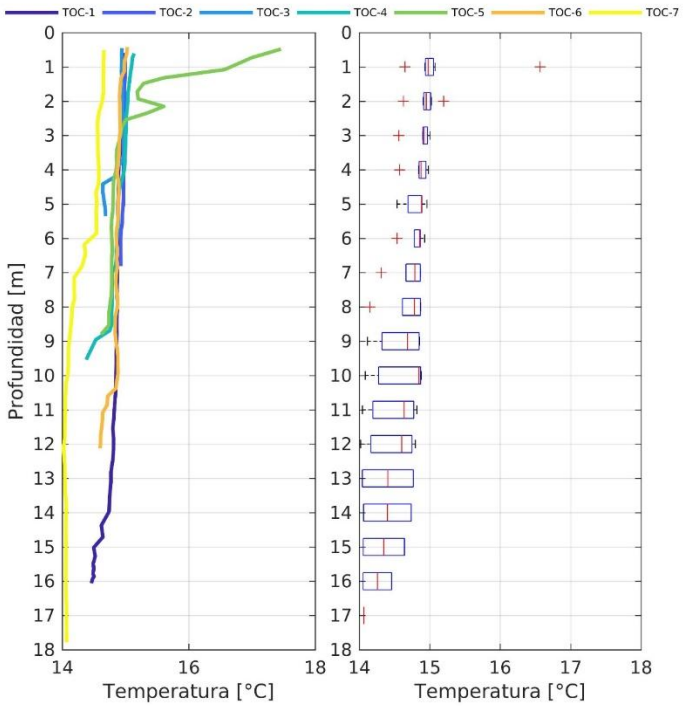


Figura 4.2-105: Temperatura en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2019.

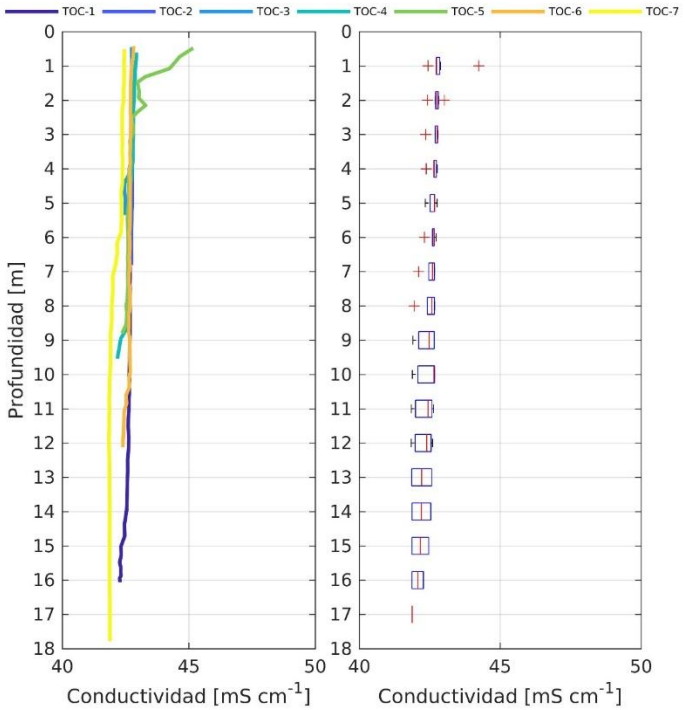


Figura 4.2-106: Conductividad eléctrica en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2019.

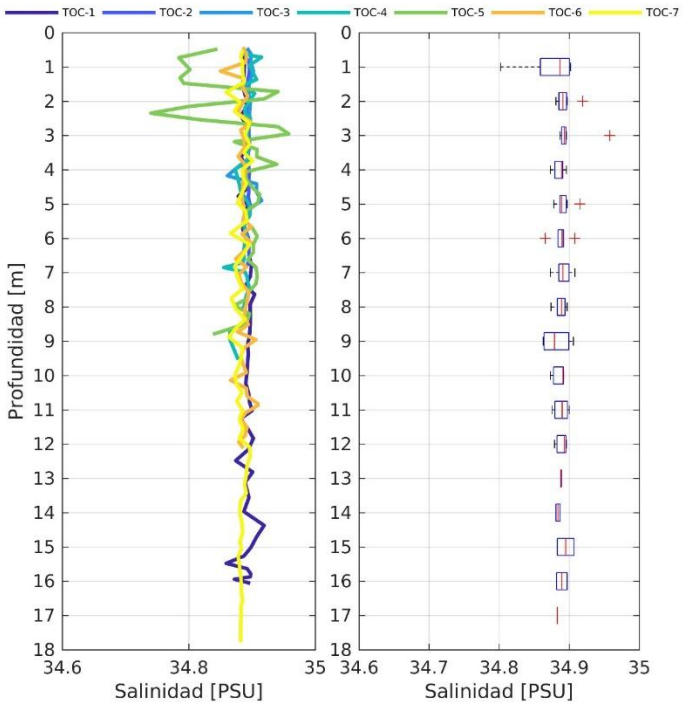


Figura 4.2-107: Salinidad en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2019.

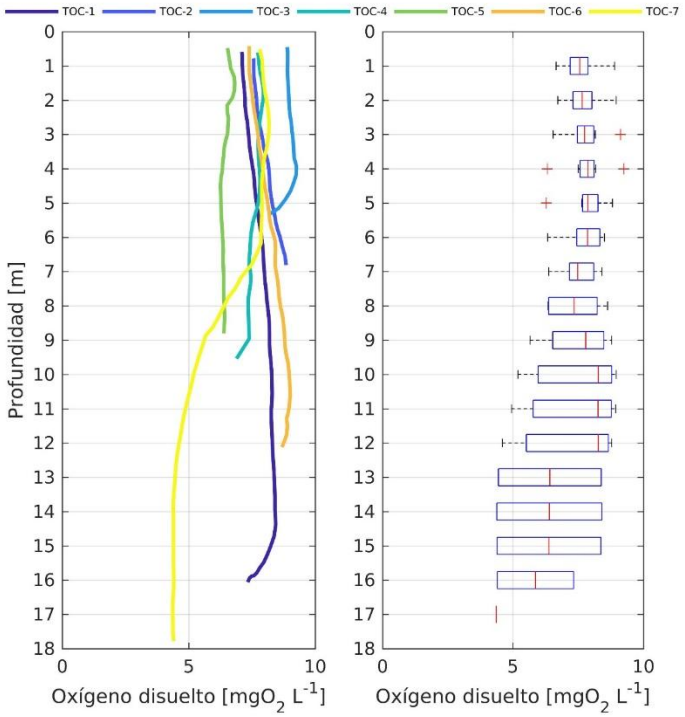


Figura 4.2-108: Oxígeno disuelto en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2019.

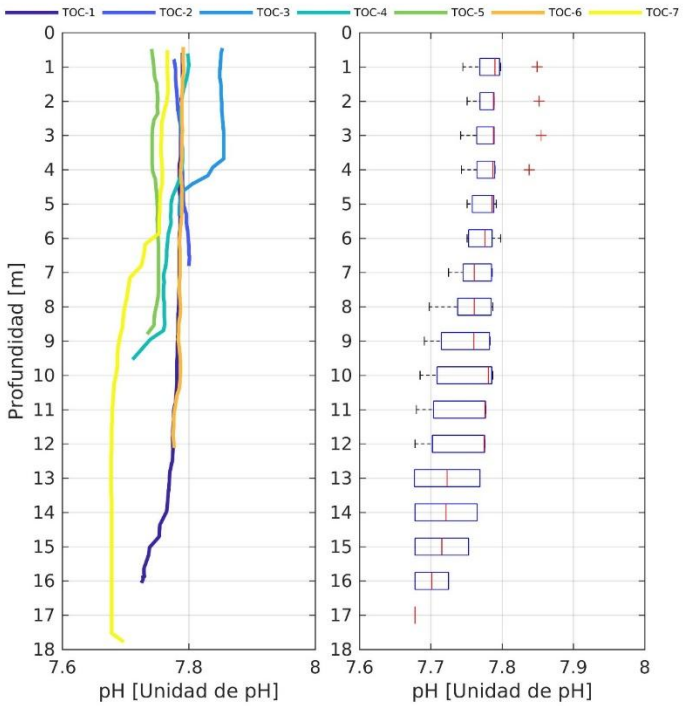


Figura 4.2-109: pH en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2019.

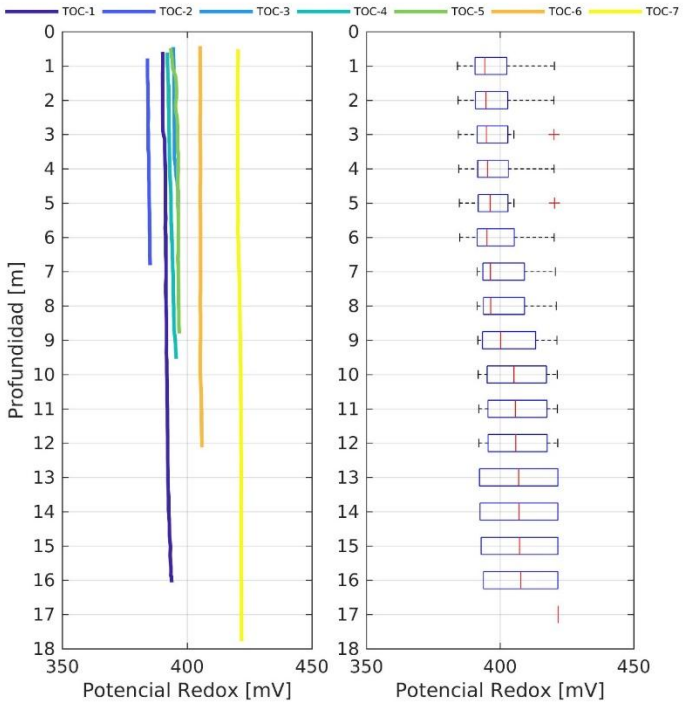


Figura 4.2-110: Potencial Redox en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2019.

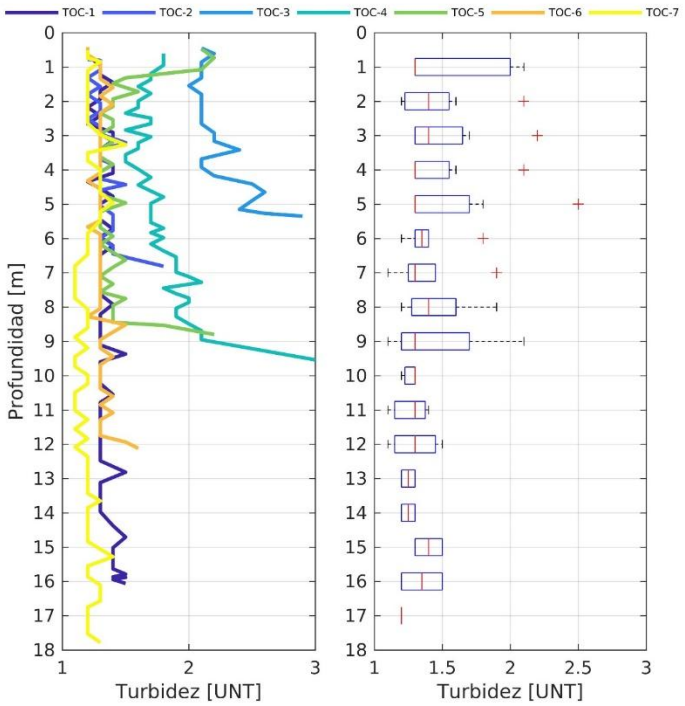


Figura 4.2-111: Turbidez en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de invierno de 2019.

Las aguas de Bahía Algodonales presentaron valores de conductividad eléctrica homogéneos entre los puntos de muestreo. A nivel de estratos no se observa una diferencia importante, el estrato superficial varió entre 42,39 mS/cm y 44,12 mS/cm, mientras que el profundo presentó valores de 41,87 mS/cm y 42,73 mS/cm (Tabla 4.2-28).

La salinidad fue similar entre puntos de muestreo y estratos, con valores esperados para agua marina (mínimo=34,78 g/l y máximo=34,91 g/l) (Tabla 4.2-28)

El contenido de oxígeno disuelto en el estrato superficial varió de 5,43 mg/L a 7,67 mg/L, mientras que en el estrato la mínima fue de 4,48 mg/L y la máxima 8,62 mg/L (Tabla 4.2-16).

Las aguas fueron moderadamente alcalinas, con variaciones de pH entre 7,75 y 7,82 unidades en el estrato superficial, y de 7,68 a 7,80 unidades en el estrato profundo. Todos los valores se encontraron dentro de los límites establecidos en la EPA (2009) (Tabla 4.2-28).

La temperatura varió entre 14,59 °C y 16,48°C en el estrato superficial y levemente menores fueron las temperaturas del estrato profundo 14,07°C y 14,93°C (Tabla 4.2-28).

Los valores de potencial redox fueron propios de ambientes que favorecen las reacciones de oxidación, con valores en el estrato superficial entre 179,0 y 216,0 mV y de 178,4 a 209,3 en el estrato profundo (Tabla 4.2-28).

Tabla 4.2-28: Parámetros in situ medidos en la campaña de invierno 2019. Bahía de Algodonales.

Punto de muestreo	Temperatura	Conductividad Eléctrica	Salinidad	O2	pH	Potencial Redox	Turbidez
	°C	mS/cm	g/L	mg/l	-	mV	NTU
TOC1-S	14,96	42,75	34,89	6,99	7,79	186,70	1,20
TOC1-F	14,46	42,28	34,90	7,14	7,73	186,60	1,50
TOC2-S	15,01	42,80	34,89	7,67	7,80	179,00	1,30
TOC2-F	14,93	42,73	34,89	8,62	7,80	178,40	1,80
TOC3-S	15,14	42,90	34,86	7,34	7,82	191,90	1,70
TOC3-F	14,42	42,23	34,90	7,73	7,75	189,90	5,00
TOC4-S	15,28	43,08	34,89	7,11	7,80	184,20	1,80
TOC4-F	14,16	41,98	34,90	5,69	7,69	188,90	5,10
TOC5-S	16,48	44,12	34,78	5,43	7,75	189,70	2,40
TOC5-F	14,54	42,36	34,90	6,03	7,72	189,90	24,80
TOC6-S	14,97	42,76	34,88	6,90	7,77	194,70	1,40
TOC6-F	14,60	42,40	34,89	8,46	7,78	198,80	1,60
TOC7-S	14,59	42,39	34,89	7,23	7,75	216,00	1,50
TOC7-F	14,07	41,87	34,88	4,48	7,68	209,30	1,30
CMC (Agudo) EPA,2009	-	-	-	-	-	-	-
CCC (crónico) EPA,2009	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-
CCME, 2007	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-

De los trece metales disueltos analizados (Tabla 4.2-29 y Tabla 4.2-30), solo el cobre presentó concentraciones sobre los criterios EPA (2009), teniendo el resto concentraciones menores que incluso se encontraron bajo el límite de detección.

La concentración de arsénico disuelto en el estrato superficial y de fondo fue de <0,005 mg/L, no superando el criterio de exposición crónica EPA (2009). El mismo comportamiento se observó para el vanadio, donde las concentraciones en superficie y fondo no superaron el límite de detección de 0,008 mg/l.

El cobre disuelto superficial varió entre <0,003 mg/l a 0,0201 mg/l, y en el estrato profundo entre <0,003 mg/L a 0,0173 mg/L, ambos máximos superaron la concentración de exposición aguda (EPA,2009) en TOC-2 (caleta duende), TOC-3 y TOC-4 (playa/camping), respectivamente.

La concentración de zinc superficial varió entre <0,002 mg/l a 0,045 mg/l, y entre <0,002 mg/L a 0,067 mg/L en el estrato profundo. Todas las concentraciones fueron menores a los criterios de la EPA,2009, indicando que a estas concentraciones una comunidad acuática puede estar expuesta sin presentar efectos agudos (muerte o alteración del crecimiento) o efectos crónicos (problemas reproductivos) (EPA 2009).

Tabla 4.2-29: Metales disueltos medidos en la campaña de invierno 2019 en los puntos de muestreo TOC1, TOC2, TOC3 y TOC4, en Bahía Algodonales.

Variable mg/L	TOC-1		TOC-2		TOC-3		TOC-4		EPA,2009	
	F	S	F	S	F	S	F	S	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088
Cobre	0,0031	<0,003	**0,0049**	0,0044	**0,0124**	**0,0121**	**0,0173**	**0,0201**	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	<0,002	<0,002	0,0026	<0,002	0,0026	<0,002	0,0043	<0,002	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	<0,003	0,0091	0,0083	0,0083	0,0061	0,0083	0,0083	0,0092	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,074	0,0082
Plomo	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,21	0,0081
Selenio	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,29	0,071
Vanadio	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	-	-
Zinc	0,0062	<0,002	0,0067	0,0026	0,0044	0,0030	0,0059	0,0045	0,090	0,081

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

Tabla 4.2-30: Metales disueltos medidos en la campaña de invierno 2019 en los puntos de muestreo TOC5, TOC6 y TOC7, en Bahía Algodonales.

Variable	TOC-5		TOC-6		TOC-7		EPA,2009	
	F	S	F	S	F	S	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0,069	0,036
Cadmio	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,040	0,0088
Cobre	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0,0048	0,0031
Cromo	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	-	-
Hierro	<0.002	0.0031	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	-	-
Manganeso	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	-	-
Mercurio	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0.0089	0.0078	0.0076	0.0074	0.0077	0.0069	-	-
Níquel	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0,074	0,0082
Plomo	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	0,21	0,0081
Selenio	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0,29	0,071
Vanadio	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	-	-
Zinc	0.0044	<0.002	<0.002	<0.002	0.0031	<0.002	0,090	0,081

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

En la Tabla 4.2-31 se adjuntan los valores de concentración de otros parámetros de interés ambiental para los puntos de muestreo TOC-1@7. Se destaca que los aceites y grasas y los hidrocarburos totales presentaron valores bajo los límites de detección, mientras que los coliformes fecales tuvieron valores entre <1,8 (NMP/100ml) y 49 (NMP/100ml), estando muy por debajo del límite del Decreto Supremo 144/2009 (1000 NMP/100ml). En tanto, la concentración de clorofila a da cuenta de un estado oligotrófico-mesotrófico a lo largo de la bahía, por lo que no se presentaron registro de eutroficación presente en ninguno de los puntos de medición[3].

Tabla 4.2-31: Otros parámetros de interés en estrato superficial y de fondo, bahía Algodonales, Tocopilla. Campaña invierno 2019.

Parámetro	Estrato	Punto de muestreo						
		TOC-01	TOC-02	TOC-03	TOC-04	TOC-05	TOC-06	TOC-07
Aceites y grasas (mg/l)	Fondo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Superficie	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Clorofila a (mg/mg3)	Fondo	1,06	0,7	0,58	0,4	0,77	0,36	0,35
	Superficie	0,83	1,03	0,83	0,61	0,36	0,57	0,35
Coliformes fecales (NMP/100ml)	Fondo	49	<1,8	49	49	4,5	<1,8	<1,8
	Superficie	<1,8	<1,8	<1,8	4	6,8	<1,8	<1,8
Hidrocarburos totales (mg/l)	Fondo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Superficie	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

4.2.1.3.2 Calidad de sedimentos

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

La granulometría de los sedimentos intermareales de estudio se presenta en la Tabla 4.2-32 y Figura 4.2-112. El tamaño del grano de los sedimentos intermareales de Bahía Algodonales varía de gravas a arenas muy finas, con mayor predominancia de arena fina en los puntos de muestreo ubicados en caleta duendes (SED-2) y emisario sanitario (SED-3). En el sector Playa/camping (SED-4) se tuvo un mayor porcentaje de arena media, con una porción importante de arena fina. Estos valores indican un menor flujo de energía, condiciones que favorecen la depositación de material fino. La arena gruesa y muy gruesa se observó al norte y sur de la bahía (Puntos SED-1 y SED-6).

[3] Smith et al. (1999). “Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems”. Environmental Pollution. 100, 179-196.

Tabla 4.2-32: Granulometría (%) de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Invierno 2019.

Punto de muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
SED-1	34,42%	23,98%	19,37%	17,70%	4,46%	0,07%	0,01%
SED-2	0,04%	0,26%	1,52%	21,71%	71,50%	4,71%	0,26%
SED-3	0,00%	0,14%	2,73%	38,53%	50,23%	8,22%	0,15%
SED-4	0,05%	1,45%	19,82%	52,44%	25,81%	0,34%	0,08%
SED-5	56,00%	30,90%	12,55%	0,52%	0,03%	0,01%	0,00%
SED-6	4,03%	84,19%	11,66%	0,01%	0,08%	0,02%	0,00%

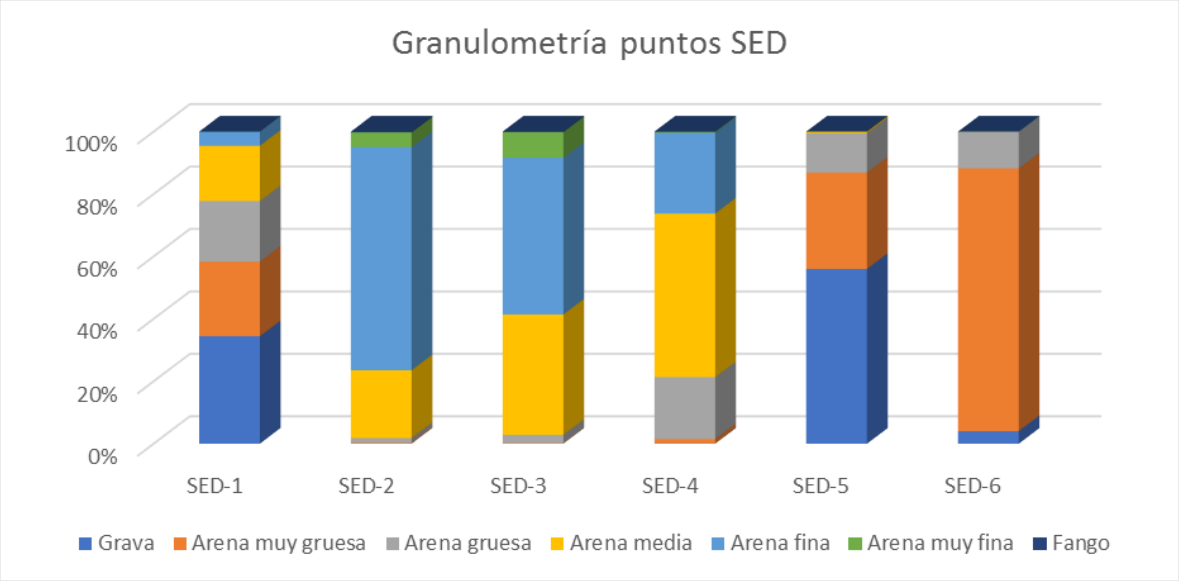


Figura 4.2-112: Granulometría en puntos de medición intermareal SED, campaña invierno 2019.

En cuanto al contenido de metales en la bahía, espacialmente las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (SED-2), emisario sanitario (SED-3), Playa/camping (SED-4) y Norgener (SED-5), indicando un menor flujo de energía en estos sectores, condiciones que favorecen la depositación (Tabla 4.2-34).

La concentración de hierro varió entre 18243 mg/kg a 173313,0 mg/kg, registrándose el máximo valor en el punto en SED-4 (playa camping). La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-34).

La concentración de cobre varió entre 48,4 mg/kg en SED-6 y 9202,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando en todos los puntos, SED-1 al SED-6, el criterio ISGQ. La concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) se vio superada en los puntos SED-2, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-34).

La concentración de zinc varió entre 13,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 2752,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es

de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-34).

La concentración de arsénico varió entre 1,2 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y 430,5 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos SED-02, SED-3, SED-4 y SED-5 (Tabla 4.2-34).

La concentración de vanadio varió entre 57 mg/kg en SED-6 (playa al sur de caleta algodonales) y 148,5 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002).

La concentración de cromo varió entre 13,5 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 110,4 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando el criterio ISGQ correspondiente a 52,3 mg/kg en los puntos SED-2 y SED-4 (Tabla 4.2-34).

La concentración de plomo varió entre <0,5 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y SED-6 (playa al sur de caleta algodonales) y 25,3 mg/kg en SED-4 (playa/camping),no superando el criterio ISGQ correspondiente a 30,2 mg/kg en ningún punto (Tabla 4.2-34).

La concentración de cadmio registró valores bajo el límite de detección (0,1 mg/kg) en todos los puntos de medición (SED-1 al SED-6), no superando entonces los criterios ISGQ y PEL (Tabla 4.2-34).

Así, considerando las muestras en cada uno de los puntos SED, para la bahía se obtuvo que los metales con mayor presencia en los sedimentos intermareales fueron el hierro (76500,7,2± 60460,5 mg/kg), cobre (2502,8 ± 3435,2mg/kg) y zinc (857,5 ± 1038,5 mg/kg). (Tabla 4.2-33).

Tabla 4.2-33: Concentración promedio de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Invierno 2019.

Parámetro	N	Promedio	DE	Min	Max
Hierro	6	76500.7	60460.5	18243.0	173313.0
Cobre	6	2502.8	3435.2	48.4	9202.0
Zinc	6	857.5	1038.5	13.0	2752.0
Molibdeno	6	411.7	437.2	5.0	1157.0
Manganeso	6	265.0	184.9	94.0	513.0
Arsénico	6	145.7	159.9	1.2	430.5
Vanadio	6	116.7	42.9	57.0	148.5
Cromo	6	44.2	36.1	13.5	110.4
Plomo	6	10.8	10.6	0.5	25.3
Níquel	6	9.4	6.1	1.5	16.0
Talio	6	2.0	0.0	2.0	2.0
Selenio	6	1.0	0.0	1.0	1.0

Parámetro	N	Promedio	DE	Min	Max
Cadmio	6	0.1	0.0	0.1	0.1
Mercurio	6	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 4.2-34: Concentración de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Invierno 2019.

Parámetro	Unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		SED-01	SED-02	SED-03	SED-04	SED-05	SED-06	ISGQ	PEL
Arsénico	mg/kg	1,2	**128,9**	**206,4**	**430,5**	**103,7**	3,67	7,24	41,6
Cadmio	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	4,2
Cobre	mg/kg	**70,2**	**1559**	**2744**	**9202**	**1393**	**48,4**	18,7	108
Cromo	mg/kg	14,8	**53,9**	44	**110,4**	28,4	13,5	52,3	160
Hierro	mg/kg	21646	90370	111675	173313	43757	18243	(*)	(*)
Manganeso	mg/kg	94	513	459	280	148	96	(*)	(*)
Mercurio	mg/kg	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,13	0,7
Molibdeno	mg/kg	<5	362	644	1157	297	<5	(*)	(*)
Níquel	mg/kg	<1,5	16	16	10,2	3,2	9,6	(*)	(*)
Plomo	mg/kg	<0,5	15	19,5	25,3	4,2	<0,5	30,2	112
Selenio	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	(*)	(*)
Talio	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2	(*)	(*)
Vanadio	mg/kg	138,8	144,3	148,5	145,3	66,1	57	(*)	|
Zinc	mg/kg	18	**693**	**1257**	**2752**	**412**	13	124	271

El tamaño del grano de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales varió de grava muy bien seleccionada a arena fina bien seleccionada, con mayor predominancia de arena fina y muy fina. La grava se observó al sur de la bahía, específicamente en el punto TOC-7, mientras que la arena fina en TOC-1, TOC-2, TOC-3, TOC-4 y TOC-5 (Tabla 4.2-35 y Figura 4.2-113).

Tabla 4.2-35: Granulometría de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2019

Punto de Muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
TOC-1	0.07%	0.23%	1.09%	2.75%	54.54%	40.13%	1.19%
TOC-2	0.01%	0.18%	0.67%	3.47%	65.31%	30.15%	0.22%
TOC-3	0.00%	0.15%	1.15%	8.57%	61.16%	28.68%	0.30%
TOC-4	0.01%	0.22%	0.82%	6.43%	65.35%	26.87%	0.29%
TOC-5	0.19%	0.35%	1.08%	4.05%	53.41%	39.08%	1.84%
TOC-6	3.17%	43.11%	42.12%	8.82%	2.59%	0.13%	0.05%
TOC-7	70.40%	28.86%	0.68%	0.02%	0.03%	0.01%	0.00%

(-) punto de muestreo sin sedimentos.

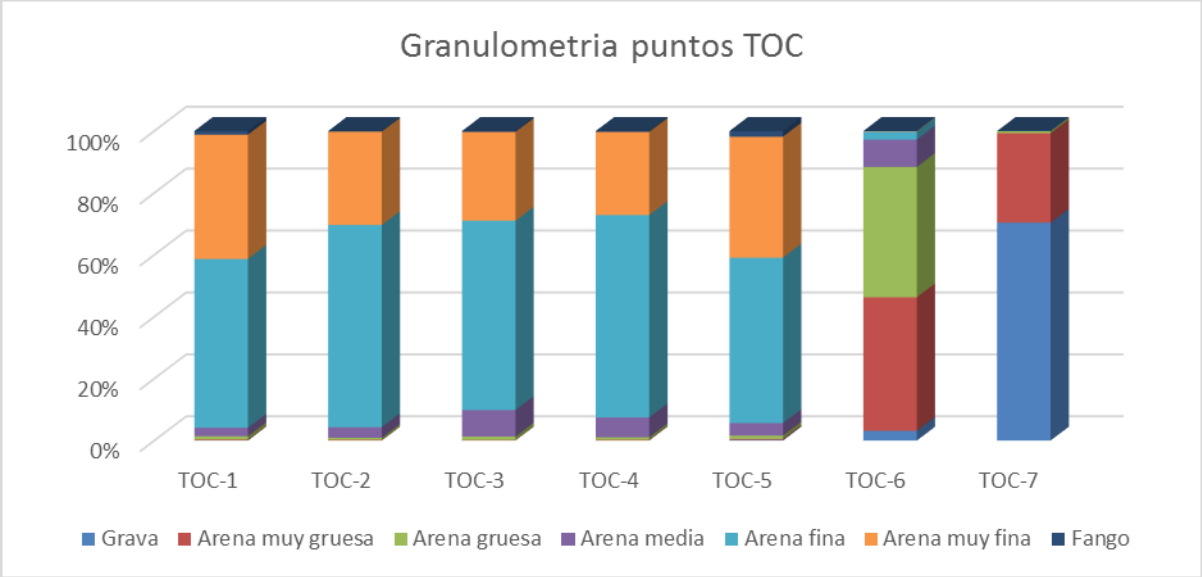


Figura 4.2-113: Granulometría en puntos de medición submareal TOC, campaña invierno 2019.

En cuanto al contenido de metales en los puntos de medición submareales TOC, la concentración de hierro varió entre 11942,00 mg/kg y 162432,00 mg/kg en TOC-1 (Cenizales) y TOC-4 (caleta duendes), respectivamente. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-36 y Tabla 4.2-37).

La concentración de cobre varió entre 80,60 mg/kg en TOC-1 (Cenizales) y 6823,00 mg/kg en TOC-7 (LIPESED), superando, a excepción de TOC-1, la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) (Tabla 4.2-36 y Tabla 4.2-37). Cabe destacar el alto contenido de cobre encontrado en todos los puntos de muestreo, reflejado en los elevados valores de concentración.

La concentración de zinc varió entre 22,0 mg/kg en TOC-7 (LIPESED) y 1987,0 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos TOC-02, TOC-3, TOC-4 y TOC-5) (Tabla 4.2-36 y Tabla 4.2-37). Esta superación de la concentración PEL se mantuvo respecto a los valores encontrados en campañas anteriores.

La concentración de arsénico varió entre 2,68 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja, cenizales) y 208,30 mg/kg en TOC-4, superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos TOC-02, TOC -3, TOC -4, TOC-5 y TOC-7 (Tabla 4.2-36 y Tabla 4.2-37).

La concentración de vanadio varió entre 73,10 mg/kg en TOC-6 y 166,70 mg/kg en TOC-3. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-36 y Tabla 4.2-37).

La concentración de cromo varió entre 8,50 mg/kg en TOC-1 (Cenizales) y 43,4 mg/kg en TOC-2 (Caleta Duendes), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 52,3 mg/kg (Tabla 4.2-36 y Tabla 4.2-37).

La concentración de plomo varió entre 1,20 mg/kg en TOC-1 (Cenizales) y 22,20 mg/kg en TOC-4, ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 30,2 mg/kg (Tabla 4.2-36 y Tabla 4.2-37).

La concentración de cadmio varió entre 0,10 mg/kg en TOC-1, TOC-3, TOC-5, TOC-6 y TOC-7 a 0,30 mg/kg en TOC-4, ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 0,7 mg/kg (Tabla 4.2-36 y Tabla 4.2-37).

Tabla 4.2-36: Concentración de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Invierno 2019

Parámetro	unidad	PUNTO DE MUESTREO							CCME (2002)	
		TOC-01	TOC-02	TOC-03	TOC-04	TOC-05	TOC-06	TOC-07	ISGQ	PEL
Arsénico	mg/kg	2,68	**206,1**	**122,4**	**208,3**	**70,53**	**20,66**	**103,5**	7,24	41,6
Cadmio	mg/kg	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,7	4,2
Zinc	mg/kg	28	**1987**	**1096**	**1860**	**650**	35	22	124	271
Cobre	mg/kg	**80,6**	**2694**	**5362**	**5266**	**1305**	**146,7**	**6823**	18,7	108
Cromo	mg/kg	8,5	43,4	28,2	32,2	23,3	20,2	10,3	52,3	160
Hierro	mg/kg	11942	128258	141631	162432	68390	22131	71915	(*)	(*)
Manganeso	mg/kg	67	422	357	366	252	150	148	(*)	(*)
Mercurio	mg/kg	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,13	0,7
Molibdeno	mg/kg	9	726	420	598	224	5	111	(*)	(*)
Niquel	mg/kg	3,4	12,2	20,8	14,2	15,5	23,3	19,9	(*)	(*)
Plomo	mg/kg	1,2	18,7	12	22	21,7	9,1	6,4	30,2	112
Selenio	mg/kg	1	1	1	1	1	1	1	(*)	(*)
Talio	mg/kg	2	2	2	2	2	2	2	(*)	(*)
Vanadio	mg/kg	78,5	128,9	166,7	140,1	161,2	73,1	115,5	(*)	(*)

(*) Normativa no establece límite de referencia.
Valor en negrita indica superación del criterio ISGQ. CCME (2002)
Celda destacada indica superación del nivel de efecto probable, PEL, CCME (2002)

Luego, considerando las mediciones realizadas en los puntos TOC, se destaca en la bahía que en general los metales con mayor presencia en los sedimentos superficiales intermareales fueron el hierro (86671,29 ± 58866,49 mg/kg), cobre (3096,76 ± 2735,40 mg/kg) y zinc (811,14 ± 859,10 mg/kg). Otro metal con presencia importante en la bahía fue el arsénico, con una concentración promedio de 104,88 mg/kg ± 81,62 mg/kg (Tabla 4.2-37). Espacialmente, las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en caleta duendes (TOC-2), emisario sanitario (TOC-3), Playa/camping (TOC-4) y Norgener (TOC-5), indicando un menor flujo de energía en estos sectores, condiciones que favorecen la depositación.

Tabla 4.2-37: Concentración promedio de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Invierno 2019.

Variable	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Hierro	7	86671,29	58866,49	11942,00	162432,00
Cobre	7	3096,76	2735,40	80,60	6823,00
Zinc	7	811,14	859,10	22,00	1987,00
Molibdeno	7	299,00	288,06	5,00	726,00
Manganeso	7	251,71	134,39	67,00	422,00
Vanadio	7	123,43	37,02	73,10	166,70
Arsénico	7	104,88	81,62	2,68	208,30
Cromo	7	23,73	12,27	8,50	43,40
Níquel	7	15,61	6,67	3,40	23,30
Plomo	7	13,01	8,04	1,20	22,00
Talio	7	2,00	0,00	2,00	2,00
Selenio	7	1,00	0,00	1,00	1,00
Cadmio	7	0,14	0,08	0,10	0,30
Mercurio	7	0,01	0,00	0,01	0,02

En la Tabla 4.2-38 se adjuntan los valores de concentración de hidrocarburos en sedimentos, tanto en el estrato intermareal (SED-1@6) como en el submareal (TOC-1@7), donde se destaca la baja concentración presente en cada uno de los puntos de muestreo, de manera tal que se encuentran bajo el límite de detección.

Tabla 4.2-38: Concentraciones de hidrocarburos en sedimentos en bahía Algodonales, Tocopilla. Campaña invierno 2019.

Punto de muestreo	Hidrocarburos alifáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos totales (mg/kg)
SED-01	<9,6	<9,6	<9,6
SED-02	<9,6	<9,6	<9,6
SED-03	<9,5	<9,5	<9,5
SED-04	<9,6	<9,6	<9,6
SED-05	<9,8	<9,8	<9,8
SED-06	<9,8	<9,8	<9,8
TOC-01	<9,7	<9,7	<9,7
TOC-02	<9,7	<9,7	<9,7
TOC-03	<9,6	<9,6	<9,6
TOC-04	<9,7	<9,7	<9,7
TOC-05	<9,4	<9,4	<9,4
TOC-06	<9,6	<9,6	<9,6
TOC-07	<9,7	<9,7	<9,7

4.2.1.3.3 Comunidades planctónicas

vii. Fitoplancton

El análisis cualitativo de fitoplancton durante la campaña invernal indicó la presencia de un total de 36 taxa, de los cuales 19 correspondieron al grupo de las diatomeas, 14 taxa al grupo de los dinoflagelados y 3 a grupos menores desde el punto de vista de su representatividad taxonómica (Tabla 4.2-39). La distribución espacial de fitoplancton fue heterogénea entre los puntos de muestreo, registrando índices de abundancia relativa entre "Raro" (R) a "Muy Abundante" (M). Dentro del grupo de las diatomeas se reconocieron 4 taxa que presentaron un índice de abundancia relativa" Muy Abundante" (MA) en toda el área de estudio con una frecuencia de ocurrencia del 100%. En esta condición están los taxa *Coscinodiscus* spp., *Lithodesmium* sp., *Planktoniella* sp. y *Pleurosigma* sp. Otras diatomeas reconocidas como "Abundante" y "Muy Abundante" fueron los taxa *Chaetoceros* sp., *Carethron* sp., *Grammatophora* spp., *Thalassiosira* sp. y *Thalassionema sp*. Asimismo, los taxa de dinoflagelados con abundante presencia en todos los puntos prospectados correspondieron a *Dinophysis acuminata*, *Protoperidinium* sp. y *Tripos lineatus*.

Tabla 4.2-39 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) de la comunidad de fitoplancton obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019. R: Raro, E: Escaso, A: Abundante, MA: Muy Abundante.

Taxa / Punto de Muestreo	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Diatomeas							
Actinoptychus sp.	A	MA	A	E	E	E	E
Asteromphalus sp.	E	A	E	E	E		E
Bacteriastrum sp.		E		E			E
Biddulphia sp.	E	A	A	A	R	E	
Chaetoceros spp.	MA	A	MA	MA	MA	MA	MA
Corethron sp.	MA	MA	MA	MA	A	MA	A
Coscinodiscus spp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Detonula sp.		MA	R	E			
Ditylum sp.	E	A		R	R		A
Grammatophora spp.	MA	MA	MA	MA	A	A	MA
Licmophora sp.	E	MA	E	E			E
Lithodesmium sp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Melosira sp.	A	MA	A	E	E	A	MA
Planktoniella sp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Pleurosigma sp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Pseudonitzschia sp.		E					
Rhizosolenia spp.	A	MA	A	A	E	A	A
Thalassionema sp.	MA	MA	A	A		A	MA
Thalassiosira sp.	MA	A	MA	MA	MA	MA	MA
Dinoflagelados							
Dinophysis acuminata	MA	MA	MA	MA	A	A	MA
Dinophysis caudata	E	E	R	E			
Gonyaulax sp.	R	A	R	R		R	E
Prorocentrum sp.	E	A	R				
Protoperidinium pellucidum	A	MA	E	E	E	A	A
Protoperidinium spp.	MA	MA	A	MA	MA	MA	MA

Taxa / Punto de Muestreo	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Tripos balechii	E	MA	E	R	MA	A	MA
Tripos furca		MA	R	E	MA	E	MA
Tripos fusus	E	A	E	E	E	E	E
Tripos lineatus	A	MA	MA	A	MA	MA	MA
Tripos muelleri	E	A	E	R	E	E	E
Tripos pentagonus		E		E	E	R	E
Tripos sp.				R	E	E	E
Tripos spp.		MA					
Silicoflagelados							
Dictyocha sp.			E	A	E	R	
Dictyocha spp.	A	MA					MA
Otros grupos							
Octactis sp.	E	MA	A	E	E	E	MA

En el análisis cuantitativo de fitoplancton se registró un total de 35 taxa, de los cuales 20 taxa pertenecen al grupo de las diatomeas, 12 taxa al grupo de los dinoflagelados y el resto a otros grupos de menor representación taxonómica. No se observa un patrón espacial en particular (Figura 4.2-114a).

La abundancia de fitoplancton, en general, registró las mayores magnitudes en el sector sur del área de estudio (TOC-6, TOC-5 y TOC-3) (Figura 4.2-114b).

Entre las microalgas identificadas, la diatomea *Chaetoceros sp.* registró las mayores abundancias en casi toda el área de estudio (TOC-2, TOC-3, TOC-5, TOC-6 y TOC-7), tanto en el estrato superficial (Figura 4.2-115) como en el de fondo (Figura 4.2-116). En el estrato superficial del punto de muestreo localizado en el extremo norte del área de estudio (TOC-1) las diatomeas *Chaetoceros* sp. y *Grammatophora* sp. representaron los géneros más abundantes. En tanto, en el estrato de fondo ambas especies destacaron en el punto de muestreo TOC-4.

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde en general se presentaron valores sobre los 2bits (excepto TOC-3 y TOC-5). El mayor valor se registró en los dos estratos en el sector sur (TOC-7). En cuanto al índice de equidad (J') se observó que en general fueron bajos. Esto nos indicaría que en general en los extremos de la bahía existiría alta diversidad con un grupo dominante de taxa (Figura 4.2-117).

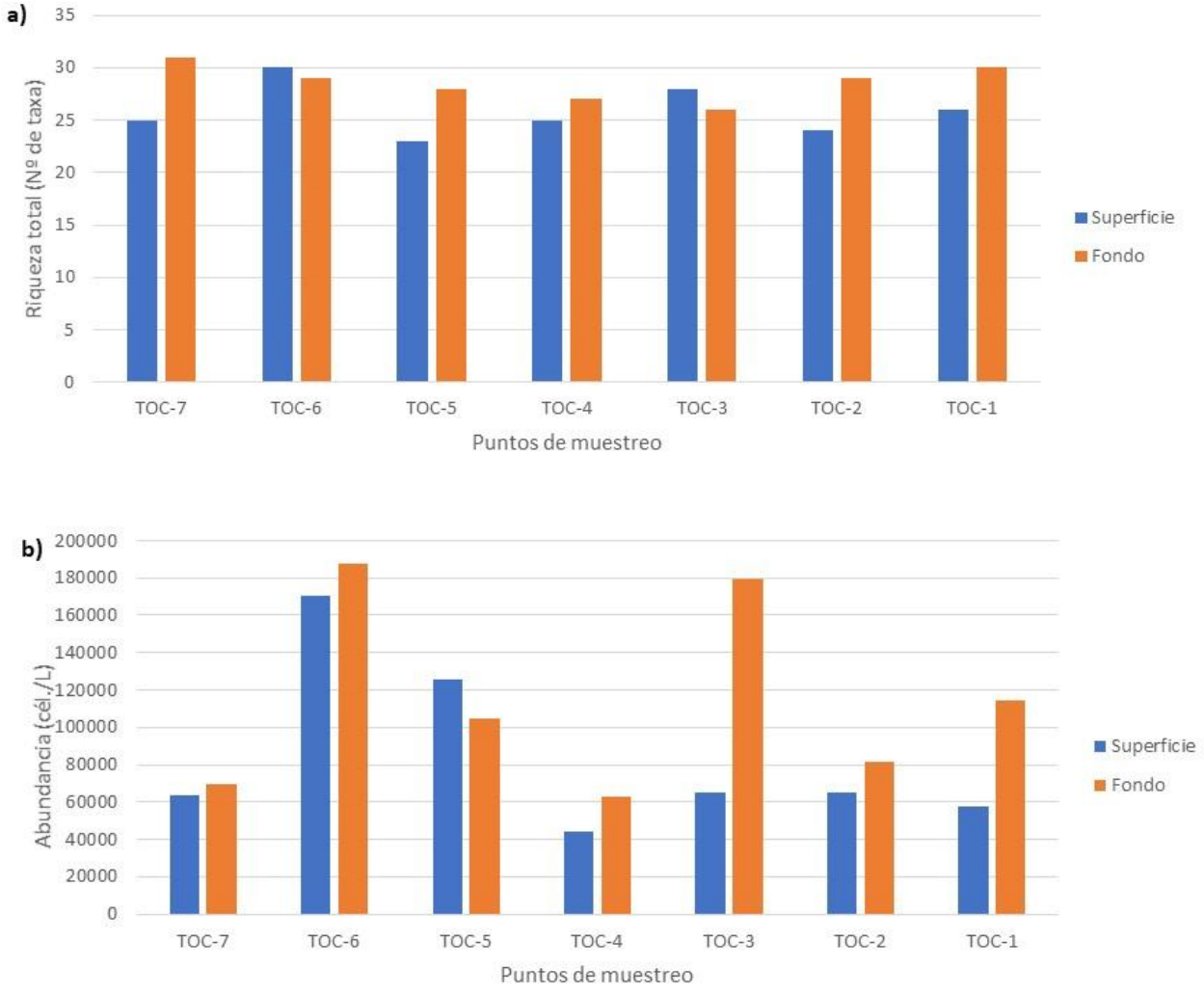


Figura 4.2-114 a) Riqueza y (b) Abundancia del Fitoplancton en dos estratos de la columna de agua (Superficie y Fondo). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019.

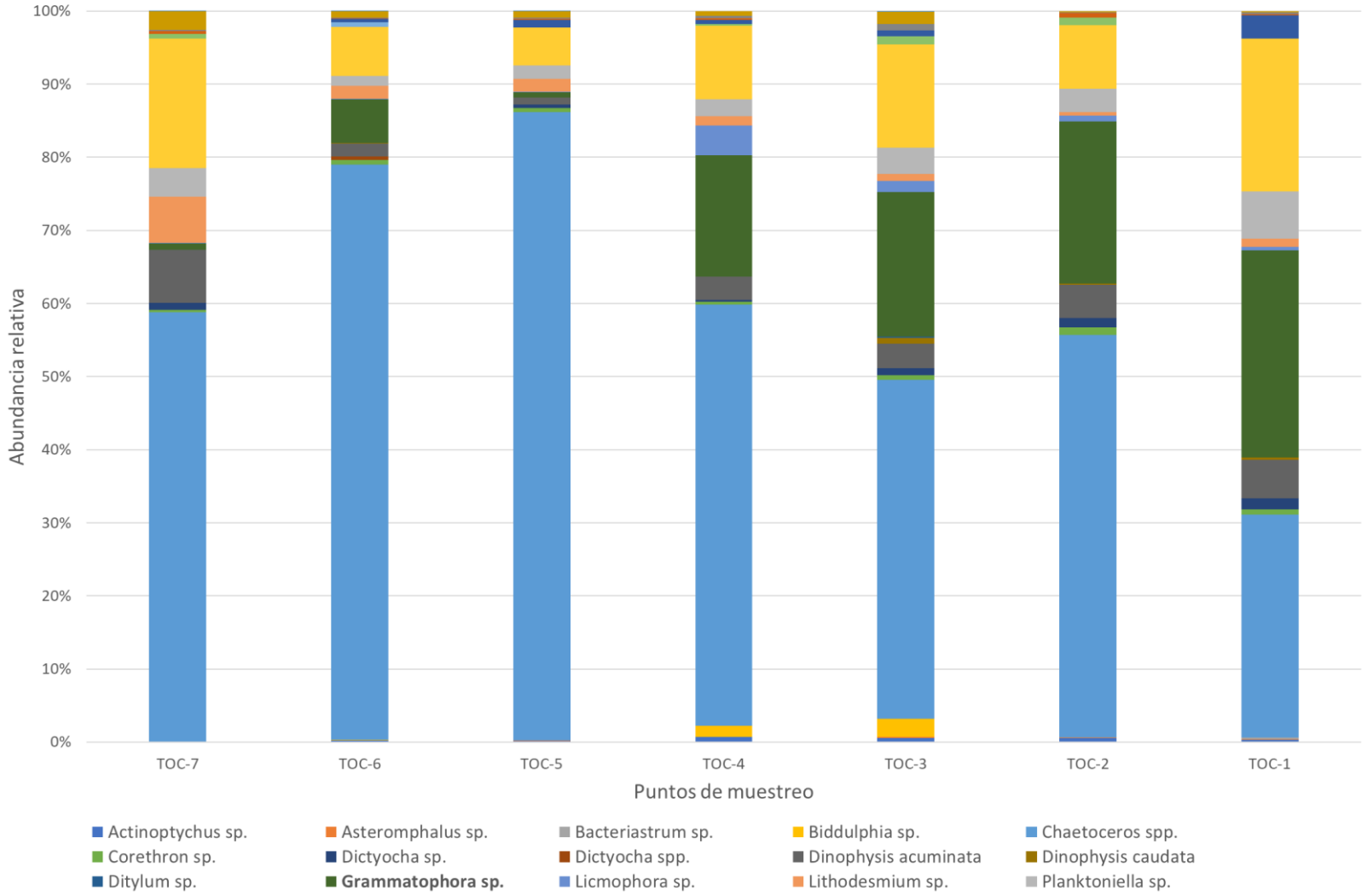


Figura 4.2-115 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato superficial de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019.

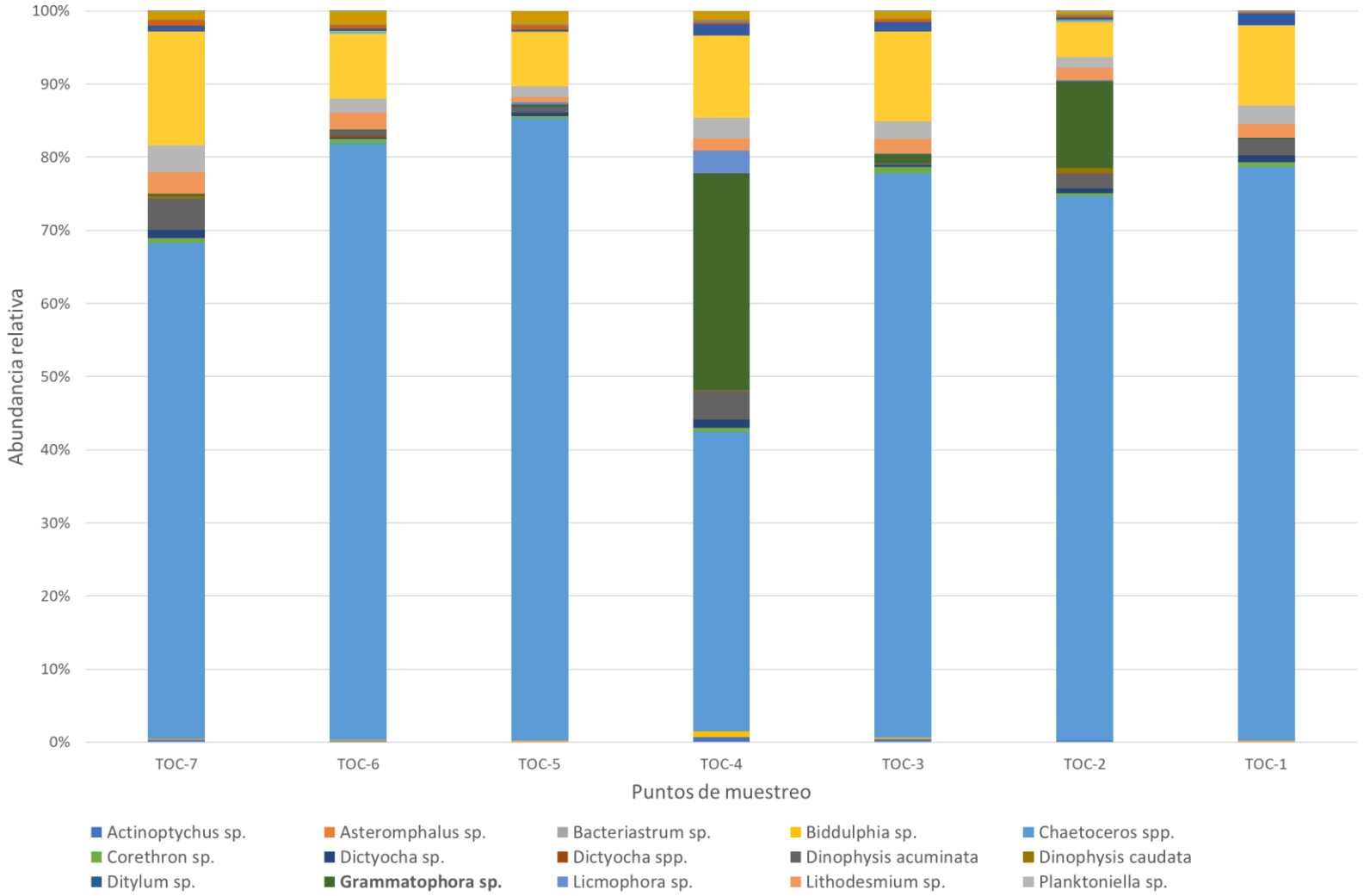


Figura 4.2-116 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato fondo de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019.

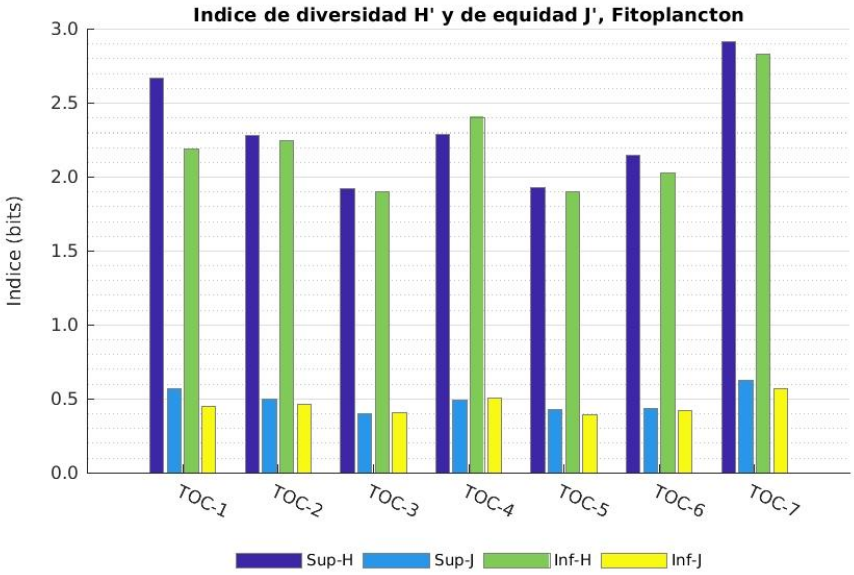


Figura 4.2-117 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades fitoplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de fitoplancton, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-118). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fitoplancton, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,711 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que las diatomeas *Chaetoceros* spp. y *Thalasiossira* sp. fueron las especies que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

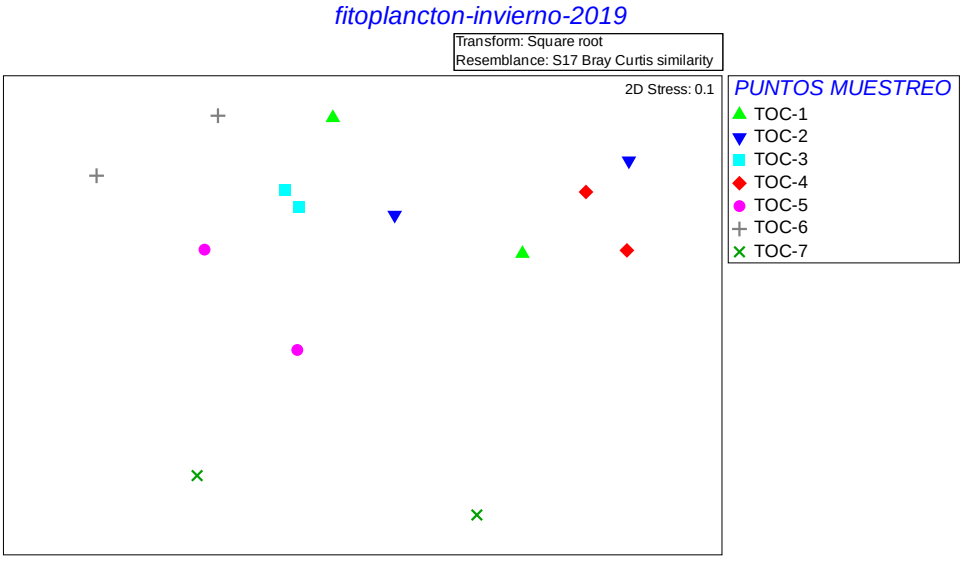


Figura 4.2-118 Análisis Escalamiento Multidimensional de fitoplancton, entre siete puntos de muestreo durante invierno 2019.

viii. Zooplancton

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

El Meroplancton registró 25 taxa compuesto principalmente por estados ontogénicos tempranos de cirripedios, poliquetos y moluscos. A nivel espacial, la riqueza total presentó en general un patrón homogéneo en el área de estudio, reconociéndose los mayores registros de riqueza en los extremos sur (TOC-6 con 16 taxa) y norte (TOC-1 con 15 taxa) del área de estudio (Figura 4.2-119a). En cuanto a la abundancia, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos evaluados, con las mayores magnitudes reconocidas en el extremo norte del área de estudio (TOC-1) (Figura 4.2-119b).

La composición de taxa en el meroplancton, indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios en el extremo sur (TOC-7) y extremo norte (TOC-1 y TOC-2) del área de estudio. En tanto, en los puntos TOC-3 a TOC-6 se reconoció la dominancia de larvas de moluscos gastrópodos y poliquetos (Figura 4.2-120).

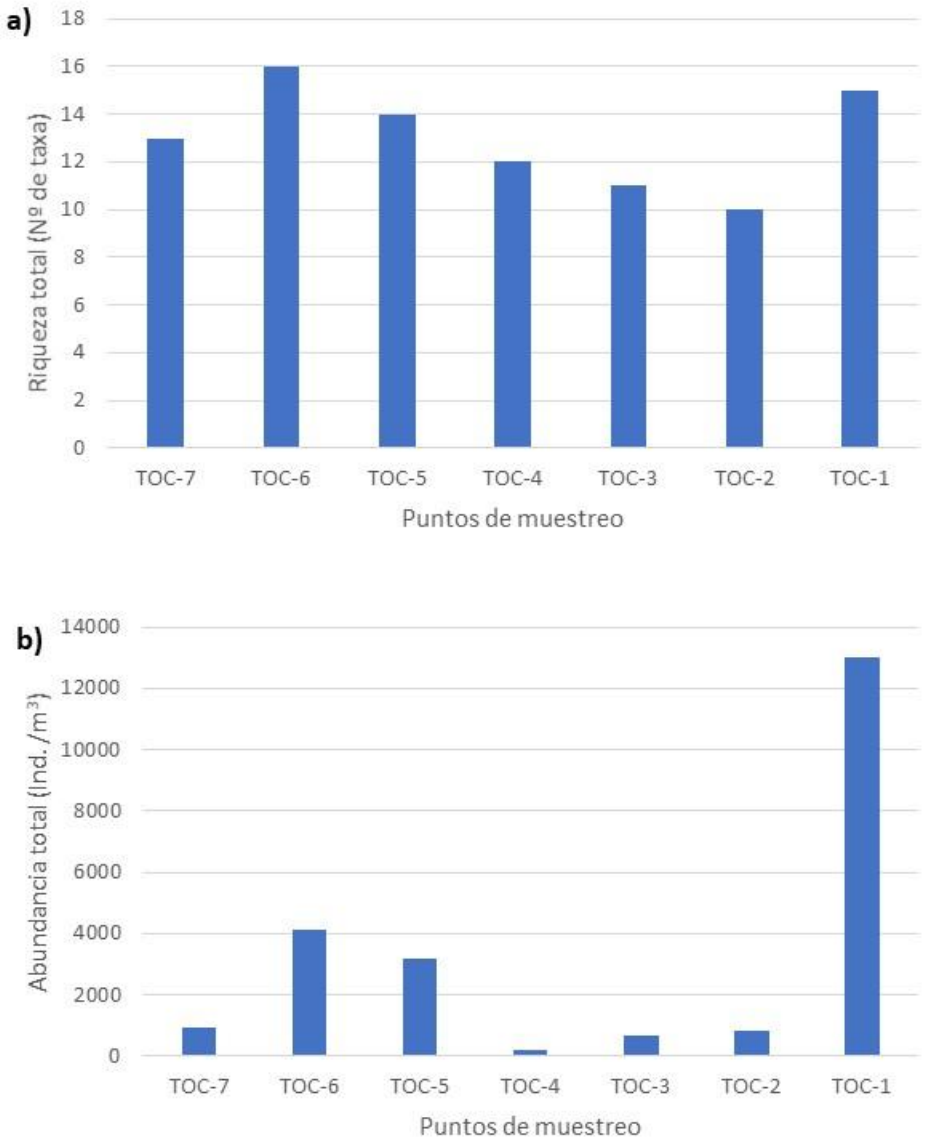


Figura 4.2-119 Riqueza y (b) Abundancia del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de Invierno 2019.

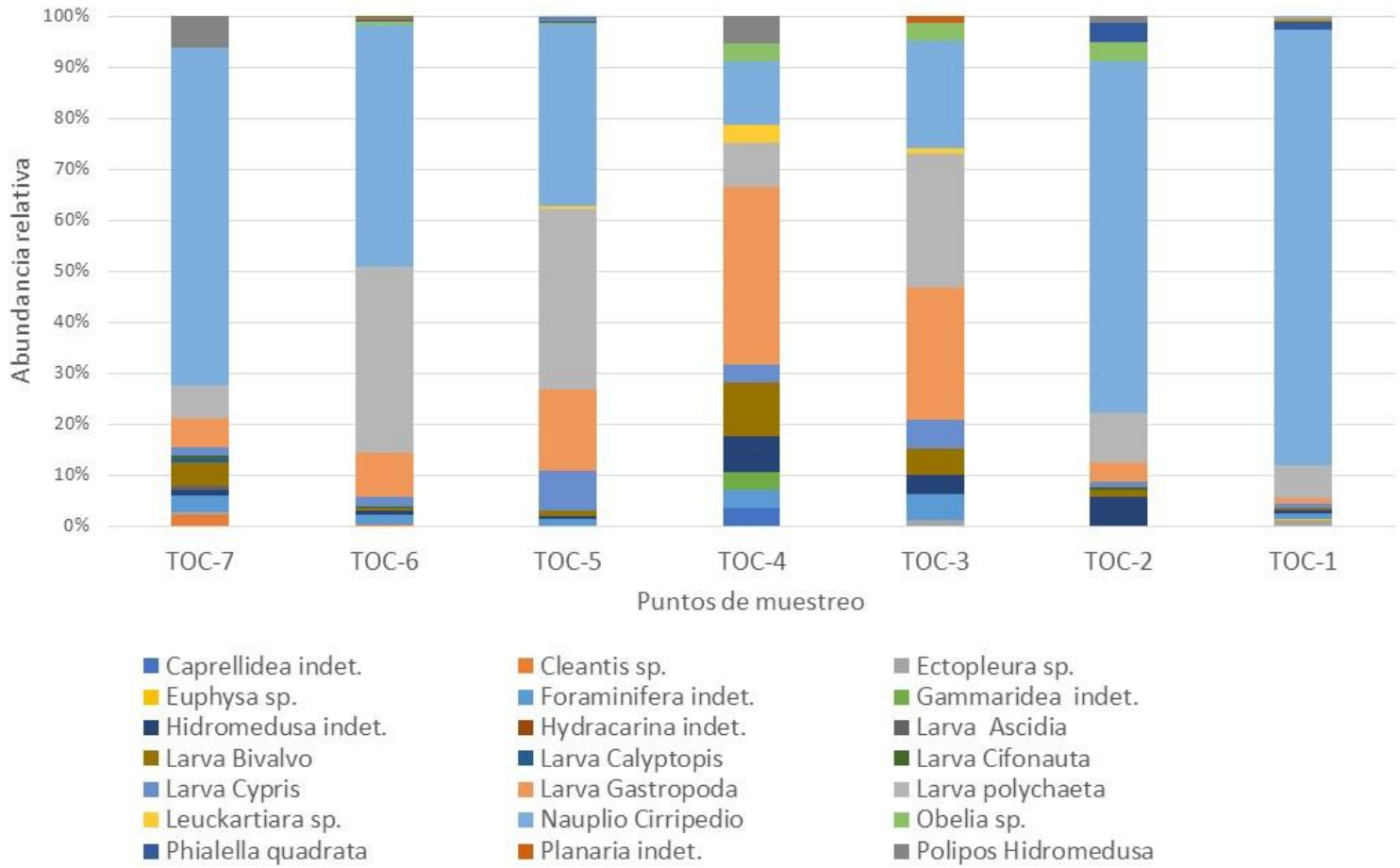


Figura 4.2-120 Abundancia Relativa (%) del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019.

El Holoplancton registró 16 taxa compuesto mayoritariamente por Copépodos. A nivel espacial, las mayores riquezas se registraron en el extremo norte del área de estudio (TOC-1 y TOC-2) (Figura 4.2-121a). En cuanto a la abundancia, los valores presentaron un patrón heterogéneo entre puntos de muestreo, con las mayores magnitudes en el sector norte del área de estudio (TOC-1) (Figura 4.2-121b).

Durante la campaña de invierno, se registró en mayor proporción organismos copépodos de los grupos Calanoidea y Cyclopoidea. (Figura 4.2-122).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en los puntos TOC-3. En cuanto al índice de equidad (J') se observó para todos los puntos valores cercanos a 1 bits. Esto nos indicaría que en general en los extremos de la bahía existiría alta diversidad con abundancias uniformes (Figura 4.2-123).

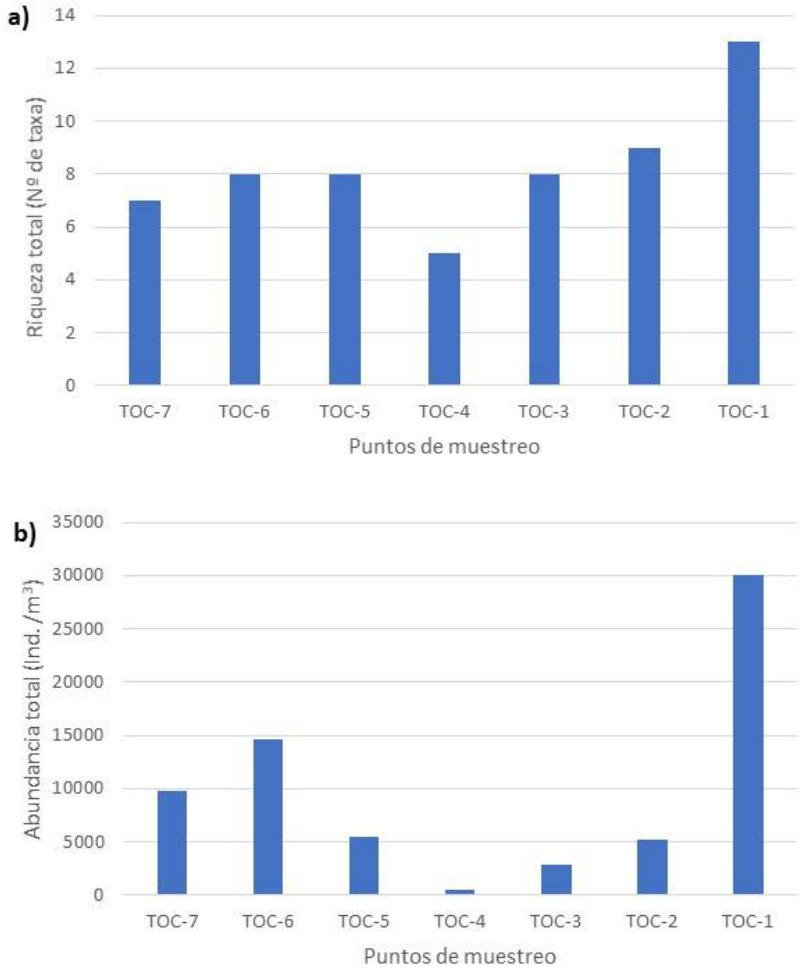


Figura 4.2-121 a) Riqueza y (b) Abundancia del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019.

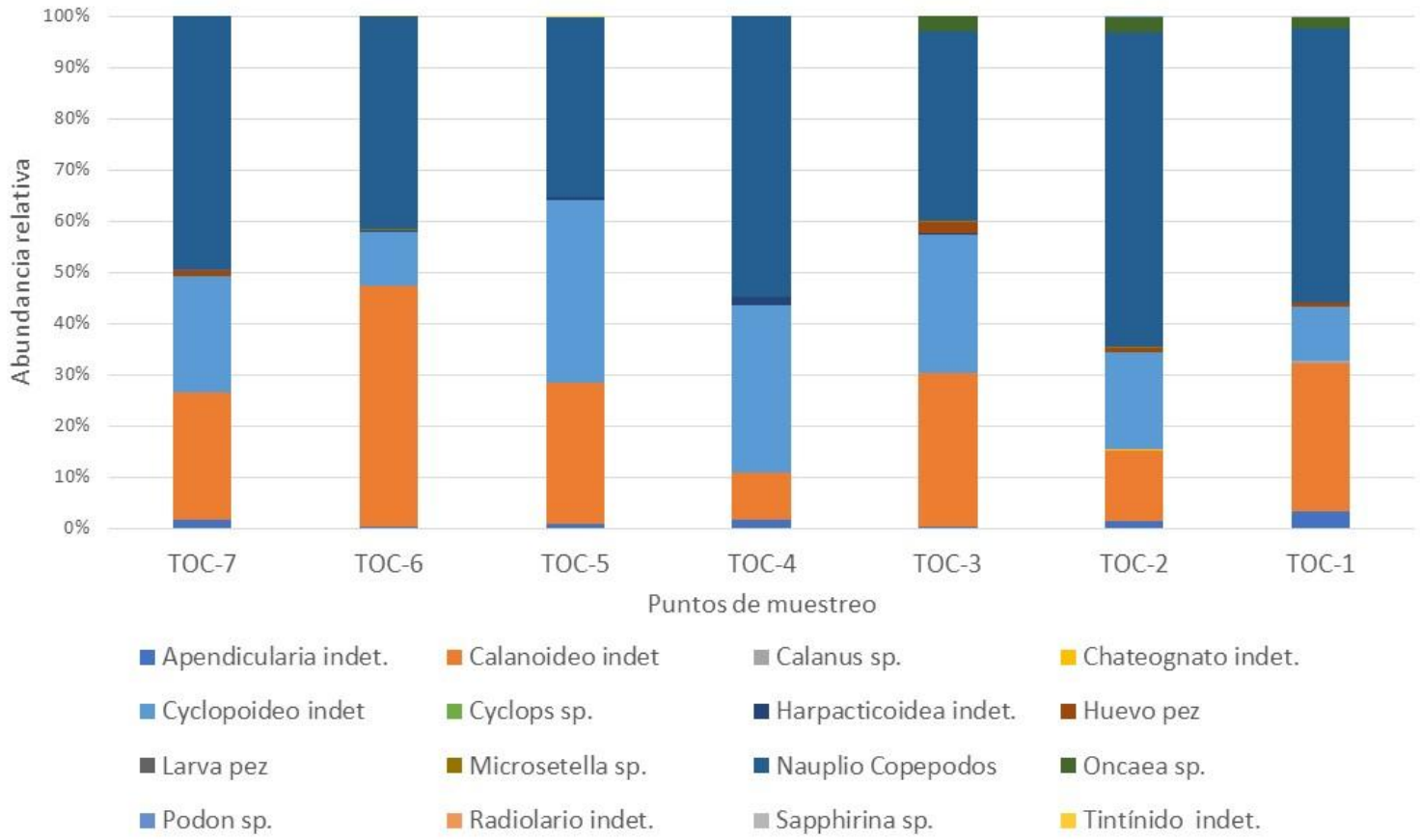


Figura 4.2-122 Relativa (%) del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019.

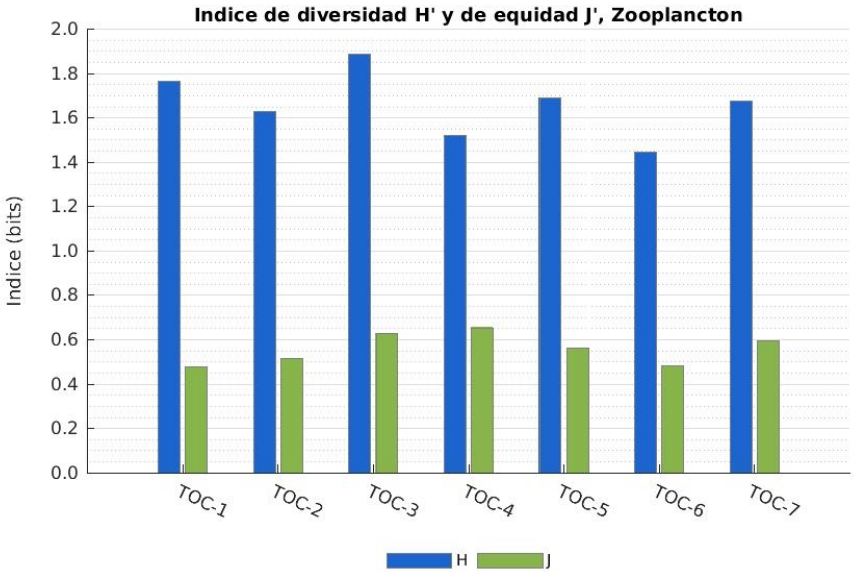


Figura 4.2-123 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades zooplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de zooplancton, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-124). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de zooplancton, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,759 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que Planaria indet. y *Podon* sp. fueron las especies que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

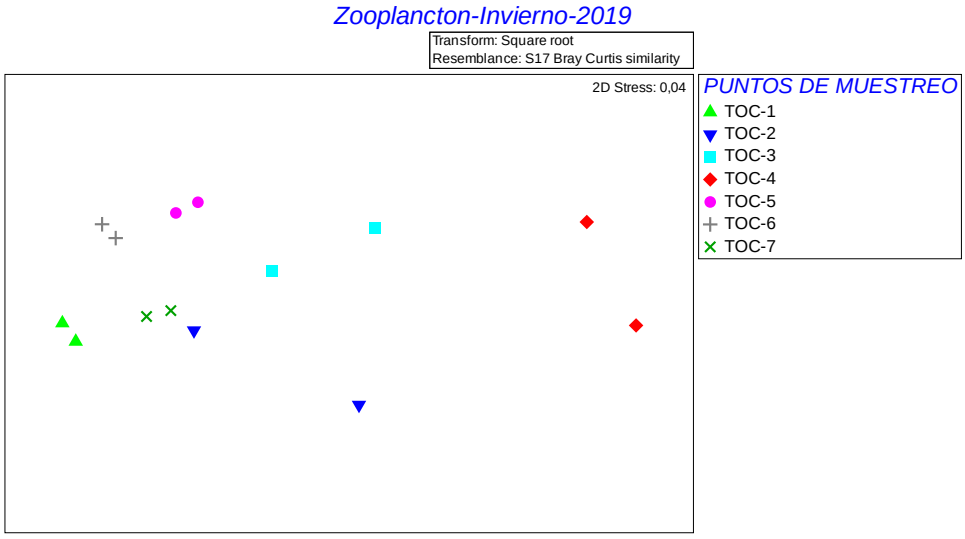


Figura 4.2-124 Análisis Escalamiento Multidimensional de zooplancton, entre siete puntos de muestreo durante invierno 2019.

ix. Ictioplancton

El ictioplancton registro una riqueza total de 7 taxa, las que se reconocieron en desarrollos ontogénicos de larvas y/o huevos. La fracción de huevos fue la que tuvo mayor presencia en el área de estudio, reconociéndose en la totalidad de los puntos visitados. Los valores de riqueza de huevos fueron en general homogéneos en la zona de muestreo, observándose el registro más alto en el punto TOC-3. La fracción de larvas tuvo una menor presencia en el área de estudio, reconociéndose valores homogéneos tanto en el sector norte (TOC-1), como en el sector sur (TOC-6 y TOC-7) (Figura 4.2-125a).

Los registros de abundancia presentaron un patrón heterogéneo en el área de estudio, observándose los mayores registros de huevos en el sector norte (TOC-1) y sector sur (TOC-7), en tanto que la fracción de larvas alcanzó las mayores densidades en el sector sur (TOC-7) (Figura 4.2-125b).

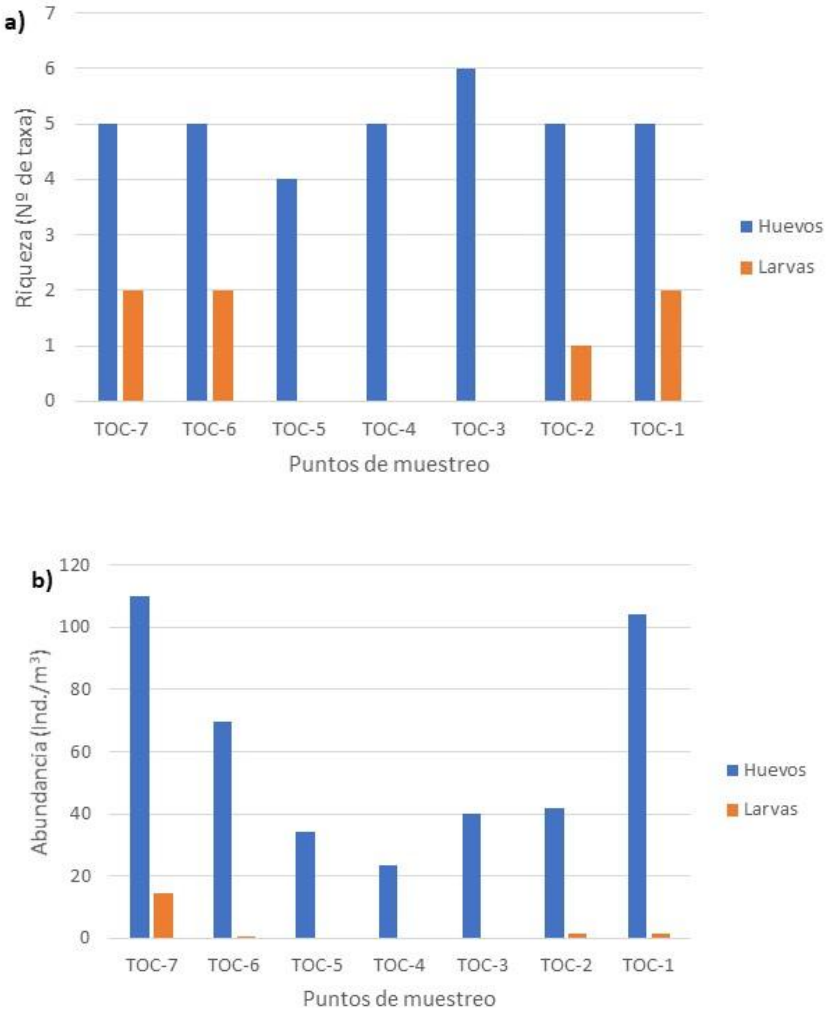


Figura 4.2-125 a) Riqueza y (b) Abundancia del ictioplancton (Huevos y Larvas). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019.

Para determinar la dominancia de organismos del ictioplancton en el área de estudio, se consideraron todos los taxa registrados durante la campaña actual. Los resultados indican dominancia de la especie Anchoveta, tanto en la porción de huevos como de larvas. En el punto de muestreo localizado hacia el extremo norte (TOC-1) dominó la fracción de larvas de la especie de Mote (Figura 4.2-126).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y equidad (J`) presentaron en todos los puntos de muestreo valores bajos para los dos índices. Esto significa que en el área de estudio presentó baja diversidad con grupos poco equitativos dominados por un grupo taxonómico (Figura 4.2-127).

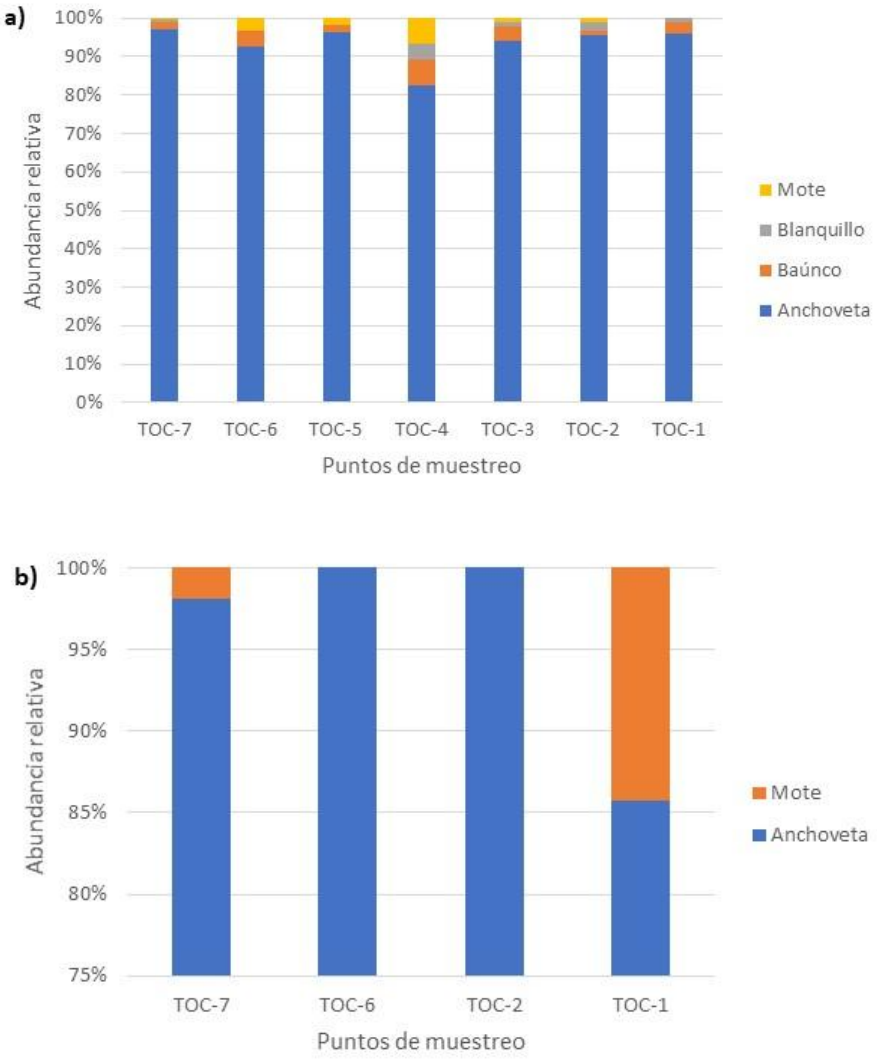


Figura 4.2-126 (a) Abundancia Relativa (%) de la porción de Huevos del ictioplancton (b) Abundancia relativa (%) de la porción de larvas. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de invierno 2019.

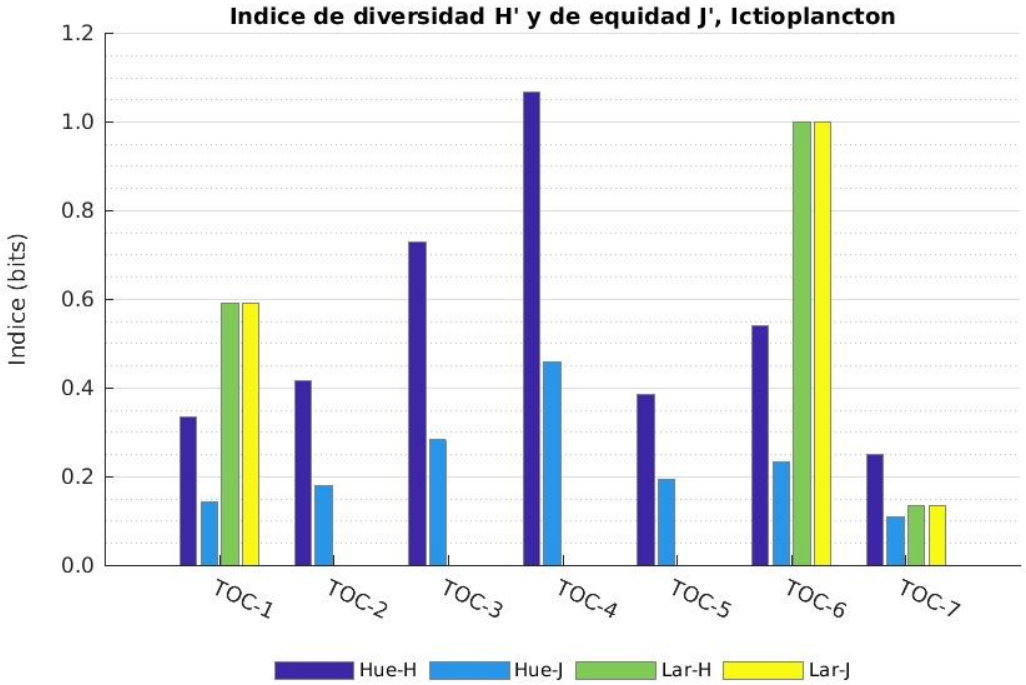


Figura 4.2-127 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades ictioplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

4.2.1.3.4 Comunidades bentónicas submareal blando

Los ensambles de macroinfauna submareal prospectados durante la campaña de invierno 2019 estuvieron constituidos en total por 17 grupos taxonómicos. Con relación a los valores de riqueza, se observó que los mayores registros se detectaron tanto en el extremo norte (TOC-1) como en la zona sur (TOC-6). En contraste, los registros más bajos de riqueza se observaron en el sector central del área de interés (TOC-3 y TOC-4) (Figura 4.2-129a).

Con relación a los valores de abundancia estimados en el área de estudio, se reconoció un patrón un tanto diferente al comportamiento de la variable de riqueza de especie, donde el registro de densidad más alto se observó en el extremo sur del área de interés (TOC-7); mientras que los registros más bajos de abundancia se detectaron en la zona centro del área de estudio (TOC-3 y TOC-4) (Figura 4.2-129b).

Respecto a los valores de biomasa, estos fueron discretas en casi toda el área de estudio, lo que es producto de la presencia importante de organismos de tallas pequeñas como gusanos poliquetos. La excepción a este patrón está dada por la presencia puntual de organismos de cuerpo calcáreo, como moluscos, u organismos de tallas potenciales mayores, como crustáceos específicos. Así, el mayor registro de biomasa se detectó en el sector sur del área de interés (TOC-6), como consecuencia de la presencia de moluscos gastrópodos (Oliva peruviana) (Figura 4.2-129c).

Con relación a las abundancias relativas estimadas en los ensambles prospectados, en general se observó una prevalencia de gusanos poliquetos carnívoros (*Nephtys* sp.) en la mayoría de los puntos de muestreo prospectados (Figura 4.2-128). En el sector sur del área de estudio se reconoció la dominancia de gusanos nemerteos (TOC-7), además de gusanos poliquetos depositívoros (Familia Hesionidae) y moluscos gastrópodos (*O. peruviana*, TOC-6).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde los mayores valores se registraron en los puntos TOC-1 y TOC-6. En cuanto al índice de equidad (J') en general los valores fueron cercanos a 1bits. Esto nos indican que en el punto TOC-2 el ensamble presentó una alta diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa, lo cual no se observó en el resto de los puntos presentando baja diversidad con presencia de una especie dominante (Figura 4.2-130).

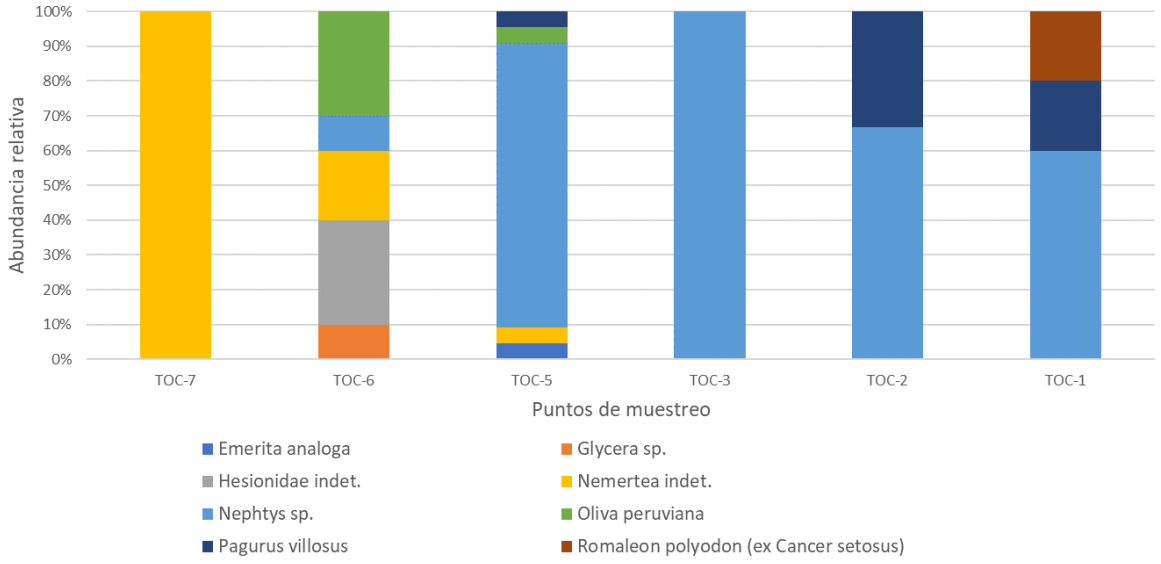


Figura 4.2-128 Abundancia relativa de ensambles de macroinfauna submareal presente en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

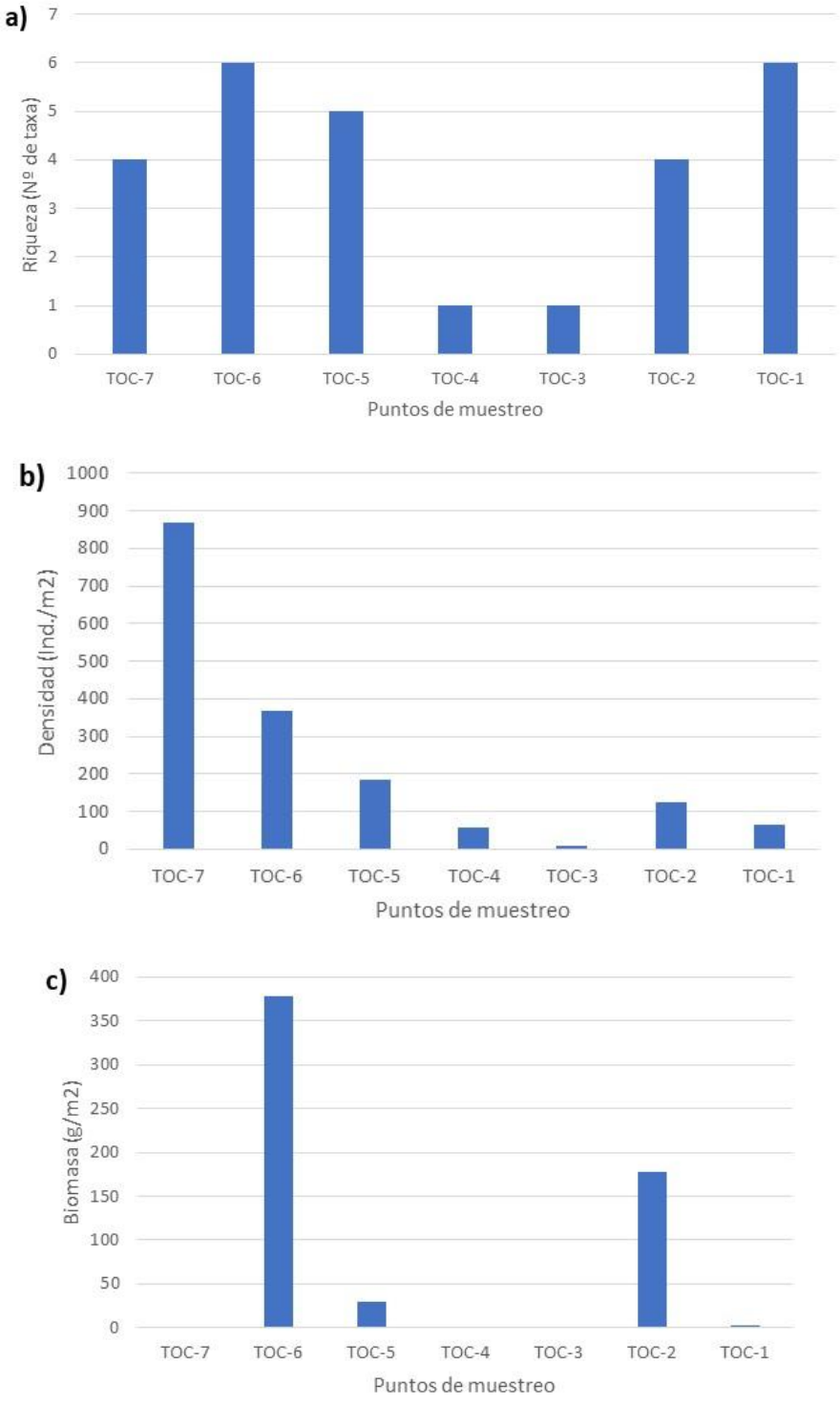


Figura 4.2-129 Riqueza (a), Densidad (b) y biomasa (c) de ensambles de macroinfauna submareal presentes en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

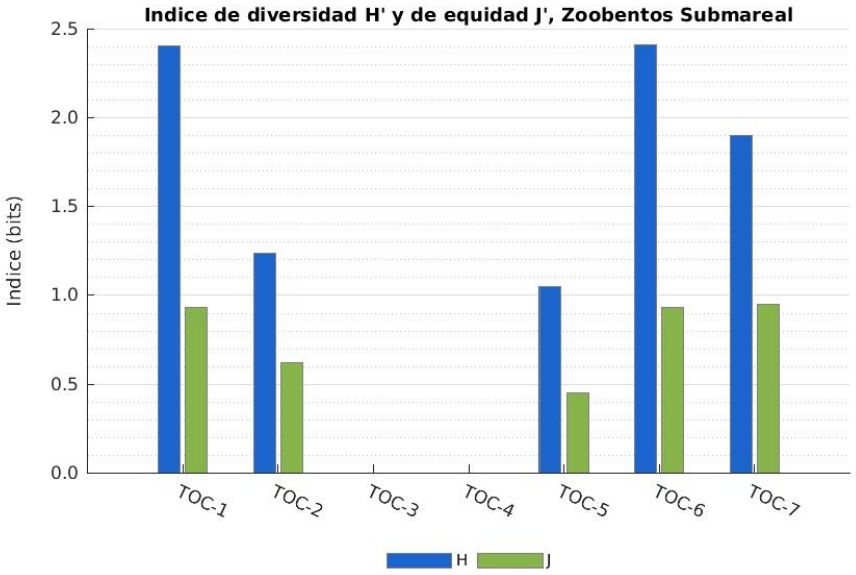


Figura 4.2-130 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de las comunidades bentónicas del submareal de fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-131). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos submareal, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,461 p<0,05), lo que da cuenta una comunidad más bien estable en términos de composición y abundancia en el área de estudio.

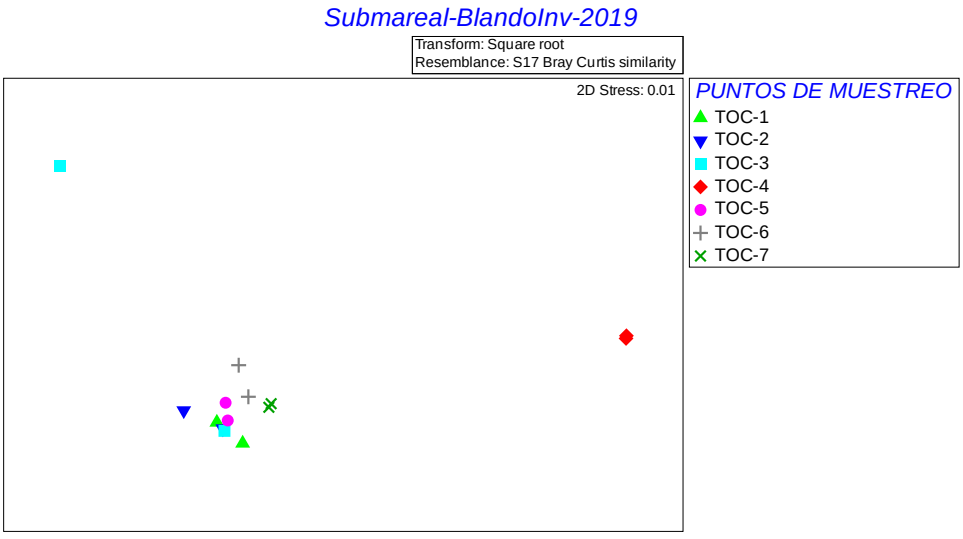


Figura 4.2-131 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos submareal blando, entre los siete puntos de muestreo evaluado durante invierno 2019.

El análisis de comparación de curvas de k-dominancia de abundancia y biomasa efectuado a los ensambles completos provenientes de los distintos puntos de muestreo visitados mostró que en la mayoría de ellos se reconoció una relación entre ambas curvas de k-dominancia propia de ensambles no perturbados (puntos TOC-1, TOC-2, TOC-5, TOC-6 y TOC-7), donde la curva de biomasa se situó por sobre la de abundancia y donde los valores del estadígrafo W fueron positivos y distintos de 0 (Figura 4.2-132). En tanto, los puntos de muestreo localizados en el sector norte de Bahía Algodonales a la cuadra de la ciudad de Tocopilla, presentaron un extremadamente bajo número de organismos, lo que impidió efectuar el análisis.

Por otra parte, considerando que dentro del ensamble de macrozoobentos, el grupo de los gusanos poliquetos responde de manera más sensible a fenómenos de perturbación (Warwick & Clarke 1994), se configuraron las curvas ABC tomando en cuenta sólo el grupo de los gusanos poliquetos, con el objeto de ponderar de manera complementaria los resultados del presente análisis. Así, se ratificó la condición de no perturbación de los ensambles de gusanos poliquetos provenientes de puntos de muestreo localizados hacia el sur del área de estudio, en Punta Algodonales (TOC-6) y al sur de Bahía Algodonales (TOC-7) (Figura 4.2-133). En tanto, en el resto de los puntos visitados, los ensambles prospectados se caracterizaron por la ausencia o bajo número de gusanos poliquetos lo que impidió efectuar el análisis.

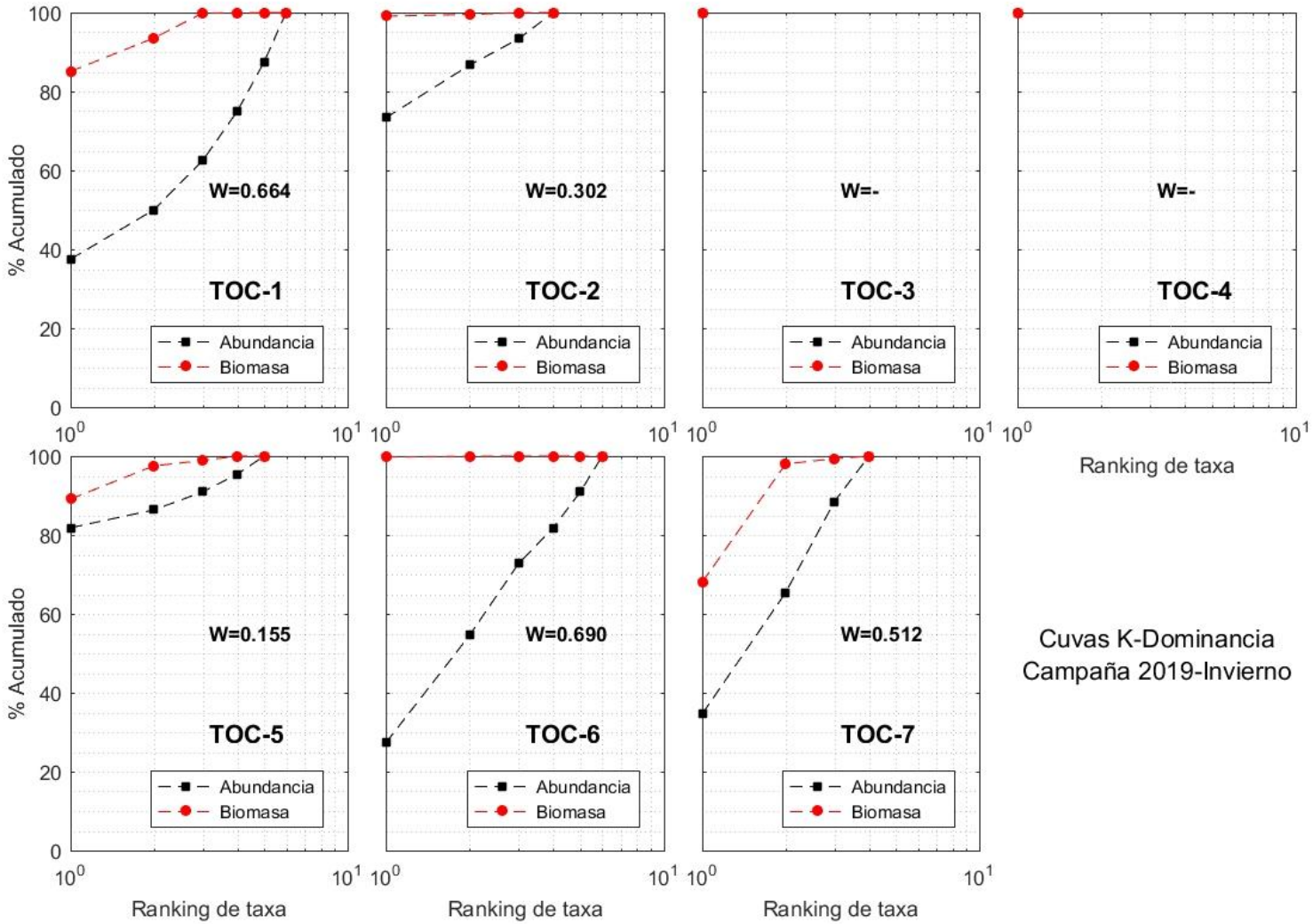


Figura 4.2-132: Curvas K-Dominancia de comunidades bentónicas de submareal blando, campaña de invierno 2019.

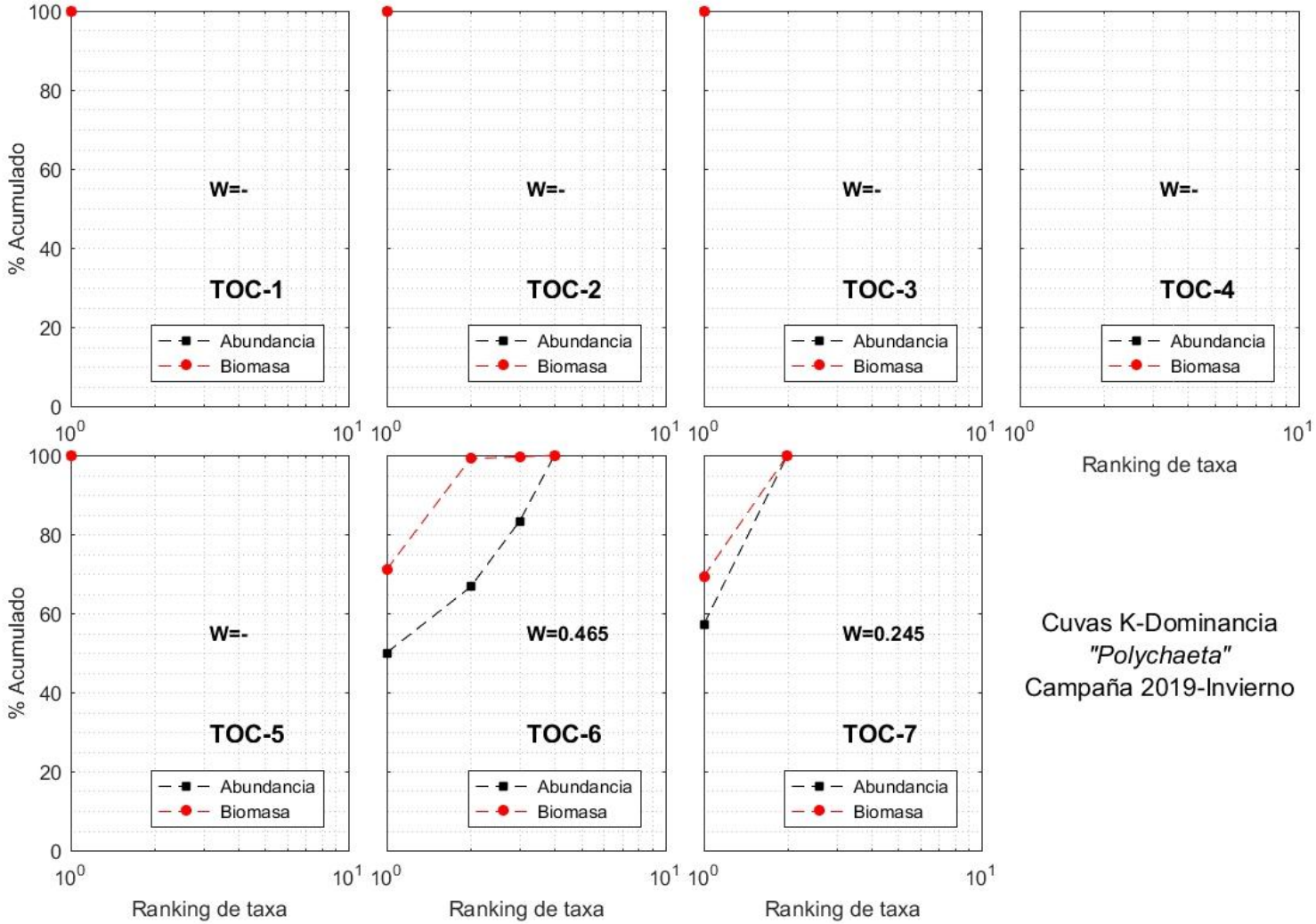


Figura 4.2-133: Curvas K-Dominancia de *Polychaeta* de submareal blando, campaña de invierno 2019.

4.2.1.3.5 Comunidades bentónicas submareal duro

En el ambiente submareal de sustrato duro se discriminaron tres grandes grupos, respecto de la epibiota reconocida en el área de estudio: macroalgas, fauna sésil y fauna móvil. Los ensambles epibentónicos submareales de sustrato duro estuvieron conformados por un número discreto de organismos, tanto en términos espaciales como batimétricos. Respecto de las macroalgas y fauna sésil y considerando los 3 transectos distribuidos en el área de interés (TSR-1 a TSR-3), se reconoció un total de 5 grupos taxonómicos para el grupo de las macroalgas y 2 grupos pertenecientes al grupo de fauna sésil. En tanto, para el grupo de fauna móvil se discriminaron 9 grupos taxonómicos.

Con relación a la riqueza puntual de macroalgas observada en la zona submareal de sustrato duro prospectada, se observó que los mayores valores de riqueza se registraron en el piso somero (5m) y de fondo (15m) del transecto TSR-1, localizado hacia el extremo norte del área de interés. Durante la campaña invernal, se observó que la mayoría de los puntos de muestreo prospectados no presentaron representantes de este grupo de organismos, destacando la ausencia de macroalgas en el transecto TSR-2, localizado en el sector cercano a Caleta Duendes (Figura 4.2-135a).

Con relación a los valores de cobertura de macroalgas, se observó en general que los mayores registros se levantaron en el piso somero de fondo en los transectos donde se detectó la presencia de macroalgas. Espacialmente, la mayor cobertura de macroalgas fue registrada en el piso somero (5m) del transecto TSR-1 (promedio de 104% de cobertura como consecuencia del sobre lape de crecimiento de más de una especie) (Figura 4–18b).

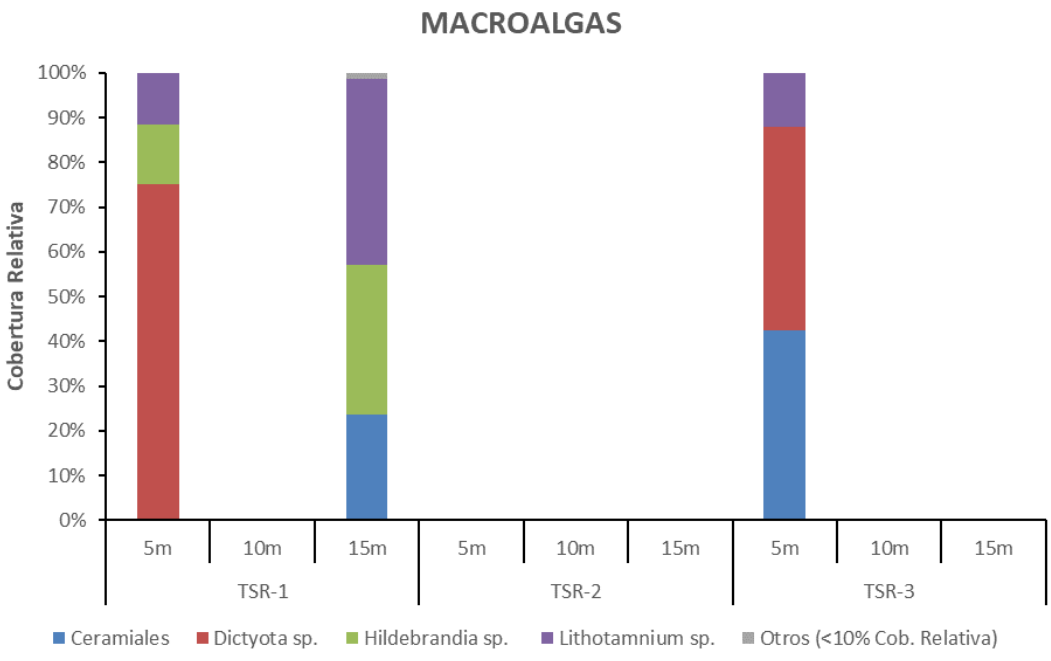


Figura 4.2-134 Cobertura relativa de ensambles de macroalgas presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Invierno 2019.

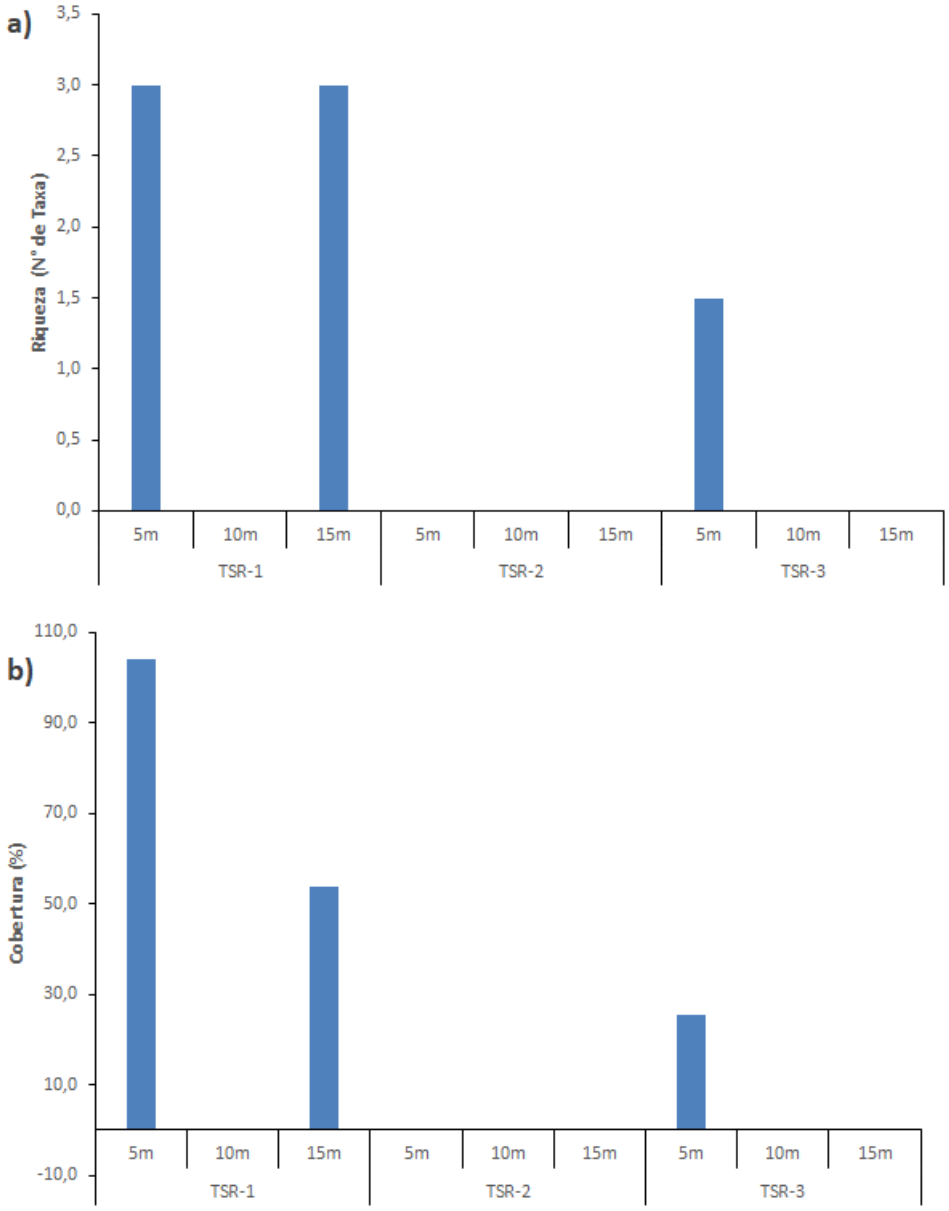


Figura 4.2-135 Riqueza (a) y cobertura (b) de macroalgas presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

Con relación a las coberturas relativas de macroalgas, destacó la dominancia en términos generales del alga parda *Dictyota* sp. Presente en el estrato somero de los transectos donde se detectó la presencia de macroalgas (TSR-1 y TSR-3). Por otra parte, en el piso de fondo del transecto TSR-1 dominaron las algas rojas crustosas del género *Lithothamnium* sp. (Figura 4.2-134).

Para macroalgas submareales de sustrato duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') el mayor valor se registró en el estrato más profundo en TSR-1, con valores bajo los

1,8bits. Respecto al índice de equidad (J') en todos los puntos que presentaron valores cercanos a 1bits. Esto significa que las macroalgas registradas en invierno 2019 presentaron baja diversidad con abundancia equitativa sin grupos dominantes (Figura 4.2-136).

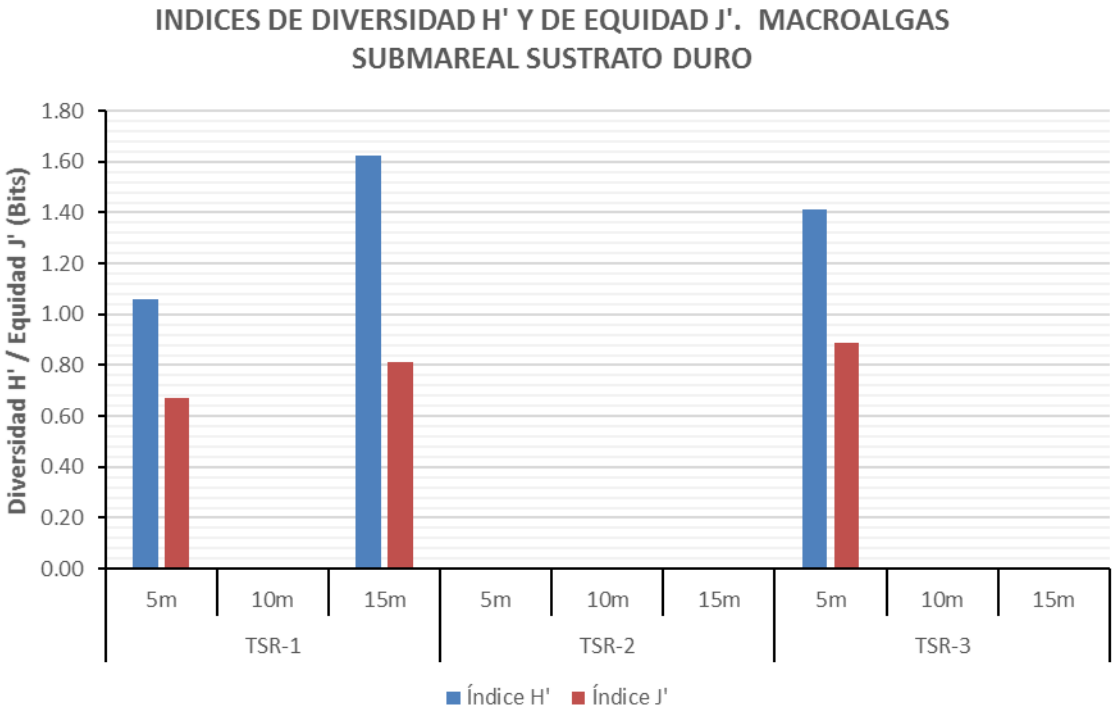


Figura 4.2-136 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de macroalgas bentónicas en submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

Con relación a la fauna sésil la Figura 4.2-137 presenta los valores de riqueza y cobertura estimados para este grupo de epibiontes en el área de estudio. En general, los ensambles de epibiontes correspondientes a fauna sésil estuvieron conformados por muy pocos organismos, detectando su presencia en el estrato de fondo del transecto TSR-1 y que correspondió a ejemplares de gusanos poliquetos de habitáculos calcáreos del género *Spirorbis* sp. (Figura 4.2-137a).

De la misma manera, el registro de cobertura observado en el transecto donde se reconoció la presencia de fauna sésil mostró valores discretos, los que no superaron el 3% de cobertura. En el resto de los transectos visitados no se reconoció la presencia de fauna sésil (Figura 4.2-137b).

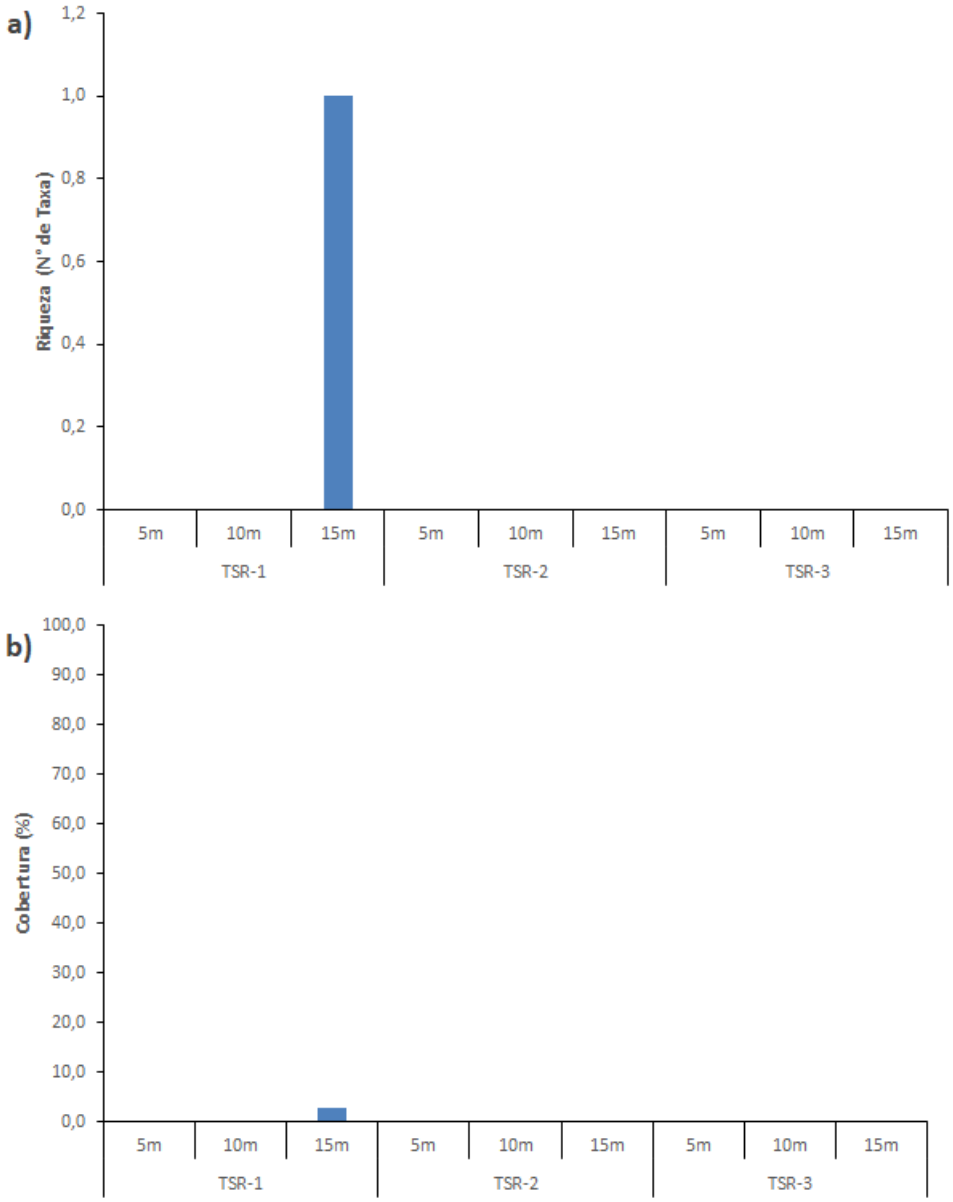


Figura 4.2-137 Riqueza (a) y cobertura (b) de fauna sésil presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

Con relación a las coberturas relativas de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna sésil, destacó la dominancia de ejemplares de esponja en el piso de fondo del transecto TSR-1, secundado por los ya mencionados gusanos poliquetos tubícolas de habitáculos calcáreos, alcanzando valores de 62,5% y 37,5% de cobertura relativa, respectivamente (Figura 4.2-138).

Para fauna sésil submareal de sustrato duro se presentaron solo valores en TSR-1 sustrato profundo (15m). Donde el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y de equidad (J') presentaron valores cercanos a 1bits. Lo cual indicaría que existe baja diversidad de especies con abundancia uniforme de taxa (Figura 4.2-139).

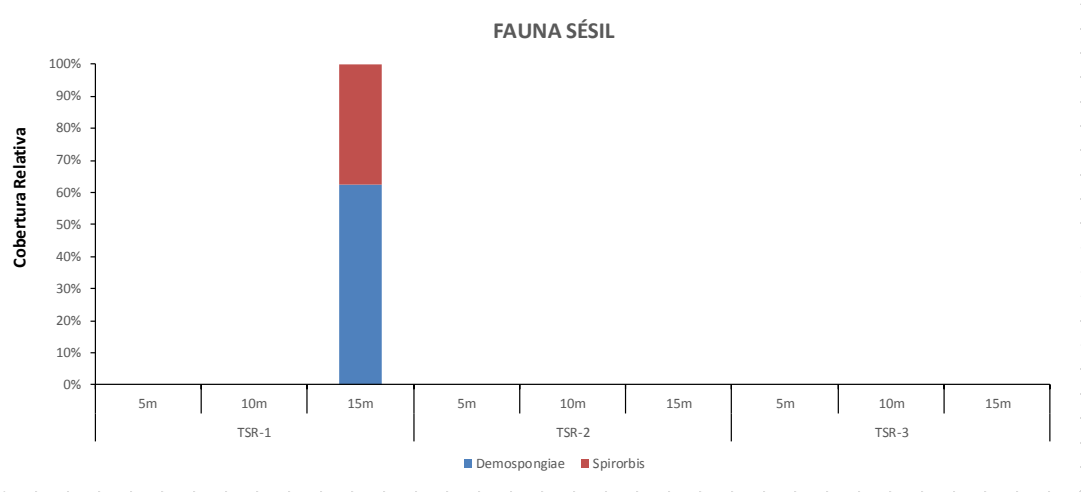


Figura 4.2-138 Cobertura relativa de ensambles de fauna sésil presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

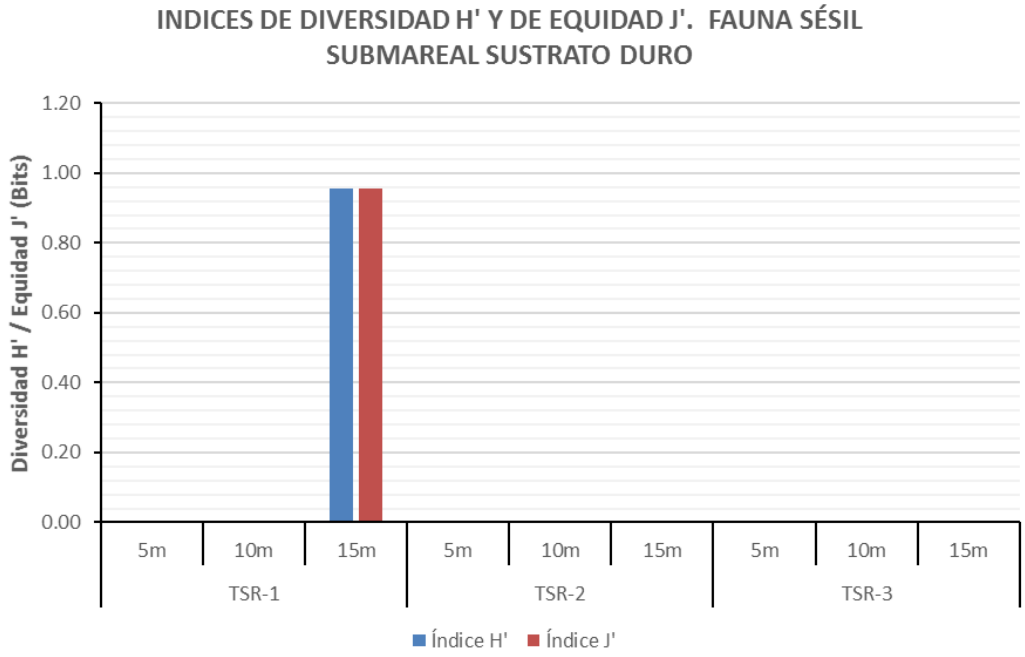


Figura 4.2-139 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas de fauna sésil en submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

Respecto de los ensambles de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna móvil, presentes en los transectos prospectados, hay que señalar que los valores de riqueza más altos se determinaron, en general, en los pisos someros en la mayoría de los transectos evaluados. Aun así, el registro de riqueza de fauna móvil más alto se estimó en el piso de fondo (15m) del transecto TSR-1, estimándose en un promedio de 5,3 grupos taxonómicos (Figura 4.2-140a).

Por otra parte, los valores de abundancia de individuos presentaron un patrón similar al descrito en el párrafo anterior, donde el mayor número de individuos pertenecientes a fauna móvil se estimó en el piso somero de profundidad en dos de los tres transectos visitados. De esta forma, el registro más alto de densidad de estimó en el piso somero del transecto TSR-3, alcanzando un promedio de 312 ind·m-2 como consecuencia de la importante presencia de los caracoles negros *Tegula sp*. (Figura 4.2-140b).

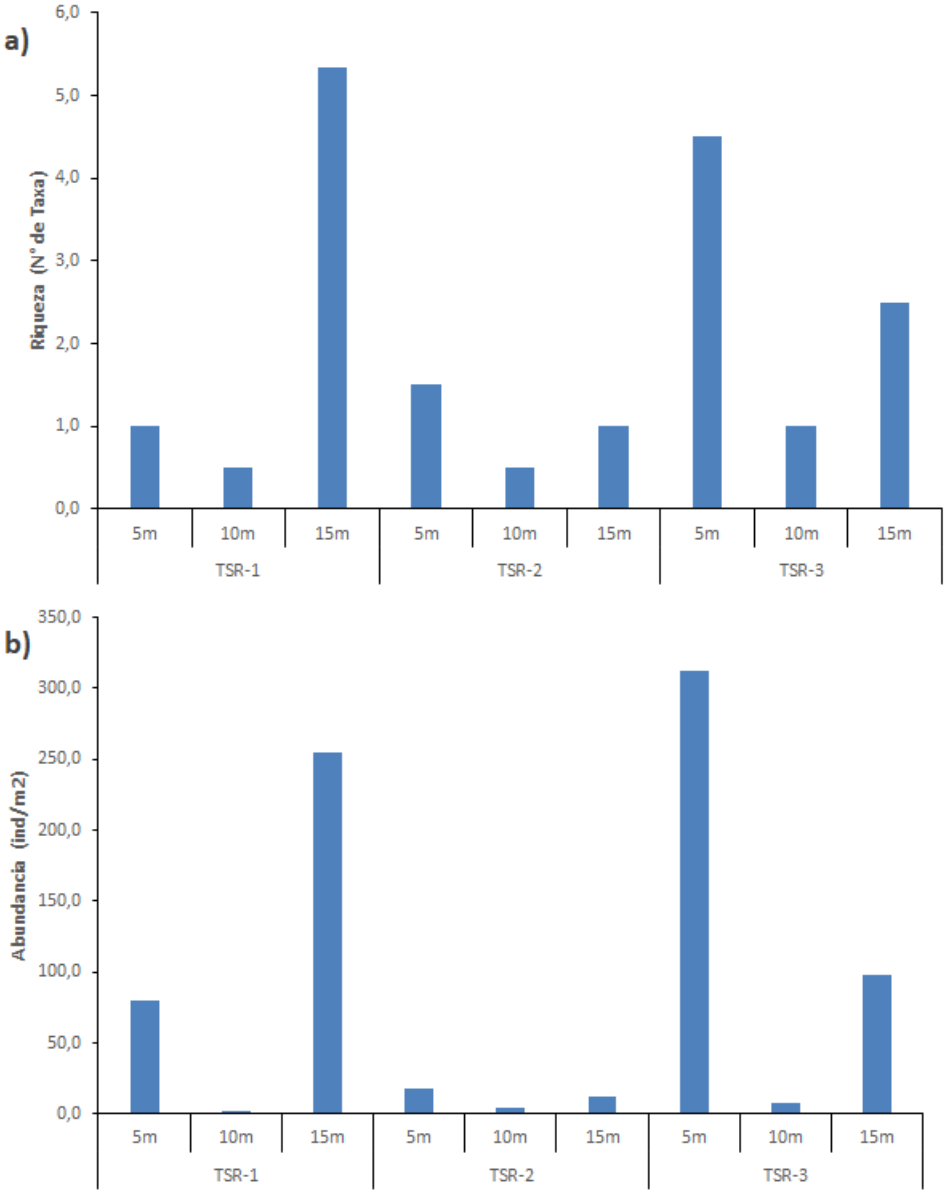


Figura 4.2-140 Riqueza (a) y cobertura (b) de fauna móvil presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

Con relación a las coberturas relativas de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna móvil, destacó que las especies dominantes correspondieron a representantes del grupo de los moluscos, presentan do una moderada heterogeneidad respecto de su dominancia en

los distintos pisos de profundidad de los transectos prospectados. Mientras en el piso somero de la mayoría de los transectos visitados dominaron los caracoles negros Tegula sp. (salvo en el transecto TSR-2 donde dominaron caracoles carnívoros Nassarius sp.), en los pisos intermedio y de fondo se observaron distintas especies de fauna móvil con una importante presencia en dichos niveles batimétricos. Así, hay que destacar la dominancia de los ya mencionados caracoles carnívoros Nassarius sp. en los pisos intermedios de los transectos TSR-1 y TSR-2. De igual forma sobresale la presencia de los caracoles A. unifasciata en el piso intermedio y de fondo del transecto TSR-3 o de los caracoles *Turritella cingulata* en el piso de fondo del transecto TSR-1 (Figura 4.2-141).

Respecto a fauna móvil submareales de sustrato duro para el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') el mayor valor se registró en el estrato más profundo en TSR-1, con valores sobre los 2bits. Respecto al índice de equidad (J') en todos los puntos que presentaron valores cercanos a 1bits, excepto en TSR-3 que fue cercano a 0bits. Esto significa que las en el punto TSR-1 presenta alta diversidad con abundancia uniforme. Para TSR-2 Baja diversidad con taxa abundantes, y TSR-3 presentó baja abundancia con abundancia poco equitativa (Figura 4.2-142).

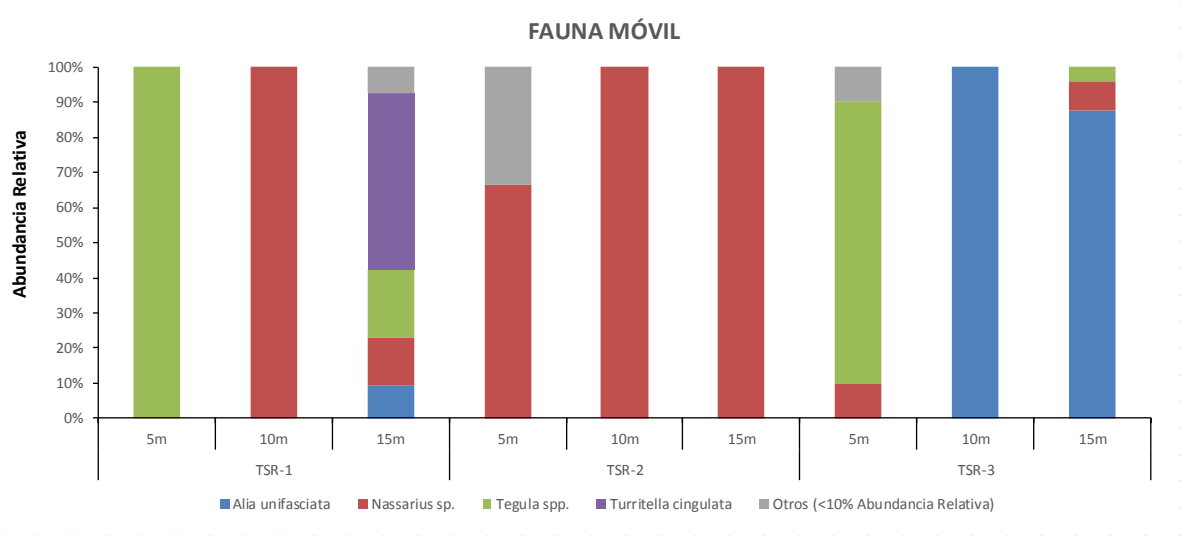


Figura 4.2-141 Abundancia relativa de ensambles de fauna móvil presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

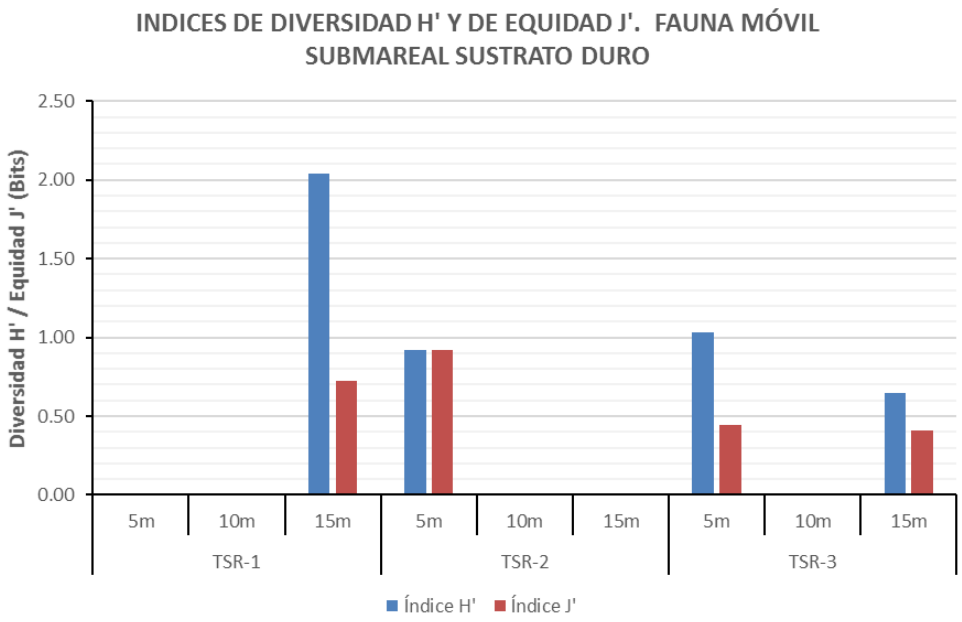


Figura 4.2-142 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de fauna móvil bentónicas en submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos móviles del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-143). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna móvil, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,243 p<0,05).

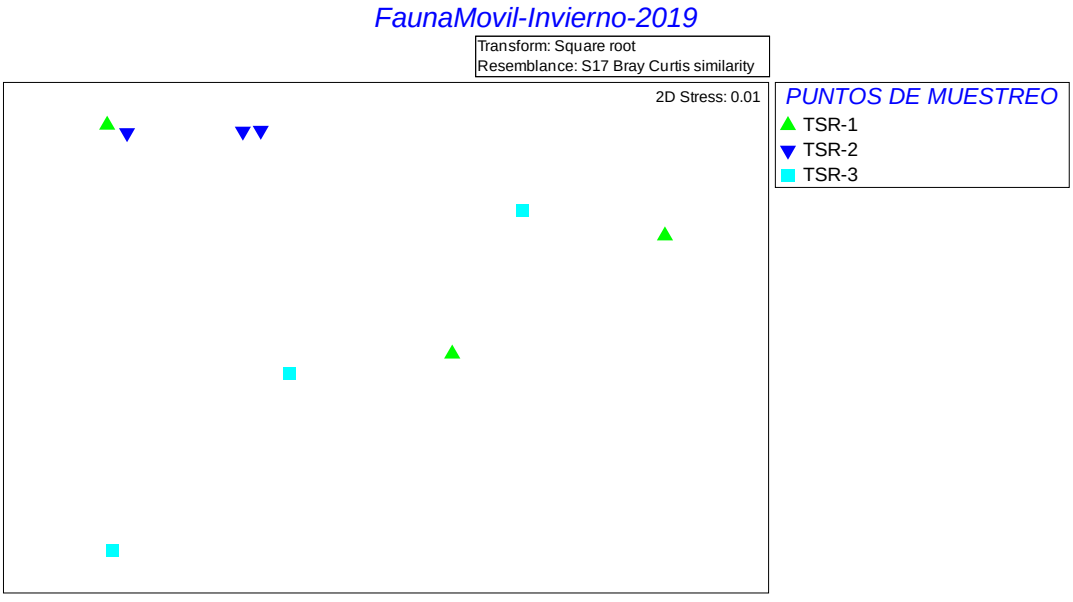


Figura 4.2-143 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna móvil submareal duro, entre los tres puntos de muestreo evaluados durante invierno 2019.

4.2.1.3.6 Comunidades bentónicas intermareal blando

Considerando los 6 transectos visitados (TIB-1 a TIB-6), se reconoció un total de 5 grupos taxonómicos. Las mayores riquezas se registraron en el punto2 de muestreo TIB-2, asociadas a los estratos inferior y superior (Figura 4.2-144a).

Con relación a los valores de abundancia, las mayores densidades fueron registradas en el estrato inferior del transecto intermareal TIB-3(Figura 4.2-144b). Mientras que las mayores biomasas fueron registradas en el estrato inferior de los transectos TIB-2 y TIB-3 (Figura 4.2-144c).

Con respecto a las abundancias relativas, se observó la dominancia de gusanos poliquetos y crustáceos en el área de interés. Mientras los gusanos poliquetos de la familia Hesionidae y el spiónido *Prionospio peruana* alcanzaron una presencia importante en el estrato inferior de al menos uno de los transectos TIB-2, TIB-5 y TIB-6; los crustáceos decápodos (*Emerita analoga*) e isópodos (*Excirolana braziliensis*) dominaron sin contrapeso en el estrato inferior de los transectos TIB-3 y TIB-4 para los primeros; y en los estratos intermedio y superior del transecto TIB-2 para los segundos. Los insectos representados por el coleóptero *Phaleresida maculata* se detectaron principalmente en el estrato superior de los transectos TIB-2 y TIB-3 (Figura 4.2-145).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, presentando en todos los puntos que presentaron datos (TIB-2, TIB-3 y TIB-6) valores bajo los 2bits, lo cual nos mostraría un ambiente con baja diversidad de espacies. Respecto al índice de equidad (J') en los puntos TIB-2 y TIB-6 presentaron valores cercanos a1bits, lo cual indicaría abundancias uniformes de taxa. Para TIB-3 en cambio, presentaría abundancias con un grupo dominante (Figura 4.2-146).

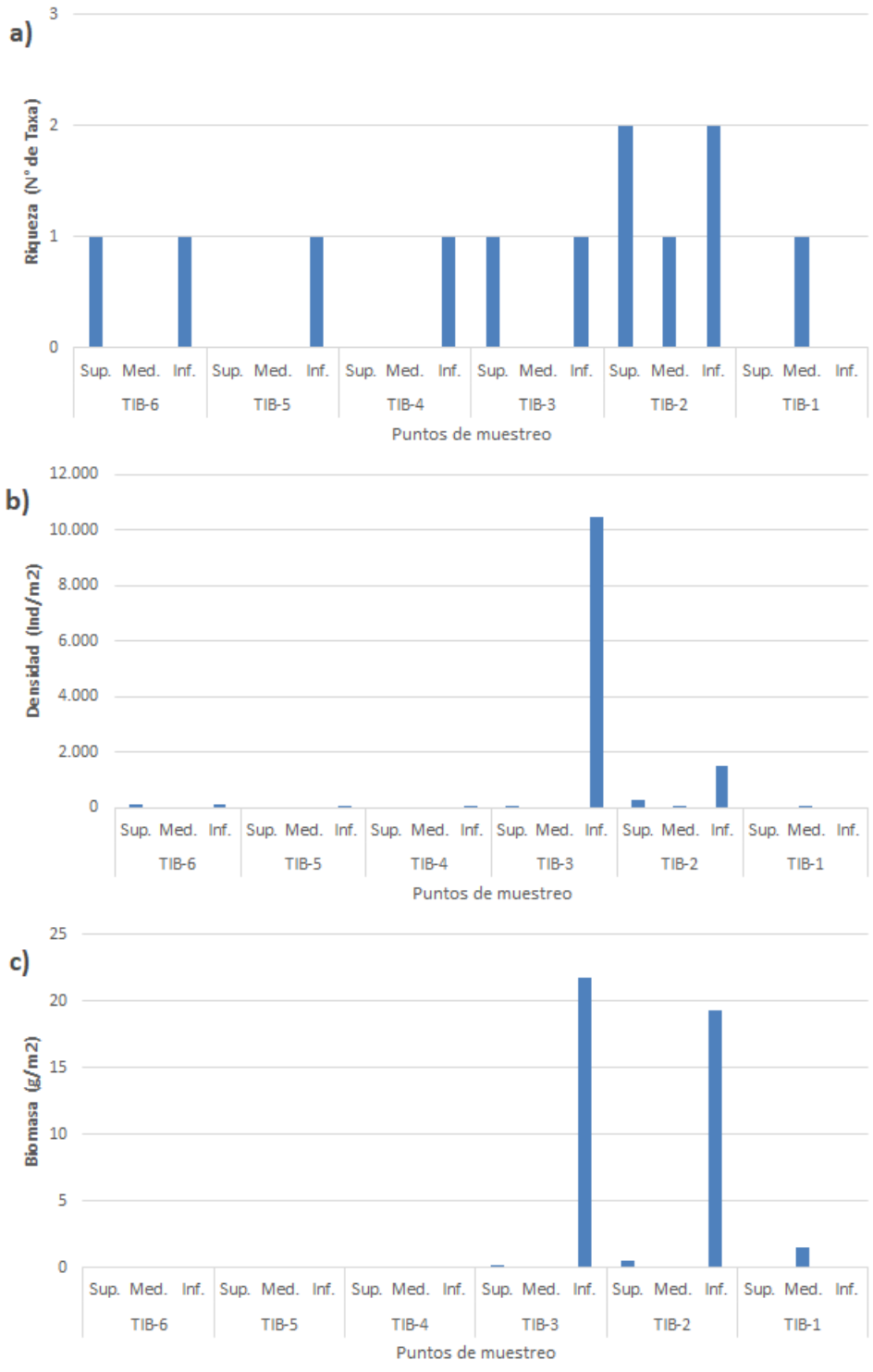


Figura 4.2-144: Riqueza (a), Densidad (b) y Biomasa (c) de ensambles de macroinfauna intermareal prospectados en transectos en el área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

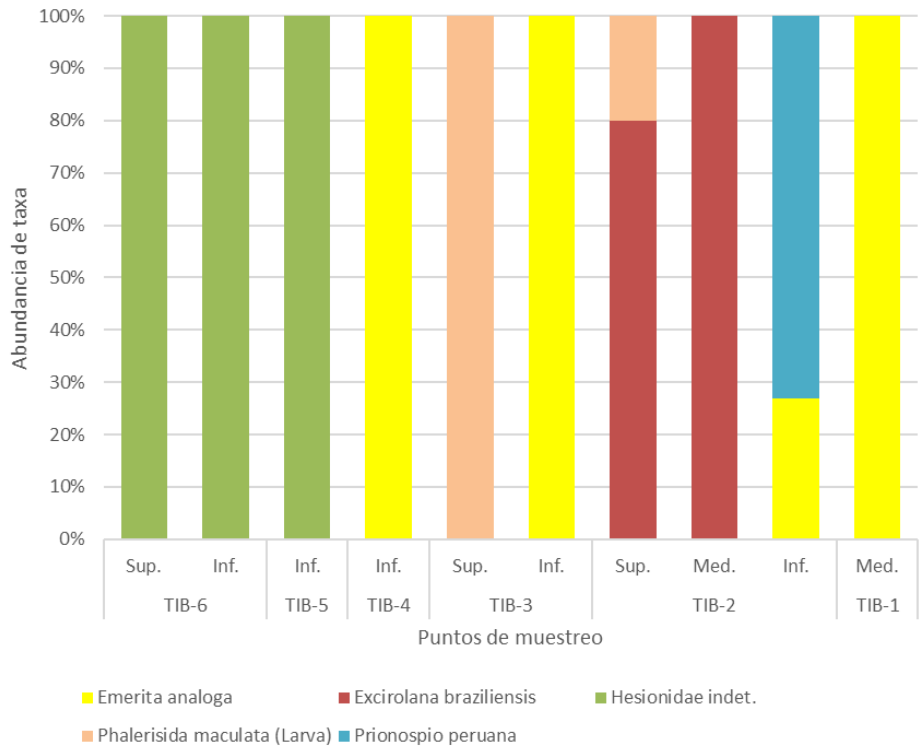


Figura 4.2-145: Abundancia relativa de ensambles de macroinfauna intermareal presente en área de estudio (Sup= Estrato superior; Med= Estrato Intermedio; Inf= Estrato Inferior). Bahía Algodonales. Campaña Invierno 2019.

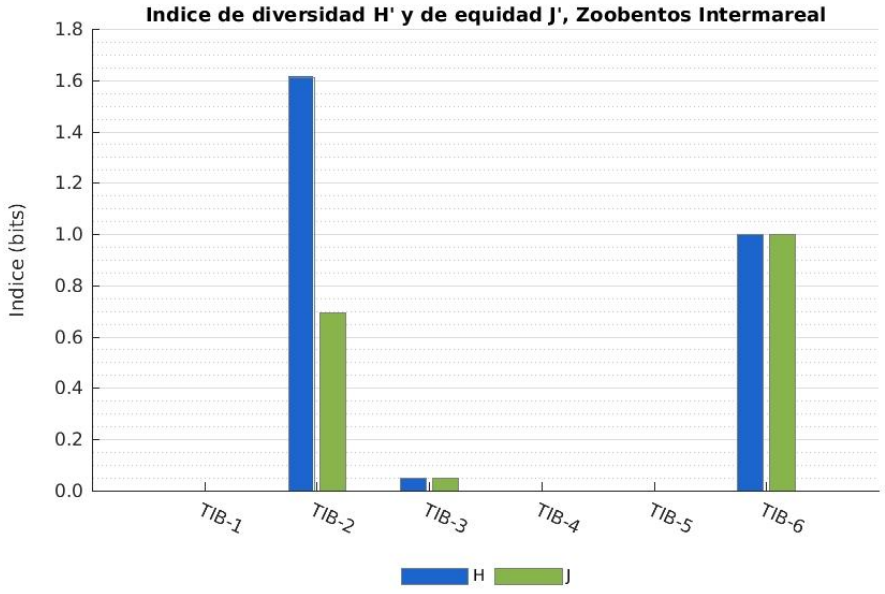


Figura 4.2-146 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas intermareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de las comunidades bentónicas del intermareal de fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-147). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos intermareal, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,351 p<0,05).

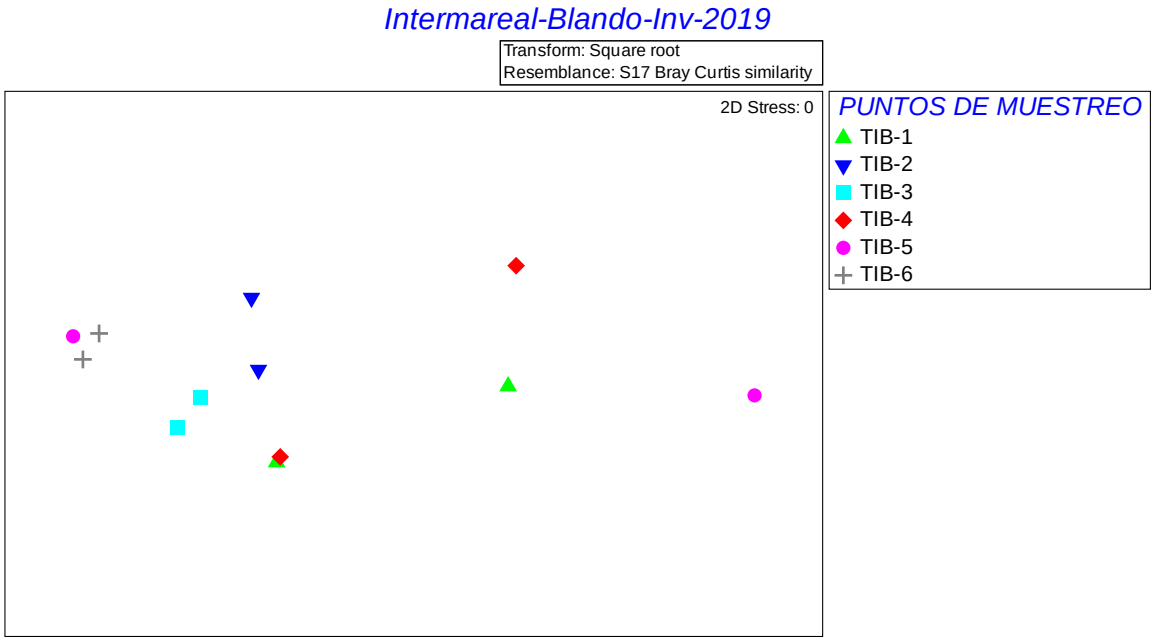


Figura 4.2-147 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos intermareal blando, entre los seis puntos de muestreo evaluado durante invierno 2019.

4.2.1.3.7 Comunidades bentónicas intermareal duro

Respecto de los organismos sésiles y considerando los 6 transectos visitados (TIR-1 a TIR-6), se reconoció durante la campaña invernal un total de 19 grupos taxonómicos. De estos, 9 pertenecieron al grupo de macroalgas. Por su parte, el grupo de cnidarios alcanzó el segundo lugar con 5 grupos taxonómicos. En tercer término, se ubicó el grupo de los moluscos con 2 representantes. Por su parte, se reconoció la presencia de un taxón perteneciente al grupo de crustáceos, 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 media e inferior de la franja intermareal (las excepciones se observaron en los transectos TIR-4 y TIR-5, donde las mayores riquezas se detectaron en el estrato superior). Al igual que lo observado en la campaña estival, los mayores valores de riqueza se observaron en el transecto TIR-6, localizado en el extremo sur del área de estudio (promedio zona baja de 5,5 taxa) y en el transecto TIR-1 así como en el ya mencionado TIR-6, localizado el primero en el extremo norte del área de estudio (promedio zona media de 4,5 taxa cada uno) (Figura 4.2-148a).

Con relación a los valores de cobertura de los organismos sésiles, se observó en general que los mayores registros se levantaron en el estrato intermedio o superior de la franja intermareal prospectada (salvo en el transecto TIR-5, donde el mayor registro de cobertura promedio se observó en la zona inferior del intermareal duro). Espacialmente, las mayores coberturas fueron registradas en el estrato medio del ya mencionado transecto TIR-6 (promedio de 75% de cobertura) y en la zona superior del transecto TIR-3, localizado hacia el norte de la zona urbana de la ciudad de Tocopilla (promedio de 73,5% de cobertura) (Figura 4.2-148b).

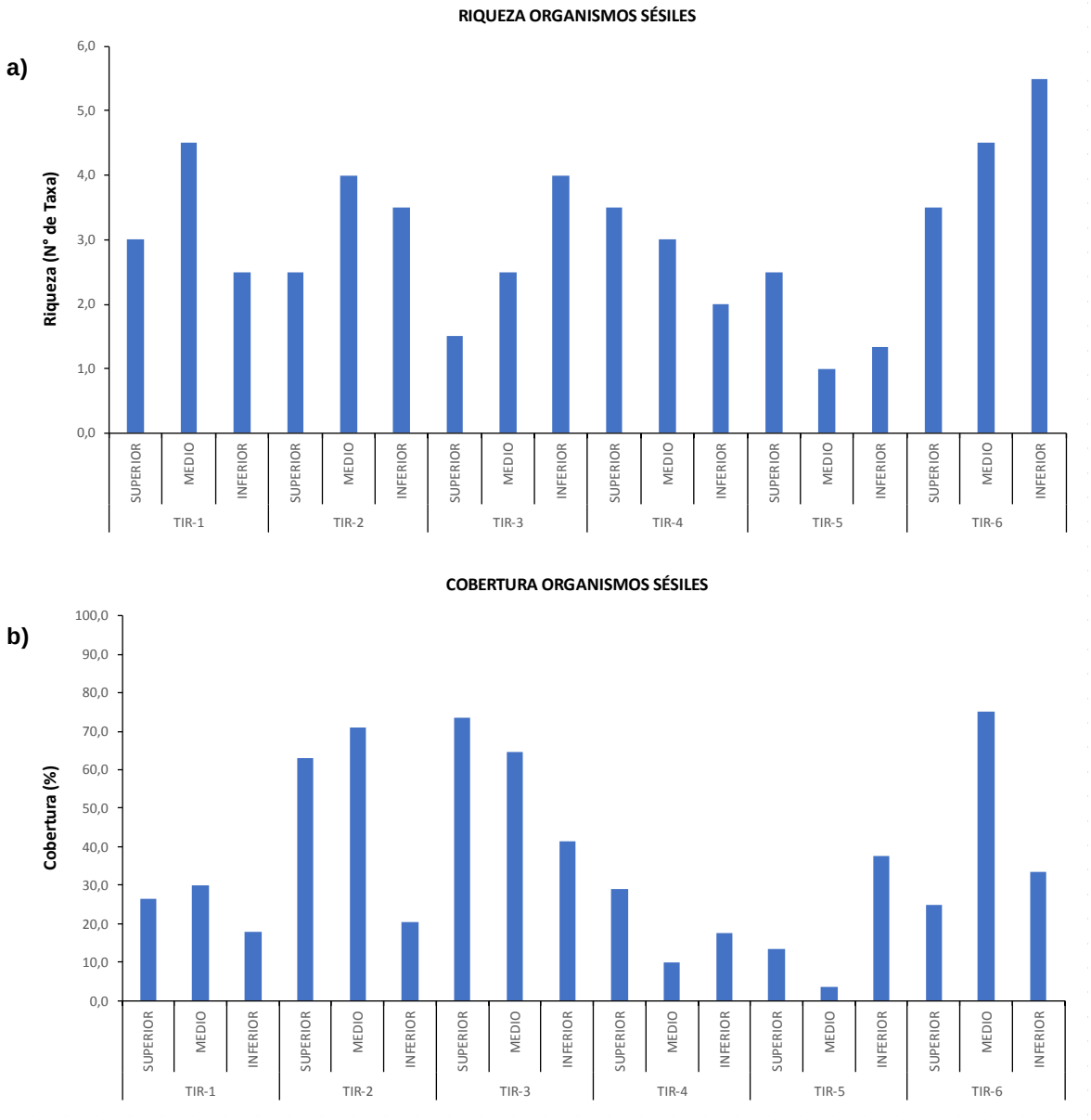


Figura 4.2-148 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos sésiles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

Con relación a las coberturas relativas, destacó la dominancia en el sector norte del área de estudio (TIR-1 y TIR-2) de los choritos *Semimytilus algosus* en prácticamente todo el perfil vertical de ambos transectos visitados. Otra especie destacada sobre todo en el extremo sur del área de estudio (TIR-6) de crustáceos cirripedios pertenecientes a la especie *Nothochtamalus cirratus*. Entre las macroalgas reconocidas destacó la presencia de la especie de alga parda *Dictyota kunthii* en el transecto TIR-3 (estrato superior) y transecto TIR-5 (estrato inferior). Hay que destacar que latitudinalmente en los transectos situados en la zona media y zona sur del área de estudio (TIR-4 a TIR-6) se reconoció la presencia de varios grupos taxonómicos cuyas coberturas fueron inferiores a 10%, agrupándose en el ítem "otros". 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, tanto a nivel regional como nacional (Figura 4.2-149)

Respecto a organismos sésiles en intermareal duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector sur (TIR-6). En cuanto al índice de equidad (J') en general presentaron valores cercanos a 1bits. Esto nos indican que solo en el punto TIR-6 (superior e inferior) el ensamble presentó una alta diversidad de especies. En cuanto al resto de los puntos se observó una baja diversidad de taxa. En general existió abundancias poco equitativas de especies con grupos dominantes (Figura 4.2-150).

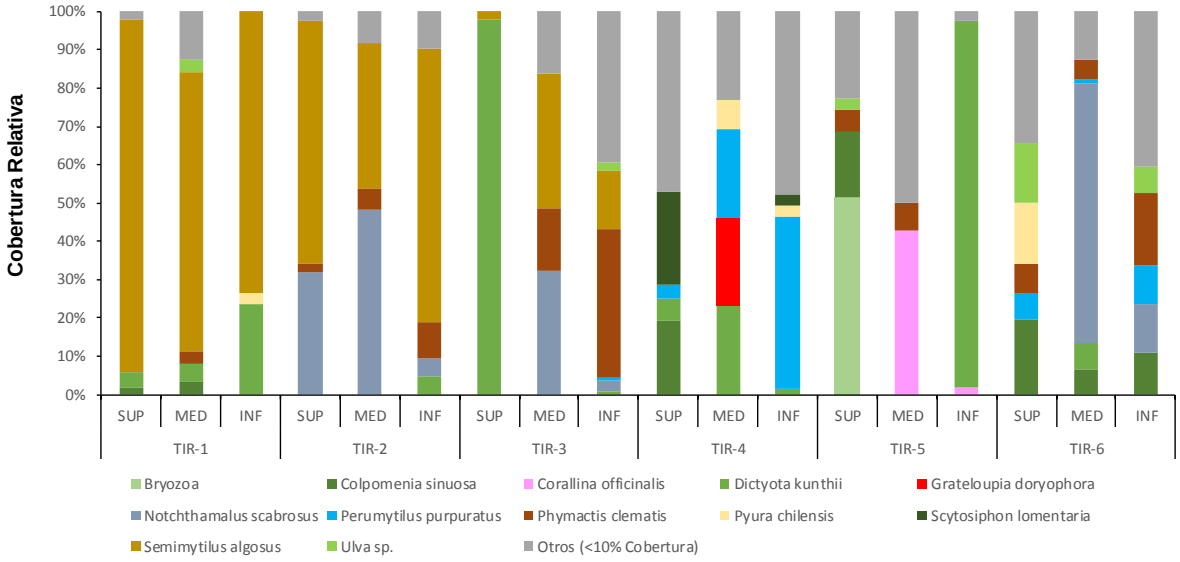


Figura 4.2-149 Cobertura relativa de ensambles de organismos sésiles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

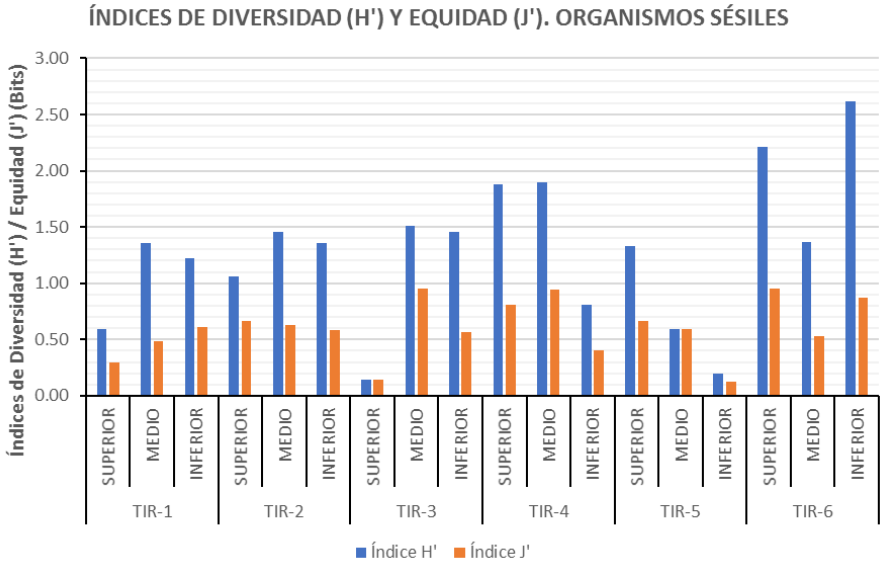


Figura 4.2-150 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas intermareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de organismos sésiles del intermareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-151). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de especies sésiles, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,549 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el molusco *Semimytilus algosus* fue la especie que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

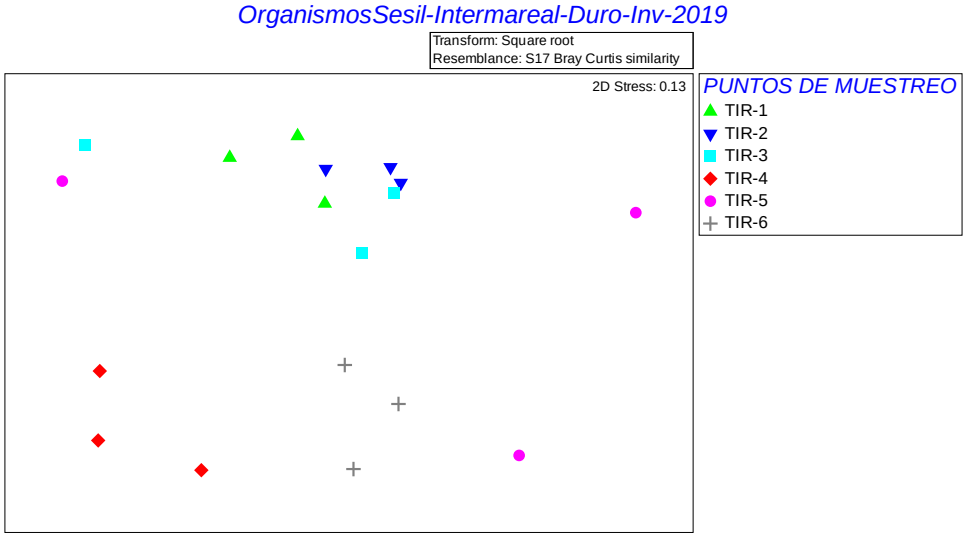


Figura 4.2-151 Análisis Escalamiento Multidimensional de organismos sésiles del intermareal duro, entre los seis puntos de muestreo evaluado durante invierno 2019.

La Figura 4.2-152 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 23 grupos taxonómicos, dominados por el grupo de los moluscos (13 especies), secundados por el grupo de los equinodermos (6 especies) y complementados por el grupo de los crustáceos (4 especies). Con relación a los valores de riqueza, hay que reiterar la discreta composición de los ensambles de organismos móviles reconocidos en los transectos prospectados. En general, se estimaron promedios discretos en el área de estudio, cuyos registros más altos se levantaron indistintamente en la zona baja, media o alta de los transectos analizados. Así, los valores más altos de riqueza se estimaron en el transecto TIR-6, localizado en el extremo sur del área de estudio, alcanzando en la zona superior 4,5 taxa y en la zona inferior del transecto TIR-5, con 4,3 taxa (Figura 4.2-152a).

Con relación a los registros de densidad estimados, se observó que los registros más altos se detectaron en la zona superior de los transectos TIR-5 y TIR-4 (160 ind·m-2 y 121 ind·m-2, respectivamente) como consecuencia de la importante presencia de los caracoles pulmonados *Echinolittorina peruviana*, los que son especies características de este tipo de ambientes (Figura 4.2-152b).

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 o inferior de los transectos TIR-4 a TIR-6 como consecuencia de una importante presencia de los caracoles *Echinolittorina peruviana*. De la misma manera, se observaron dominancias destacadas en los transectos TIR-3 y TIR-2 de los caracoles Señorita del género *Scurria* sp., los que se distribuyeron de manera abundante en todo el perfil vertical del transecto TIR-3 y concentraron su presencia en las zonas superior e inferior del transecto TIR-2. Por otra parte, el caracol herbívoro *Prisogaster niger* representó la especie dominante en todo el perfil vertical del transecto TIR-1. 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 4.2-153).

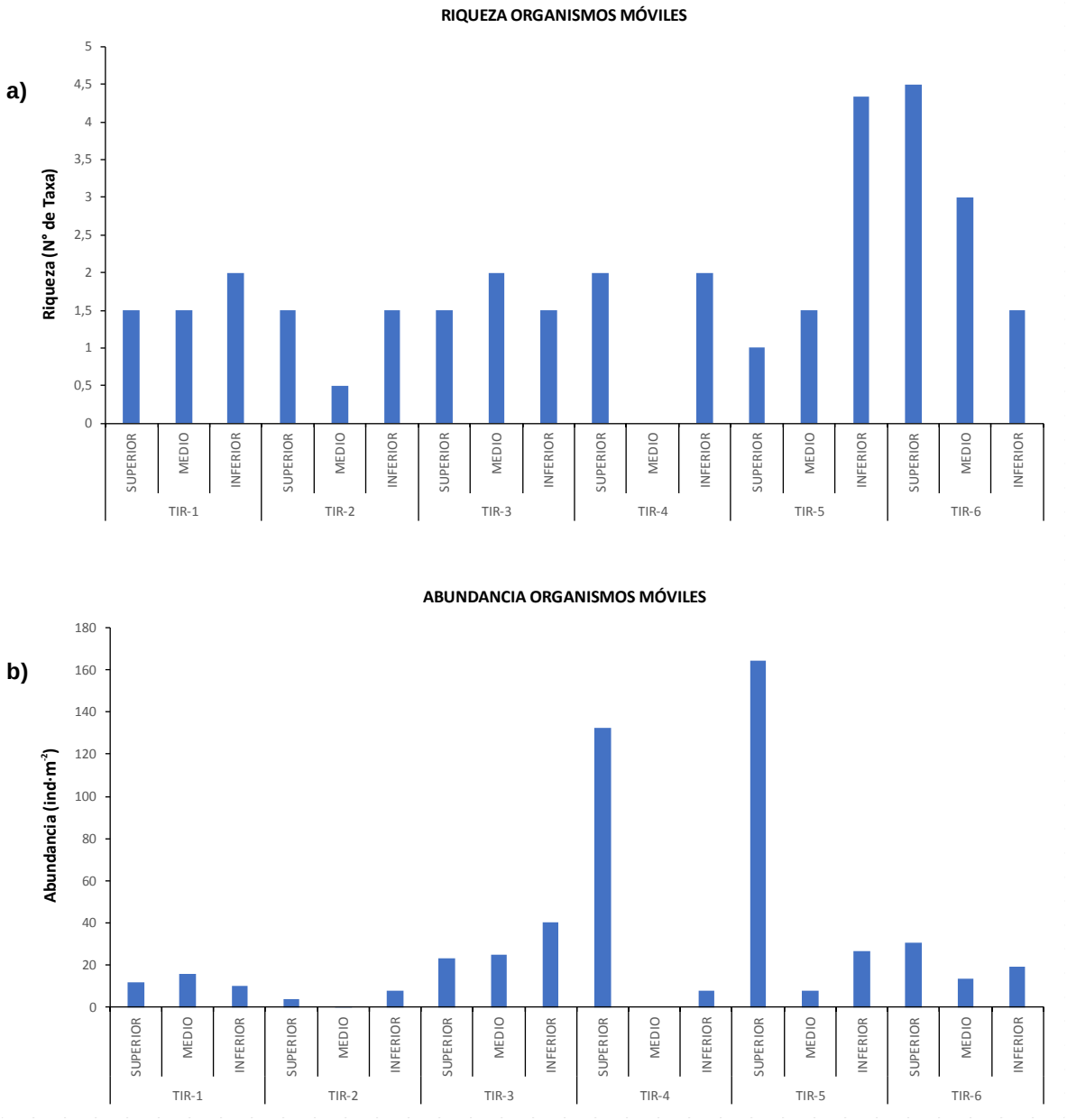


Figura 4.2-152 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos móviles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

Respecto a organismos móviles en intermareal duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde el mayor valor se registró en el sector sur (TIR-6 estrato superior). En cuanto al índice de equidad (J') en general presentaron valores cercanos a 1bits. Esto nos indican que en los puntos TIR-5 (inferior) y TIR-6 (superior) el ensamble presentó una alta diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa. En cuanto al resto de los puntos se observaron baja diversidad de especies (Figura 4.2-154).

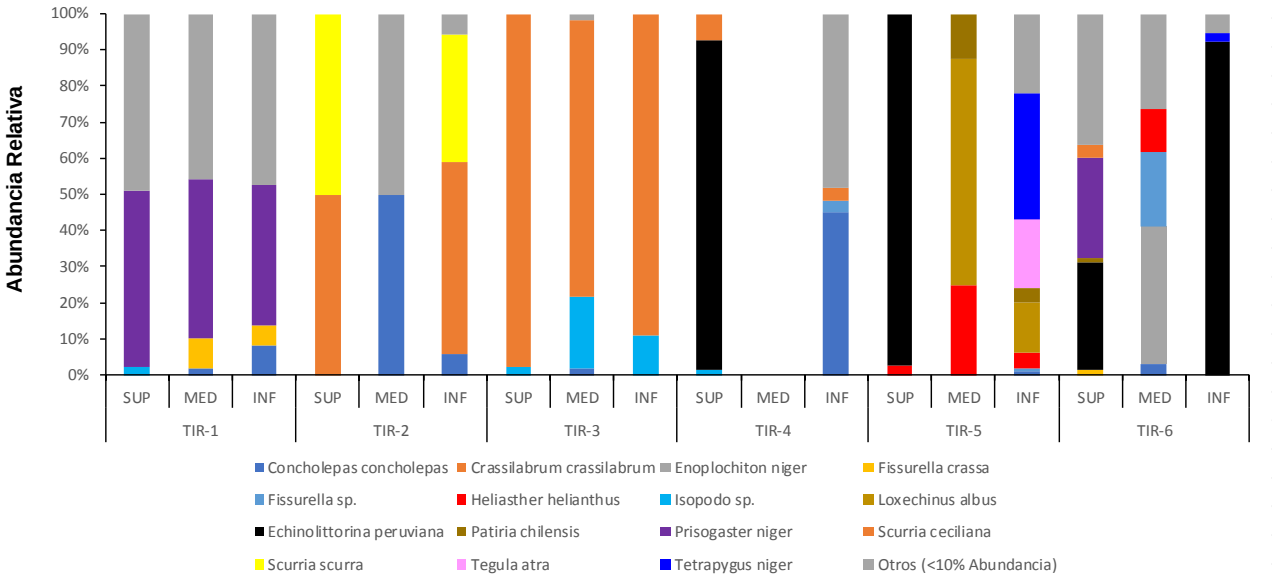


Figura 4.2-153 Abundancia relativa de ensambles de organismos móviles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

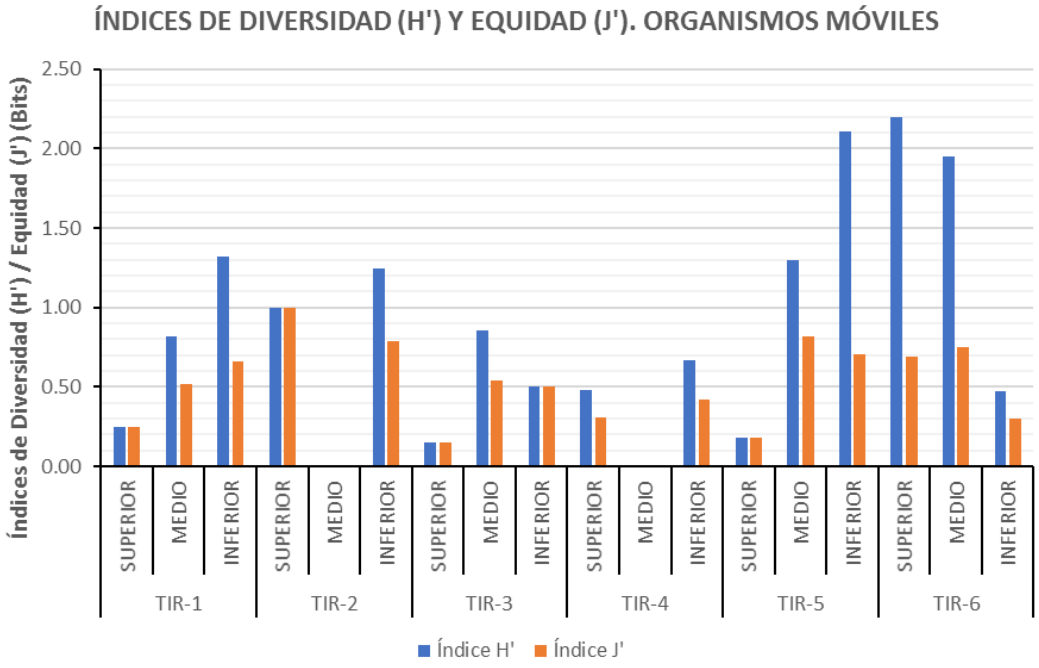


Figura 4.2-154 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades móviles bentónicas en intermareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña invierno 2019.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de organismos móviles del intermareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-155). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de especies sésiles, el cual indicó una

distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,567 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el caracol *Echinolittorina peruviana* fue la especie que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

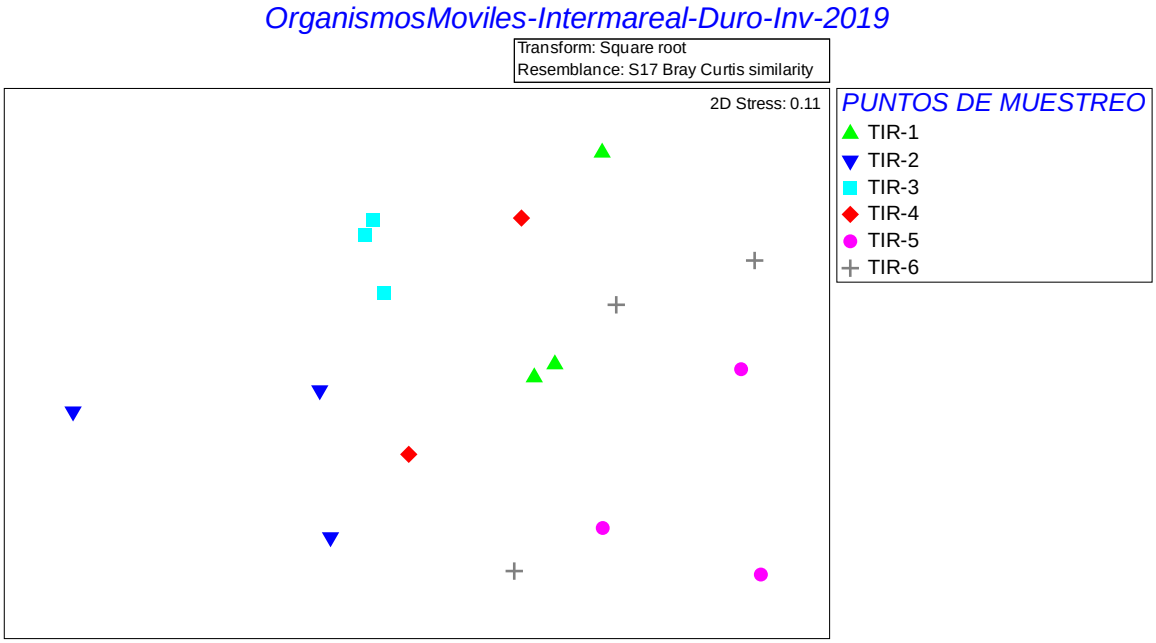


Figura 4.2-155 Análisis Escalamiento Multidimensional de organismos móviles del intermareal duro, entre los seis puntos de muestreo evaluado durante invierno 2019.

4.2.1.3.8 Metales en biota

La selección de organismos para el análisis de metales en sus tejidos se ajustó a los criterios nombrados a continuación en orden jerárquico:

1) Cumplir con lo estipulado en el plan de trabajo del estudio, donde el número máximo de muestras a recolectar es de 25 para metales en biota y de 15 para hidrocarburos.
2) Considerar el enfoque de la salud humana (ingesta de organismos marinos).
3) Considerar el enfoque de las redes tróficas (representación de todos los grupos funcionales).
4) Incorporar el conocimiento y los intereses de la comunidad local de pescadores artesanales (Principales recursos y de acuerdo con su percepción, cuáles son los de mayor preocupación en cuanto al contenido de metales en sus tejidos) y Servicios Públicos (SEREMI Medio Ambiente, SERNAPESCA).

Luego, la lista de especies muestreadas, en conjunto con la cantidad de muestras alcanzadas para cada macro componente (metales e hidrocarburos), se adjunta en la Tabla 4.2-40, mientras que desde la Tabla 4.2-47 a la Tabla 4.2-52, se adjuntan los resultados de laboratorio de los valores de concentración de metales e hidrocarburos en tejidos.

Tabla 4.2-40: Especies recolectadas y número de muestras logradas para análisis de concentración de metales e hidrocarburos en biota.

Nombre común	Especie	N° muestras logradas Metales	N° muestras Logradas Hidrocarburos	Sector de captura
Bilagay	*Cheilodactylus variegatus*	3	1	Cenizales, Puerto
Erizo rojo	*Loxechinus albus*	3	3	Cenizales, Muelle Electroandina
Huiro Palo	*Lessonia trabeculata*	3	3	Cenizales, Puerto
Jaiba	*Cancer setosus*	3	-	Muelle Electroandina
Lapa	*Fissurella sp.*	3	-	Cenizales, Desaladora
Lenguado	*Paralichthys adspersus*	1	-	Punta Algodonales
Loco	*Concholepas concholepas*	3	-	Cenizales, Muelle Electroandina, Desaladora
Pejerrey	*Odontesthes regia*	3	-	Muelle Pescadores
Piure	*Pyura sp.*	3	1	Cenizales, Muelle Electroandina
Pulpo	*Octopus sp.*	3	3	Muelle Electroandina

A nivel nacional se tiene como referencia el *"Reglamento Sanitario de los Alimentos"* DS977/96 del MINSAL, el cual establece las condiciones sanitarias a las cuales deberá ceñirse la producción, importación, elaboración, envase, almacenamiento, distribución y venta de alimentos para uso humano, con el objeto de proteger la salud y nutrición de la población y garantizar el suministro de productos sanos e inocuos. En la Tabla 4.2-41 se adjuntan los valores de referencia para los parámetros de interés del presente estudio, mientras que en la Figura 4.2-156 se adjuntan las gráficas del contenido de los principales metales y contenido relativo en las distintas especies del presente estudio.

Tabla 4.2-41: Valores de referencia para compuestos en alimentos, DS 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

Respecto a los valores medios de concentración en los tejidos encontrados (Tabla 4.2-42), donde se consideró como criterio conservador que los valores de concentración bajo el límite de detección fuesen iguales a dichos límites, y los valores de referencia del DS 977/96, se destacan en general los altos valores de concentración de arsénico, cobre y selenio presentes en las distintas especies muestreadas. Los resultados de concentración de hidrocarburos en biota arrojaron en general valores bajo el límite de detección. En el Objetivo Específico 3 (Acápite 4.3) del presente estudio, se llevó a cabo una evaluación de

riesgo para la salud de las personas, en el cual se desarrolló un análisis respecto al significado e implicancia de estas concentraciones.

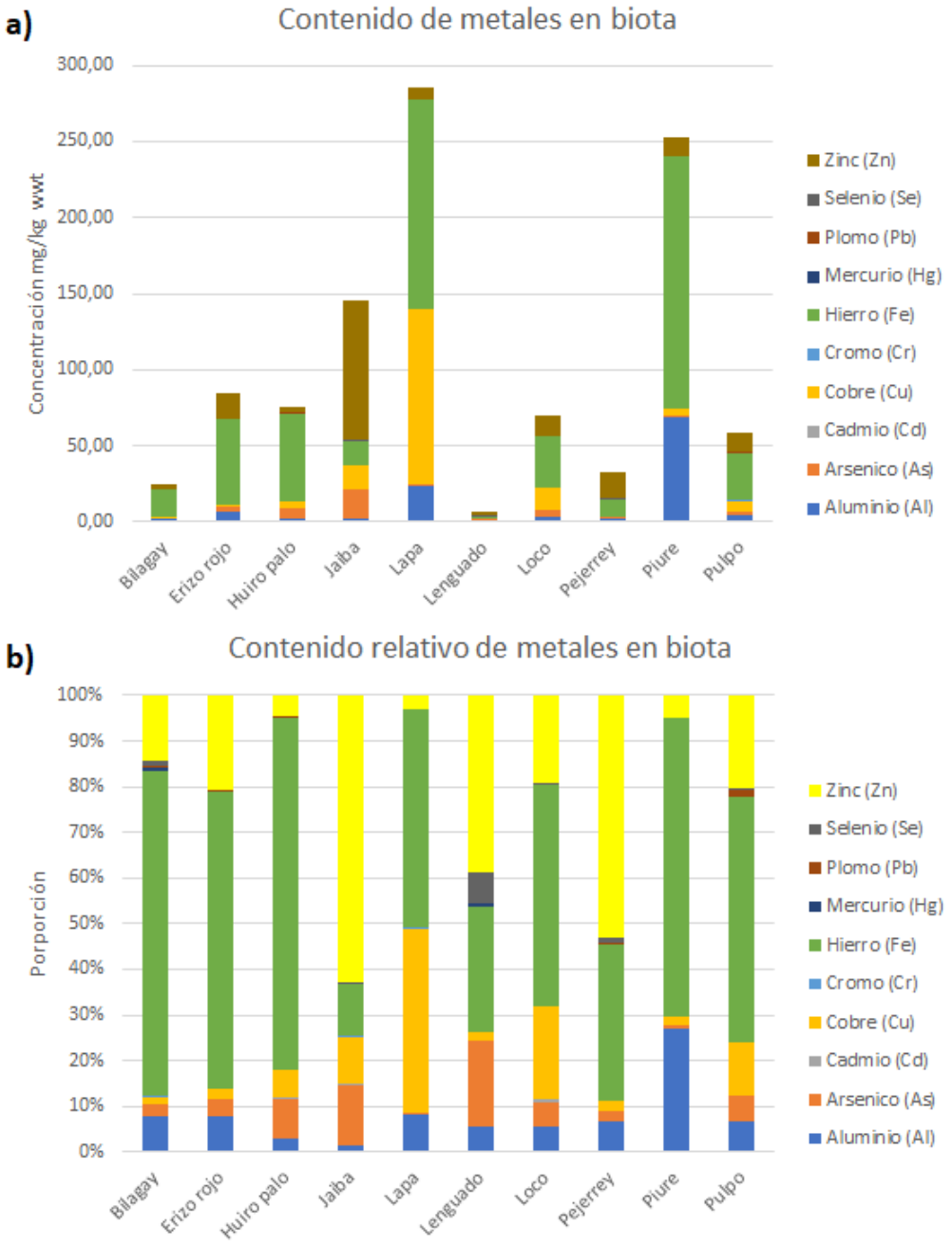


Figura 4.2-156: Contenido de metales en biota. A) Concentración de parámetros en cada una de las especies analizadas. B) Proporción de la concentración de cada parámetro por especie respecto a la concentración total de metales.

Tabla 4.2-42: Valores promedio de concentración de metales en biota. Se destacan en rojo los valores de concentración por sobre lo establecido en el DS 977/96.

Parámetro	LD	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Aluminio (Al) (mg/kg wwt)	0,4	2,010	6,633	2,163	1,803	23,333	0,400	3,870	2,177	68,333	3,917
Arsenico (As) (mg/kg wwt)	0,004	0,627	3,140	6,523	19,467	1,383	1,300	3,633	0,733	1,383	3,220
Cadmio (Cd) (mg/kg wwt)	0,001	0,030	0,153	0,157	0,245	0,215	0,001	0,545	0,000	0,436	0,094
Cobre (Cu) (mg/kg wwt)	0,02	0,378	1,700	4,703	15,167	114,867	0,131	14,200	0,800	4,467	6,817
Cromo (Cr) (mg/kg wwt)	0,01	0,032	0,120	0,084	0,033	0,204	0,010	0,024	0,017	0,196	0,037
Hierro (Fe) (mg/kg wwt)	0,6	18,000	55,567	57,667	16,467	137,000	1,920	33,767	11,300	164,967	31,300
Mercurio (Hg) (mg/kg wwt)	0,005	0,197	0,002	0,001	0,030	0,004	0,043	0,009	0,007	0,006	0,017
Plomo (Pb) (mg/kg wwt)	0,004	0,133	0,066	0,424	0,026	0,238	0,005	0,050	0,111	0,105	0,861
Selenio (Se) (mg/kg wwt)	0,01	0,277	0,146	0,020	0,639	0,160	0,470	0,243	0,407	0,699	0,141
Zinc (Zn) (mg/kg wwt)	0,1	3,637	17,600	3,360	91,167	8,190	2,730	13,367	17,533	12,067	11,943

Tabla 4.2-43: Desviación estándar de concentración de metales en biota para cada especie muestreada.

Parámetro	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Aluminio (Al) (mg/kg wwt)	1,546	4,652	1,245	0,620	12,088	0,000	3,528	1,501	47,919	2,859
Arsenico (As) (mg/kg wwt)	0,163	0,446	0,850	3,861	0,390	0,000	0,793	0,050	0,397	1,745
Cadmio (Cd) (mg/kg wwt)	0,007	0,074	0,080	0,060	0,086	0,000	0,357	0,000	0,059	0,078
Cobre (Cu) (mg/kg wwt)	0,169	0,535	2,383	6,035	45,327	0,000	8,022	0,141	1,226	2,816
Cromo (Cr) (mg/kg wwt)	0,027	0,038	0,035	0,007	0,061	0,000	0,012	0,005	0,114	0,020
Hierro (Fe) (mg/kg wwt)	12,804	45,886	37,915	3,675	77,927	0,000	26,535	2,642	102,115	15,988
Mercurio (Hg) (mg/kg wwt)	0,017	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000	0,005	0,001	0,002	0,009
Plomo (Pb) (mg/kg wwt)	0,099	0,020	0,049	0,003	0,148	0,000	0,015	0,041	0,043	0,518
Selenio (Se) (mg/kg wwt)	0,006	0,022	0,002	0,191	0,027	0,000	0,027	0,013	0,206	0,040
Zinc (Zn) (mg/kg wwt)	1,081	1,871	1,136	14,693	2,951	0,000	1,725	0,368	2,176	4,016

Tabla 4.2-44: Mínimos valores de concentración de metales en biota para cada especie muestreada.

Sector	Cenizales	Cenizales	Cenizales	Muelle Electroandina	Cenizales	Punta Algodonales	Cenizales	Muelle pesca artesanal	Muelle Electroandina	Muelle Electroandina
Parámetro (mg/kg wwt)	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Aluminio (Al)	0,640	3,000	1,000	1,000	6,300	0,400	0,400	1,100	21,000	0,630
Arsenico (As)	0,430	2,670	5,690	15,500	0,840	1,300	2,800	0,680	0,880	1,370
Cadmio (Cd)	0,021	0,070	0,100	0,200	0,130	0,001	0,280	0,000	0,390	0,014
Cobre (Cu)	0,227	1,000	1,500	10,800	67,600	0,131	5,400	0,700	3,000	3,520
Cromo (Cr)	0,010	0,079	0,040	0,027	0,119	0,010	0,012	0,010	0,103	0,010
Hierro (Fe)	8,500	12,000	8,000	12,000	29,000	1,920	6,200	9,000	83,900	8,700
Mercurio (Hg)	0,185	0,001	0,001	0,026	0,003	0,043	0,005	0,006	0,003	0,006
Plomo (Pb)	0,036	0,048	0,374	0,022	0,127	0,005	0,029	0,057	0,052	0,134
Selenio (Se)	0,269	0,124	0,019	0,402	0,129	0,470	0,207	0,390	0,420	0,085
Zinc (Zn)	2,690	15,100	2,000	72,200	4,970	2,730	11,400	17,100	10,100	6,730

Tabla 4.2-45: Máximos valores de concentración de metales en biota para cada especie muestreada. Se destacan en rojo los valores de concentración por sobre lo establecido en el DS 977/96.

Sector	Puerto	Muelle Electroandina	Puerto	Muelle electroandina	Desaladora	Punta Algodonales	Muelle Electroandina	Muelle Pescadores	Cenizales	Muelle Electroandina
Parámetro (mg/kg wwt)	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Aluminio (Al)	4,170	13,200	3,890	2,510	33,100	0,400	8,710	4,300	134,000	7,600
Arsenico (As)	0,830	3,740	7,690	24,700	1,740	1,300	4,700	0,800	1,850	5,560
Cadmio (Cd)	0,038	0,250	0,270	0,330	0,333	0,001	1,050	0,000	0,519	0,200
Cobre (Cu)	0,614	2,300	7,210	23,700	176,000	0,131	24,800	1,000	6,000	10,400

Sector	Puerto	Muelle Electroandina	Puerto	Muelle electroandina	Desaladora	Punta Algodonales	Muelle Electroandina	Muelle Pescadores	Cenizales	Muelle Electroandina
Parámetro (mg/kg wwt)	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Cromo (Cr)	0,070	0,171	0,125	0,043	0,257	0,010	0,041	0,023	0,357	0,059
Hierro (Fe)	36,100	119,000	100,000	21,000	210,000	1,920	69,600	15,000	309,000	43,200
Mercurio (Hg)	0,221	0,002	0,001	0,039	0,005	0,043	0,017	0,008	0,008	0,028
Plomo (Pb)	0,270	0,094	0,490	0,029	0,447	0,005	0,064	0,156	0,157	1,300
Selenio (Se)	0,282	0,175	0,023	0,869	0,195	0,470	0,270	0,421	0,910	0,172
Zinc (Zn)	5,150	19,600	4,780	108,000	12,100	2,730	15,600	18,000	15,100	16,500

La Tabla 4.2-46 muestra los factores de bioacumulación en recursos Hidrobiológicos provenientes de bahía Algodonales Tocopilla, para 9 metales en 10 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. Sin embargo, en anexos digitales se puede encontrar la totalidad de metales comprometidos en la propuesta.

Los factores de bioacumulación fueron calculados a partir de la concentración de metales disueltos en el estrato fondo de la columna de agua.

En general, los organismos bentónicos presentan los mayores factores de bioacumulación, presentando por lo menos un orden de magnitud mayor a los organismos pelágicos. Cabe destacar el alto valor de bioacumulación resultante para todas las especies en todos los metales de la tabla, indistinto del hábito alimenticio y del grupo.

Estos valores de bioacumulación dan cuenta de procesos biológicos presentes en la bahía que pueden estar produciendo efectos de biomagnificación en la cadena trófica presente en el ambiente, pues las diferentes tasas de consumo y excreción de metales, además de la longevidad de los organismos, dan cuenta de los elevados valores de concentración de tejido en biota.

Tabla 4.2-46: Factores de Bioacumulación en recursos hidrobiológicos provenientes de bahía Algodonales, Tocopilla.

Especie	Nombre Común	Hábitat Alimenticio	Grupo	Hábitat	Matriz considerada en el FBA	(As)	(Cd)	(Cu)	(Cr)	(Hg)	(Ni)	(Pb)	(Se)	(Zn)
Cheilodactylus variegatus	Bilagay	Carnívoro	Pez	Pelágico	Agua fondo	166,0	38,0	197,6	35,0	221,0	13,3	33,8	56,4	836,7
Loxechinus albus	Erizo rojo	Herbívoro	Equinodermo	Bentónico	Agua fondo	748,0	250,0	740,3	85,5	2,0	67,3	11,7	35,0	3184,4
Lessonia trabeculata	Huiro Palo	Productor primario	Alga	Bentónico	Agua fondo	1538,0	270,0	2320,6	62,5	1,0	42,0	61,3	4,6	776,6
Cancer setosus	Jaiba	Carnívoro	Crustáceo	Bentónico	Agua fondo	4940,0	330,0	7900,0	21,5	39,3	16,0	3,6	173,8	54000,0
Fissurella sp.	Lapa	Herbívoro	Molusco	Bentónico	Agua fondo	348,0	333,0	56647,8	128,5	5,1	32,3	55,9	39,0	1965,9
Paralichthys adspersus	Lenguado	Carnívoro	Pez	Pelágico Bentónico	Agua fondo	260,0	1,0	43,7	5,0	43,4	13,3	0,7	94,0	1365,0
Concholepas concholepas	Loco	Carnívoro	Molusco	Bentónico	Agua fondo	940,0	1050,0	7982,2	20,5	16,5	13,3	8,0	54,0	2534,5
Odontesthes regia	Pejerrey	Carnívoro	Pez	Pelágico	Agua fondo	160,0	16,0	333,3	11,5	8,3	13,3	19,5	84,2	4054,7
Pyura sp.	Piure	Omnívoro Filtrador	Molusco	Bentónico	Agua fondo	370,0	519,0	2000,0	178,5	7,6	105,3	19,6	182,0	7550,0
Octopus sp.	Pulpo	Carnívoro	Molusco	Bentónico	Agua fondo	1112,0	200,0	3466,7	29,5	28,3	13,3	162,5	34,4	8250,0

Tabla 4.2-47: Valores de concentración de metales en biota para el erizo rojo y lapa en bahía Algodonales.

Parámetro	Unidad	LD	Erizo rojo	Erizo rojo	Erizo rojo	Lapa	Lapa	Lapa
Aluminio (Al)	mg/kg wwt	0,4	3,0	3,7	13,2	6,3	30,6	33,1
Antimonio (Sb)	mg/kg wwt	0,002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Arsenico (As)	mg/kg wwt	0,004	3,0	2,7	3,7	0,8	1,6	1,7
Bario (Ba)	mg/kg wwt	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Berilio (Be)	mg/kg wwt	0,002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Bismuto (Bi)	mg/kg wwt	0,002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Boro (B)	mg/kg wwt	0,2	5,4	5,7	5,4	1,6	1,6	1,7
Cadmio (Cd)	mg/kg wwt	0,001	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3
Calcio (Ca)	mg/kg wwt	4	829,0	1.010,0	1.450,0	469,0	480,0	1.110,0
Césio (Cs)	mg/kg wwt	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Circonio (Zr)	mg/kg wwt	0,04	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040
Cobalto (Co)	mg/kg wwt	0,004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Cobre (Cu)	mg/kg wwt	0,02	1,0	1,8	2,3	67,6	101,0	176,0
Cromo (Cr)	mg/kg wwt	0,01	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2
Estaño (Sn)	mg/kg wwt	0,02	<0,020	<0,020	0,1	<0,020	<0,020	0,0
Fósforo (P)	mg/kg wwt	2	2.090,0	2.200,0	4.340,0	584,0	553,0	837,0
Hierro (Fe)	mg/kg wwt	0,6	12,0	35,7	119,0	29,0	172,0	210,0
Litio (Li)	mg/kg wwt	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Magnesio (Mg)	mg/kg wwt	0,4	946,0	987,0	964,0	1.070,0	1.130,0	1.040,0
Manganeso (Mn)	mg/kg wwt	0,01	0,3	0,4	0,7	0,4	1,2	1,1
Mercurio (Hg)	mg/kg wwt	0,005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Molibdeno (Mo)	mg/kg wwt	0,004	0,1	0,1	0,3	0,0	1,3	1,1
Níquel (Ni)	mg/kg wwt	0,04	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1
Plomo (Pb)	mg/kg wwt	0,004	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4
Potasio (K)	mg/kg wwt	4	3.670,0	3.310,0	4.050,0	1.160,0	1.130,0	1.610,0
Rubídio (Rb)	mg/kg wwt	0,01	1,6	1,4	1,8	0,4	0,4	0,6
Selenio (Se)	mg/kg wwt	0,01	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Sodio (Na)	mg/kg wwt	4	5.310,0	6.110,0	4.690,0	7.840,0	7.930,0	6.790,0
Stroncio (Sr)	mg/kg wwt	0,01	9,8	10,7	13,6	7,0	7,0	9,0
Talio (Tl)	mg/kg wwt	0,0004	0,0	<0,00040	0,0	<0,00040	<0,00040	<0,00040
Telúrio (Te)	mg/kg wwt	0,004	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040
Uranio (U)	mg/kg wwt	0,0004	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
Vanadio (V)	mg/kg wwt	0,02	0,7	0,3	0,8	0,1	0,2	0,3
Zinc (Zn)	mg/kg wwt	0,1	18,1	15,1	19,6	5,0	7,5	12,1

Tabla 4.2-48: Valores de concentración de metales en biota para el loco y pejerrey en bahía Algodonales.

Parámetro	Unidad	LD	Loco	Loco	Loco	Pejerrey	Pejerrey	Pejerrey
Aluminio (Al)	mg/kg wwt	0,4	2,5	<0,40	8,7	1,1	4,3	1,1
Antimonio (Sb)	mg/kg wwt	0,002	0,0	<0,0020	0,0	<0,0020	0,0	<0,0020
Arsenico (As)	mg/kg wwt	0,004	4,7	3,4	2,8	0,7	0,8	0,7
Bario (Ba)	mg/kg wwt	0,01	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1

Parámetro	Unidad	LD	Loco	Loco	Loco	Pejerrey	Pejerrey	Pejerrey
Berilio (Be)	mg/kg wwt	0,002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Bismuto (Bi)	mg/kg wwt	0,002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Boro (B)	mg/kg wwt	0,2	1,4	0,9	1,5	0,4	0,6	0,5
Cadmio (Cd)	mg/kg wwt	0,001	1,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Calcio (Ca)	mg/kg wwt	4	519,0	483,0	471,0	4.500,0	3.870,0	3.980,0
Césio (Cs)	mg/kg wwt	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Circonio (Zr)	mg/kg wwt	0,04	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040
Cobalto (Co)	mg/kg wwt	0,004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cobre (Cu)	mg/kg wwt	0,02	12,4	5,4	24,8	0,7	1,0	0,7
Cromo (Cr)	mg/kg wwt	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,010
Estaño (Sn)	mg/kg wwt	0,02	<0,020	<0,020	<0,020	0,0	<0,020	<0,020
Fósforo (P)	mg/kg wwt	2	1.130,0	1.390,0	1.100,0	5.010,0	4.760,0	4.930,0
Hierro (Fe)	mg/kg wwt	0,6	25,5	6,2	69,6	9,9	15,0	9,0
Litio (Li)	mg/kg wwt	0,1	0,1	<0,10	0,1	<0,10	<0,10	<0,10
Magnesio (Mg)	mg/kg wwt	0,4	1.530,0	1.280,0	1.610,0	455,0	379,0	426,0
Manganeso (Mn)	mg/kg wwt	0,01	0,5	0,6	0,7	0,3	0,4	0,3
Mercurio (Hg)	mg/kg wwt	0,005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Molibdeno (Mo)	mg/kg wwt	0,004	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Níquel (Ni)	mg/kg wwt	0,04	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040
Plomo (Pb)	mg/kg wwt	0,004	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
Potasio (K)	mg/kg wwt	4	2.350,0	3.000,0	2.260,0	4.950,0	4.630,0	4.940,0
Rubídio (Rb)	mg/kg wwt	0,01	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8
Selenio (Se)	mg/kg wwt	0,01	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Sodio (Na)	mg/kg wwt	4	6.370,0	5.040,0	6.140,0	874,0	916,0	995,0
Stroncio (Sr)	mg/kg wwt	0,01	7,3	5,6	6,3	21,0	17,5	19,2
Talio (Tl)	mg/kg wwt	0,0004	<0,00040	<0,00040	<0,00040	<0,00040	<0,00040	<0,00040
Telúrio (Te)	mg/kg wwt	0,004	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040
Uranio (U)	mg/kg wwt	0,0004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vanadio (V)	mg/kg wwt	0,02	0,0	<0,020	0,1	<0,020	0,0	<0,020
Zinc (Zn)	mg/kg wwt	0,1	15,6	11,4	13,1	17,1	17,5	18,0

Tabla 4.2-49: Valores de concentración de metales en biota para el piure y pulpo en bahía Algodonales.

Parámetro	Unidad	LD	Piure	Piure	Piure	Pulpo	Pulpo	Pulpo
Aluminio (Al)	mg/kg wwt	0,4	21,0	134,0	50,0	7,6	3,5	0,6
Antimonio (Sb)	mg/kg wwt	0,002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Arsenico (As)	mg/kg wwt	0,004	0,9	1,4	1,9	2,7	5,6	1,4
Bario (Ba)	mg/kg wwt	0,01	0,3	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0
Berilio (Be)	mg/kg wwt	0,002	<0,0020	0,0	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Bismuto (Bi)	mg/kg wwt	0,002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Boro (B)	mg/kg wwt	0,2	2,0	1,5	1,4	1,5	1,6	1,6
Cadmio (Cd)	mg/kg wwt	0,001	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,0
Calcio (Ca)	mg/kg wwt	4	1.800,0	2.540,0	785,0	507,0	380,0	300,0

Parámetro	Unidad	LD	Piure	Piure	Piure	Pulpo	Pulpo	Pulpo
Césio (Cs)	mg/kg wwt	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Circonio (Zr)	mg/kg wwt	0,04	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040
Cobalto (Co)	mg/kg wwt	0,004	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Cobre (Cu)	mg/kg wwt	0,02	4,4	6,0	3,0	10,4	6,5	3,5
Cromo (Cr)	mg/kg wwt	0,01	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0
Estaño (Sn)	mg/kg wwt	0,02	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,020
Fósforo (P)	mg/kg wwt	2	1.060,0	1.380,0	1.790,0	1.040,0	1.570,0	521,0
Hierro (Fe)	mg/kg wwt	0,6	83,9	309,0	102,0	42,0	43,2	8,7
Litio (Li)	mg/kg wwt	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Magnesio (Mg)	mg/kg wwt	0,4	966,0	1.020,0	828,0	989,0	894,0	953,0
Manganeso (Mn)	mg/kg wwt	0,01	0,9	3,0	1,7	0,4	0,4	0,1
Mercurio (Hg)	mg/kg wwt	0,005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Molibdeno (Mo)	mg/kg wwt	0,004	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0
Níquel (Ni)	mg/kg wwt	0,04	0,1	0,3	0,1	<0,040	<0,040	<0,040
Plomo (Pb)	mg/kg wwt	0,004	0,2	0,1	0,1	1,2	1,3	0,1
Potasio (K)	mg/kg wwt	4	1.600,0	2.480,0	3.720,0	1.870,0	2.670,0	1.110,0
Rubídio (Rb)	mg/kg wwt	0,01	0,6	1,1	1,4	0,6	0,9	0,4
Selenio (Se)	mg/kg wwt	0,01	0,4	0,8	0,9	0,2	0,2	0,1
Sodio (Na)	mg/kg wwt	4	6.880,0	6.540,0	5.380,0	7.050,0	5.550,0	7.110,0
Stroncio (Sr)	mg/kg wwt	0,01	18,7	20,0	8,7	6,6	6,0	6,0
Talio (Tl)	mg/kg wwt	0,0004	0,0	0,0	0,0	<0,00040	<0,00040	<0,00040
Telúrio (Te)	mg/kg wwt	0,004	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040
Uranio (U)	mg/kg wwt	0,0004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vanadio (V)	mg/kg wwt	0,02	0,2	1,8	0,5	0,1	0,0	<0,020
Zinc (Zn)	mg/kg wwt	0,1	10,1	11,0	15,1	12,6	16,5	6,7

Tabla 4.2-50: Valores de concentración de metales en biota para el huiro palo y bilagay en bahía Algodonales.

Parámetro	Unidad	LD	Huiro palo	Huiro palo	Huiro palo	Bilagay	Bilagay	Bilagay
Aluminio (Al)	mg/kg wwt	0,4	3,9	1,0	1,6	1,2	0,6	4,2
Antimonio (Sb)	mg/kg wwt	0,002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Arsenico (As)	mg/kg wwt	0,004	7,7	5,7	6,2	0,6	0,4	0,8
Bario (Ba)	mg/kg wwt	0,01	1,7	1,4	1,8	0,1	0,0	0,1
Berilio (Be)	mg/kg wwt	0,002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Bismuto (Bi)	mg/kg wwt	0,002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Boro (B)	mg/kg wwt	0,2	24,1	17,0	18,9	<0,20	<0,20	0,3
Cadmio (Cd)	mg/kg wwt	0,001	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0
Calcio (Ca)	mg/kg wwt	4	2.230,0	1.760,0	2.110,0	603,0	98,0	606,0
Césio (Cs)	mg/kg wwt	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Circonio (Zr)	mg/kg wwt	0,04	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040
Cobalto (Co)	mg/kg wwt	0,004	0,0	0,0	0,0	<0,0040	<0,0040	0,0
Cobre (Cu)	mg/kg wwt	0,02	7,2	1,5	5,4	0,3	0,2	0,6
Cromo (Cr)	mg/kg wwt	0,01	0,1	0,0	0,1	0,0	<0,010	0,1

Parámetro	Unidad	LD	Huiro palo	Huiro palo	Huiro palo	Bilagay	Bilagay	Bilagay
Estaño (Sn)	mg/kg wwt	0,02	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	0,2
Fósforo (P)	mg/kg wwt	2	2.460,0	1.400,0	1.740,0	2.640,0	2.180,0	2.500,0
Hierro (Fe)	mg/kg wwt	0,6	100,0	8,0	65,0	9,4	8,5	36,1
Litio (Li)	mg/kg wwt	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,10	<0,10	<0,10
Magnesio (Mg)	mg/kg wwt	0,4	1.890,0	1.570,0	1.390,0	370,0	321,0	402,0
Manganeso (Mn)	mg/kg wwt	0,01	0,7	0,5	0,5	0,1	0,1	0,2
Mercurio (Hg)	mg/kg wwt	0,005	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,2	0,2	0,2
Molibdeno (Mo)	mg/kg wwt	0,004	0,1	0,0	0,1	<0,0040	0,0	0,0
Níquel (Ni)	mg/kg wwt	0,04	0,1	0,1	0,1	<0,040	<0,040	<0,040
Plomo (Pb)	mg/kg wwt	0,004	0,5	0,4	0,4	0,1	0,0	0,3
Potasio (K)	mg/kg wwt	4	20.400,0	11.600,0	15.400,0	5.220,0	4.250,0	4.710,0
Rubídio (Rb)	mg/kg wwt	0,01	6,7	4,6	5,2	0,8	0,7	0,8
Selenio (Se)	mg/kg wwt	0,01	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3
Sodio (Na)	mg/kg wwt	4	6.320,0	5.060,0	4.200,0	411,0	374,0	623,0
Stroncio (Sr)	mg/kg wwt	0,01	219,0	179,0	238,0	5,0	0,0	6,0
Talio (Tl)	mg/kg wwt	0,0004	0,0	<0,00040	<0,00040	<0,00040	<0,00040	<0,00040
Telúrio (Te)	mg/kg wwt	0,004	0,0	0,0	0,0	<0,0040	<0,0040	<0,0040
Uranio (U)	mg/kg wwt	0,0004	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,00040	0,0
Vanadio (V)	mg/kg wwt	0,02	0,3	0,0	0,3	0,0	<0,020	0,0
Zinc (Zn)	mg/kg wwt	0,1	4,8	2,0	3,3	3,1	2,7	5,2

Tabla 4.2-51: Valores de concentración de metales en biota para lenguado y jaiba en bahía Algodonales.

Parámetro	Unidad	Lenguado	Jaiba	Jaiba	Jaiba
Aluminio (Al)	mg/kg wwt	<0,40	2,51	1,9	1
Antimonio (Sb)	mg/kg wwt	<0,0020	0,005	0,0054	0,0047
Arsenico (As)	mg/kg wwt	1,3	15,5	24,7	18,2
Bario (Ba)	mg/kg wwt	0,016	0,06	0,039	0,078
Berilio (Be)	mg/kg wwt	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Bismuto (Bi)	mg/kg wwt	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Boro (B)	mg/kg wwt	0,24	9,8	11,3	9,6
Cadmio (Cd)	mg/kg wwt	<0,0010	0,204	0,2	0,33
Calcio (Ca)	mg/kg wwt	90,4	1630	1590	3120
Césio (Cs)	mg/kg wwt	0,0276	0,0045	0,0048	0,0054
Circonio (Zr)	mg/kg wwt	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040
Cobalto (Co)	mg/kg wwt	<0,0040	0,015	0,017	0,013
Cobre (Cu)	mg/kg wwt	0,131	11	10,8	23,7
Cromo (Cr)	mg/kg wwt	<0,010	0,028	0,027	0,043
Estaño (Sn)	mg/kg wwt	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Fósforo (P)	mg/kg wwt	2400	915	1040	1250
Hierro (Fe)	mg/kg wwt	1,92	16,4	21	12
Litio (Li)	mg/kg wwt	<0,10	0,17	0,16	0,16

Parámetro	Unidad	Lenguado	Jaiba	Jaiba	Jaiba
Magnesio (Mg)	mg/kg wwt	330	1740	1760	1780
Manganeso (Mn)	mg/kg wwt	0,09	0,127	0,15	0,11
Mercurio (Hg)	mg/kg wwt	0,0434	0,0255	0,0264	0,0393
Molibdeno (Mo)	mg/kg wwt	<0,0040	0,0757	0,091	0,068
Níquel (Ni)	mg/kg wwt	<0,040	0,048	0,047	0,047
Plomo (Pb)	mg/kg wwt	0,0052	0,029	0,022	0,027
Potasio (K)	mg/kg wwt	5030	2710	3060	3070
Rubídio (Rb)	mg/kg wwt	0,767	0,82	0,89	0,98
Selenio (Se)	mg/kg wwt	0,47	0,402	0,647	0,869
Sodio (Na)	mg/kg wwt	577	5960	5710	6150
Stroncio (Sr)	mg/kg wwt	0,226	39	31,7	56
Talio (Tl)	mg/kg wwt	<0,00040	<0,00040	0,00046	<0,00040
Telúrio (Te)	mg/kg wwt	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040
Uranio (U)	mg/kg wwt	<0,00040	0,0019	0,0021	0,041
Vanadio (V)	mg/kg wwt	<0,020	0,08	0,05	0,04
Zinc (Zn)	mg/kg wwt	2,73	72,2	108	93,3

Tabla 4.2-52: Valores de concentración de hidrocarburos en biota para el bilagay, erizo rojo, piure, pulpo y huiro palo en bahía Algodonales.

Parámetro	Unidad	LD	Bilagay	Bilagay	Bilagay	Erizo Rojo	Erizo Rojo	Erizo Rojo	Piure	Pulpo	Pulpo	Pulpo	Huiro Palo	Huiro Palo	Huiro Palo
Naftaleno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
2 Metilnaftaleno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Acenaftileno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Acenafteno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Dibenzofurano	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Fluoreno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	4,9	<5.0	<5.0	<4.8	11	5,6	<4.8	5,3	<4.9	<5.0	<4.7
Fenantreno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Antraceno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Fluoranteno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Pireno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzeno (a) antraceno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Criseno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzo (b) fluoranteno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzo (k) fluoranteno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzo (a) pireno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Indeno (123-cd) pireno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Dibenzo (a,h) antraceno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzo (g,h,i) perileno	ug/Kg	5	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7

4.2.1.4 Campaña de verano 2020

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

- **Calidad fisicoquímica de agua y sedimento submareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento marino en la bahía en estaciones TOC-01@07.
- **Calidad fisicoquímica de sedimento intermareal:** Muestreo de parámetros fisicoquímicos de sedimento marino en la bahía en las estaciones SED-1@6.
- **Parámetros fisicoquímicos en la vertical:** Lance de sonda CTD en estaciones TOC-1@7 para el muestreo de la columna vertical de agua de los parámetros temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial RedOx y turbidez.
- **Comunidades planctónicas:** Muestreo de comunidades planctónicas en superficie y profundidad en estaciones TOC-01@07
- **Comunidades bentónicas:** Videos submareales para caracterización de comunidades bentónicas submareales de fondo duro en puntos TSR-01@03; Muestreo de comunidades bentónicas submareales de fondo blando en estaciones TOC-01@07; Muestreo de comunidades bentónicas intermareales de fondo duro en estaciones TIR-01@06; Muestreo de comunidades bentónicas intermareales de fondo blando en estaciones TIB-01@06.

4.2.1.4.1 Cuerpo de agua

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

Mediante el lance de una sonda CTD en las estaciones de monitoreo TOC-1 a TOC-7, se pudo medir algunos parámetros fisicoquímicos de la columna vertical de agua. A continuación, se presentan los gráficos de temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial RedOx y turbidez, obtenidos en la campaña de verano de 2020.

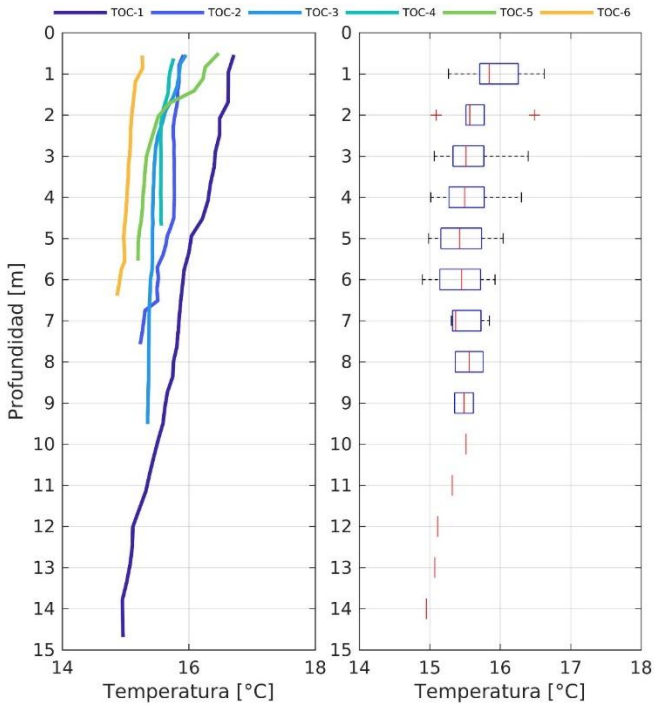


Figura 4.2-157: Temperatura en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2020.

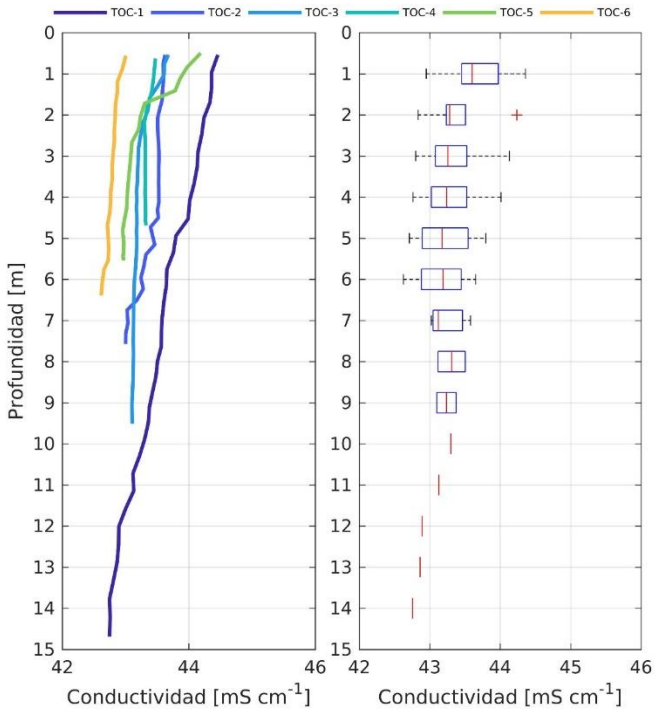


Figura 4.2-158: Conductividad eléctrica en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2020.

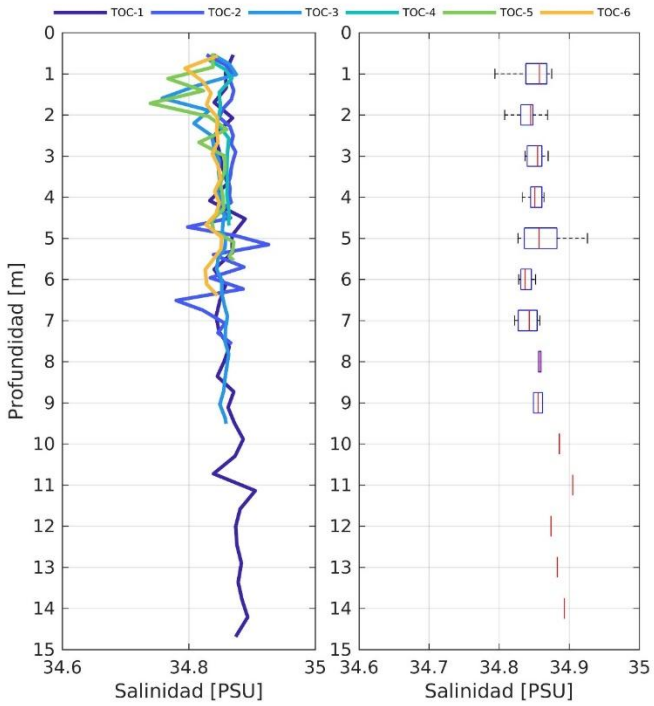


Figura 4.2-159: Salinidad en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2020.

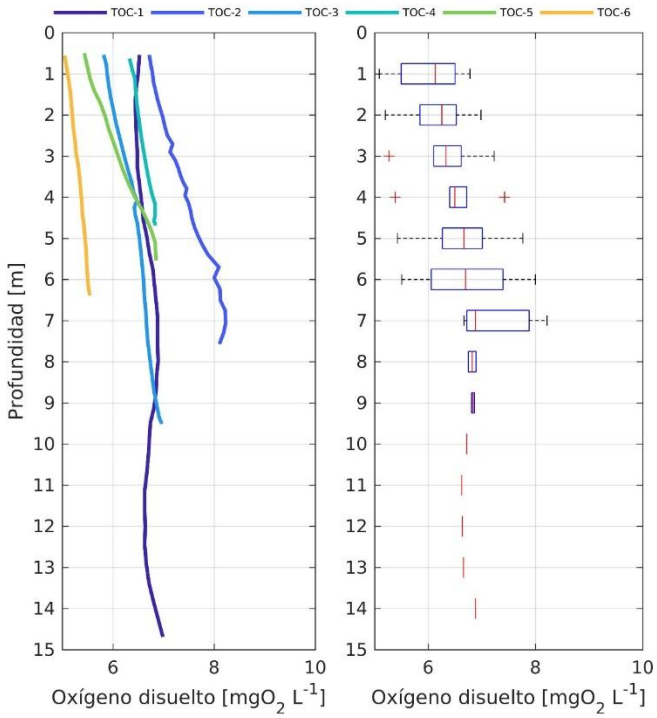


Figura 4.2-160: Oxígeno disuelto en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2020.

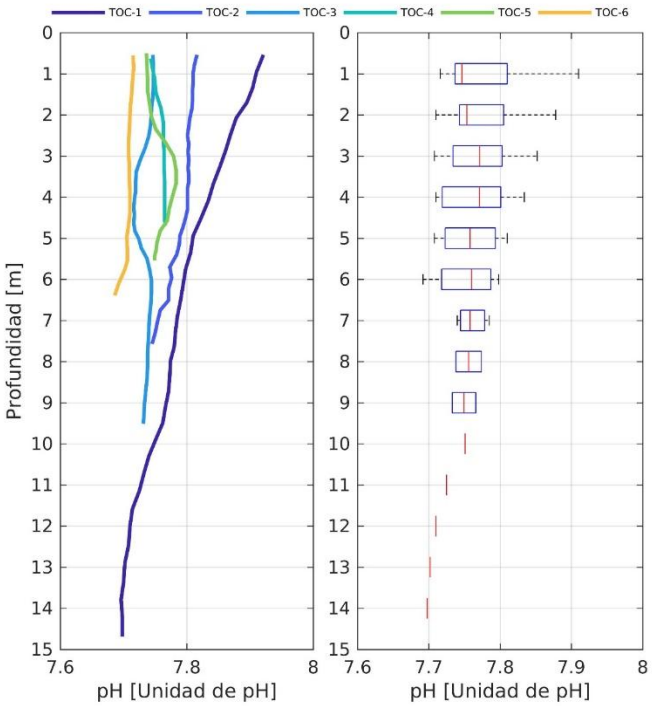


Figura 4.2-161: pH en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2020.

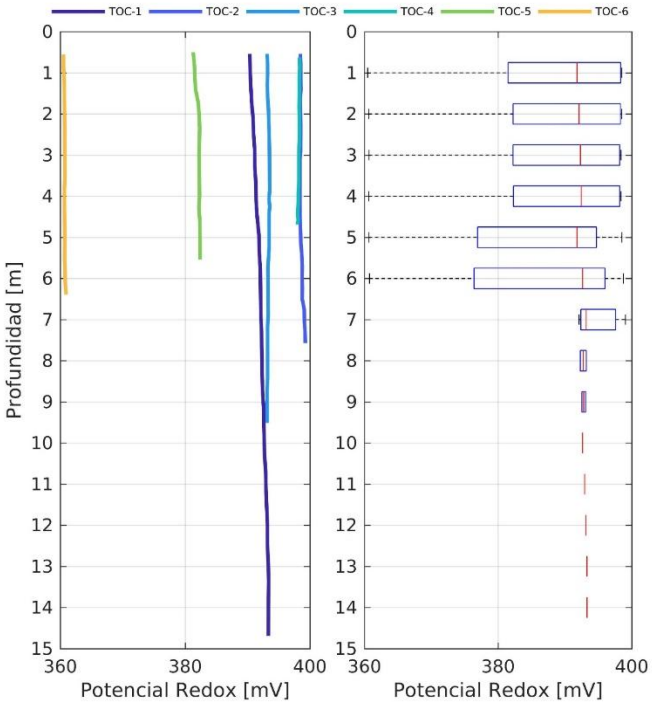


Figura 4.2-162: Potencial Redox en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2020.

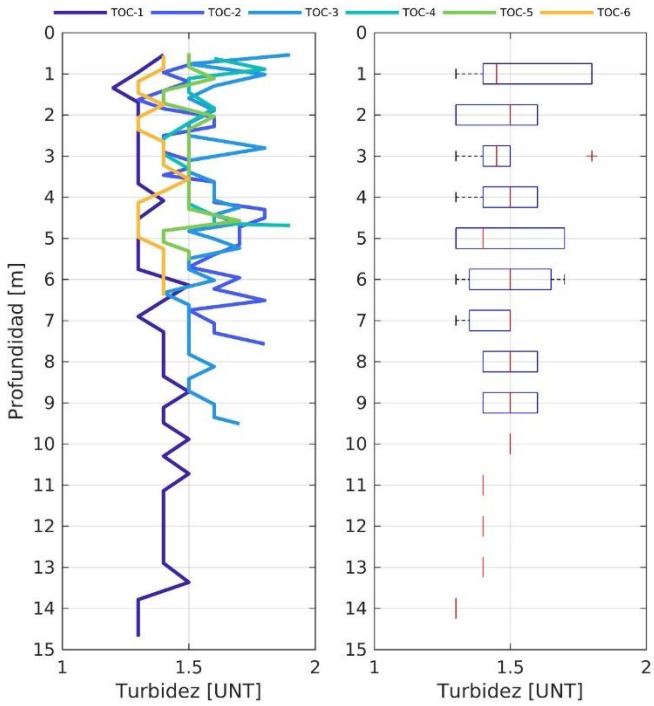


Figura 4.2-163: Turbidez en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en la campaña de verano de 2020.

Las aguas de Bahía Algodonales presentaron valores de conductividad eléctrica homogéneos entre los puntos de muestreo. A nivel de estratos no se observa una diferencia importante, el estrato superficial varió entre 42,93 mS/cm y 44,49 mS/cm, mientras que el profundo presentó valores de 42,61 mS/cm y 43,32 mS/cm (Tabla 4.2-53).

La salinidad fue similar entre puntos de muestreo y estratos, con valores esperados para agua marina (mínimo=34,84 g/l y máximo=34,88 g/l) (Tabla 4.2-53).

El contenido de oxígeno disuelto en el estrato superficial varió de 5,0 mg/L a 6,71 mg/L, mientras que en el estrato de fondo la mínima fue de 5,4 mg/L y la máxima 8,0 mg/L (Tabla 4.2-53).

Las aguas fueron moderadamente alcalinas, con variaciones de pH entre 7,71 y 7,91 unidades en el estrato superficial, y de 7,69 a 7,77 unidades en el estrato profundo. Todos los valores se encontraron dentro de los límites establecidos en la EPA (2009) (Tabla 4.2-53).

Por otro lado, la temperatura del agua varió entre los 15,19 °C y los 16,66°C en el estrato superficial, mientras que en el estrato de fondo los valores fueron levemente menores, con registros que variaron entre los 14,86°C y 15,57°C (Tabla 4.2-53).

Los valores de potencial RedOx fueron propios de ambientes que favorecen las reacciones de oxidación, con valores en el estrato superficial entre 154,39 mV y 192,89 mV y de 154,29 mV a 193,22 en el estrato profundo (Tabla 4.2-53).

Tabla 4.2-53: Parámetros in situ medidos en la campaña de verano 2020. Bahía de Algodonales.

Punto de muestreo	Temperatura	Conductividad Eléctrica	Salinidad	O2	pH	Potencial Redox	Turbidez
	°C	mS/cm	g/L	mg/l	-	mV	NTU
TOC1-S	16,66	44,40	34,86	6,34	7,91	185,45	1,33
TOC1-F	14,95	42,75	34,88	6,91	7,70	186,59	1,38
TOC2-S	15,85	43,60	34,86	6,71	7,81	192,89	1,41
TOC2-F	15,25	43,01	34,86	8,01	7,75	193,22	1,99
TOC3-S	15,81	43,55	34,85	5,82	7,73	188,25	1,54
TOC3-F	15,32	43,06	34,84	6,82	7,72	188,29	1,58
TOC4-S	15,72	43,46	34,85	6,26	7,75	192,47	1,55
TOC4-F	15,57	43,32	34,86	6,75	7,77	192,34	1,62
TOC5-S	16,23	43,97	34,86	5,68	7,74	176,27	1,52
TOC5-F	15,20	42,97	34,87	6,99	7,75	176,04	1,46
TOC6-S	15,19	42,93	34,84	5,01	7,71	154,39	1,34
TOC6-F	14,86	42,61	34,85	5,38	7,69	154,29	1,40
TOC7-S							
TOC7-F							
CMC (Agudo) EPA,2009	-	-	-	-	-	-	-
CCC (crónico) EPA,2009	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-
CCME, 2007	-	-	6,5 - 8,5	-	-	-	-

De los trece metales disueltos analizados (Tabla 4.2-54 y Tabla 4.2-55), solo el Arsénico, el Hierro, el Molibdeno y el Zinc presentaron concentraciones sobre el límite de detección. Sin embargo, dichas concentraciones no superaron los valores referenciales de la EPA, indicando que a estas concentraciones una comunidad acuática puede estar expuesta sin presentar efectos agudos (muerte o alteración del crecimiento) o efectos crónicos (problemas reproductivos) (EPA 2009).

Tabla 4.2-54: Metales disueltos medidos en la campaña de verano 2020 en los puntos de muestreo TOC1, TOC2, TOC3 y TOC4, en Bahía Algodonales.

Variable mg/L	TOC-1		TOC-2		TOC-3		TOC-4		EPA,2009	
	F	S	F	S	F	S	F	S	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088
Cobre	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,029	<0,002	<0,002	<0,002	-	-

Variable mg/L	TOC-1		TOC-2		TOC-3		TOC-4		EPA,2009	
	F	S	F	S	F	S	F	S	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,074	0,0082
Plomo	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,21	0,0081
Selenio	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,29	0,071
Vanadio	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	-	-
Zinc	0,004	0,002	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	0,090	0,081

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

Tabla 4.2-55: Metales disueltos medidos en la campaña de verano 2020 en los puntos de muestreo TOC5, TOC6 y TOC7, en Bahía Algodonales.

Variable	TOC-5		TOC-6		TOC-7		EPA,2009	
	F	S	F	S	F	S	CMC (aguda) mg/L	CCC (crónico) mg/L
Arsénico	0.005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,069	0,036
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,040	0,0088
Cobre	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0048	0,0031
Cromo	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	-	-
Hierro	0.003	<0,002	0.004	0.002	<0,002	<0,002	-	-
Manganeso	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	-	-
Mercurio	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,0018	0,00094
Molibdeno	0.006	0.006	0.007	0.006	0.006	<0,003	-	-
Níquel	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,074	0,0082
Plomo	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,21	0,0081
Selenio	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0,29	0,071
Vanadio	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	-	-
Zinc	<0,002	0.003	<0,002	<0,002	0.003	<0,002	0,090	0,081

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

En la Tabla 4.2-56 se adjuntan los valores de concentración de otros parámetros de interés ambiental para los puntos de muestreo TOC-1@7. Se destaca que los aceites y grasas y los hidrocarburos totales presentaron valores bajo los límites de detección, mientras que los coliformes fecales tuvieron valores entre <1,8 (NMP/100ml) y 17 (NMP/100ml), estando muy por debajo del límite del Decreto Supremo 144/2009 (1000 NMP/100ml). En tanto, la concentración de clorofila a da cuenta de un estado oligotrófico a lo largo de la bahía, por

lo que no se presentaron registro de eutroficación presente en ninguno de los puntos de medición[4].

Tabla 4.2-56: Otros parámetros de interés en estrato superficial y de fondo, bahía Algodonales, Tocopilla. Campaña verano 2019.

Parámetro	Estrato	Punto de muestreo						
		TOC-01	TOC-02	TOC-03	TOC-04	TOC-05	TOC-06	TOC-07
Aceites y grasas (mg/l)	Fondo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Superficie	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Clorofila a (mg/mg3)	Fondo	0,32	0,15	0,16	0,56	0	0,07	<0,03
	Superficie	0,81	0,74	0,62	0,07	0	0,2	0,21
Coliformes fecales (NMP/100ml)	Fondo	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	13	17	<1,8
	Superficie	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	7	3,7	<1,8
Hidrocarburos totales (mg/l)	Fondo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Superficie	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

4.2.1.4.2 Calidad de sedimentos

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

La granulometría de los sedimentos intermareales de estudio se presenta en la Tabla 4.2-57 y Figura 4.2-121. El tamaño del grano de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales varía de grava a arena a muy fina, con mayor predominancia de arena fina en los puntos de muestreo ubicados en caleta duendes (SED-2), emisario sanitario (SED-3) y Playa/camping (SED-4), indicando un menor flujo de energía, condiciones que favorecen la depositación de material fino. Por otra parte, en los sectores norte y sur (SED-1 y SED-6) se destaca una mayor proporción de material grueso (Arena gruesa-muy gruesa y Grava), dando cuenta de la presencia de corrientes más fuertes o energéticas.

[4] Smith et al. (1999). “Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems”. Environmental Pollution. 100, 179-196.

Tabla 4.2-57: Granulometría de los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales, Campaña Verano 2020.

Punto de muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
SED-1	1,21%	1,19%	16,23%	59,47%	21,60%	0,28%	0,01%
SED-2	0,00%	0,05%	5,87%	43,99%	47,66%	2,41%	0,02%
SED-3	0,00%	0,00%	1,02%	17,88%	70,15%	10,90%	0,06%
SED-4	0,00%	0,01%	2,42%	46,40%	50,91%	0,24%	0,01%
SED-5	2,56%	13,67%	35,48%	34,63%	13,50%	0,14%	0,01%
SED-6	23,05%	52,85%	23,35%	0,55%	0,17%	0,03%	0,00%

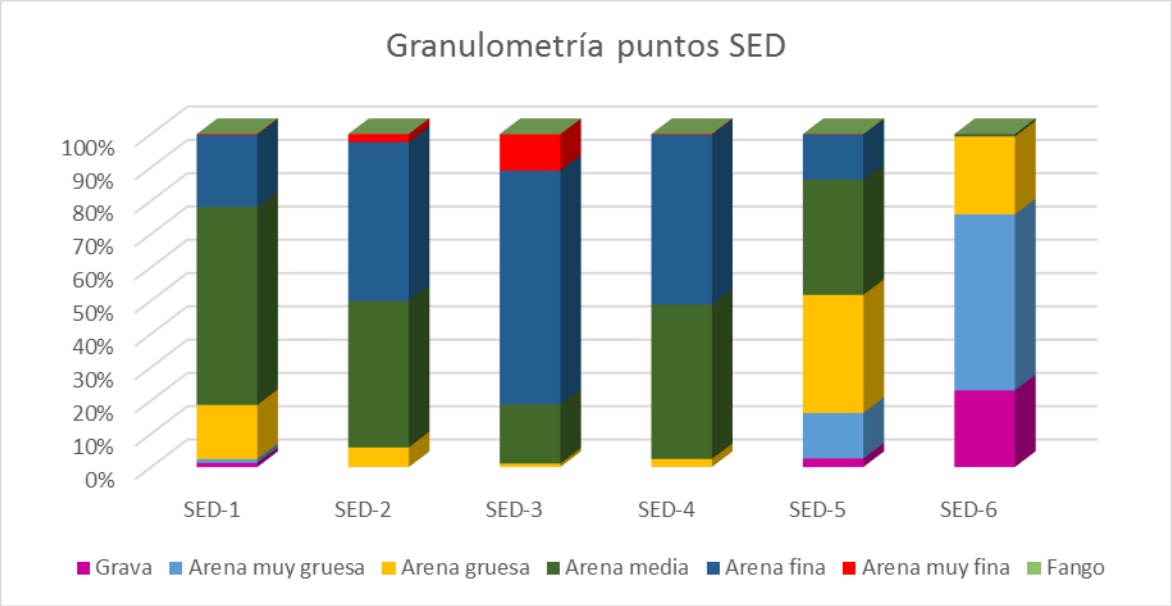


Figura 4.2-164: Granulometría en puntos de medición intermareal SED, Campaña Verano 2020.

En cuanto al contenido de metales en la bahía, espacialmente las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados en emisario sanitario (SED-3), Playa/Camping (SED-4) y caleta Duendes (SED-4), indicando un menor flujo de energía en estos sectores, condiciones que favorecen la depositación (Tabla 4.2-59).

La concentración de hierro varió entre 25384 mg/kg a 103624 mg/kg, registrándose el máximo valor en el punto en SED-3 (emisario sanitario). La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-59).

La concentración de cobre varió entre 69,5 mg/kg en SED-1 y 3887,0 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando en todos los puntos, SED-1 al SED-6, el criterio ISGQ. La concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) se vio superada en los puntos SED-2, SED-3, SED-4, SED-5 y SED-6 (Tabla 4.2-59).

La concentración de zinc varió entre 13,0 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 1227,0 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos SED-2, SED-3 y SED-4 (Tabla 4.2-59).

La concentración de arsénico varió entre 1,12 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales) y 215,5 mg/kg en SED-4 (playa/camping), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002) principalmente en los puntos SED-2, SED-3 y SED- (Tabla 4.2-59).

La concentración de vanadio varió entre 94,7 mg/kg en SED-6 (playa al sur de caleta algodonales) y 175,1 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales), la normativa no establece límite de referencia (CCME,2002).

La concentración de cromo varió entre 13,6 mg/kg en SED-6 (playa al sur de algodonales) y 83,9 mg/kg en SED-3 (emisario sanitario), superando el criterio ISGQ correspondiente a 52,3 mg/kg en los puntos SED-2 y SED-3 (Tabla 4.2-59).

La concentración de plomo varió entre <0,5 mg/kg en SED-1 (caleta vieja, cenizales), SED-5(RCA Norgener) y SED-6 (playa al sur de caleta algodonales) y 12,9 mg/kg en SED-2 (caleta Duendes),no superando el criterio ISGQ correspondiente a 30,2 mg/kg en ningún punto (Tabla 4.2-59).

La concentración de cadmio registró valores bajo el límite de detección (0,1 mg/kg) en todos los puntos de medición (SED-1 al SED-6), no superando entonces los criterios ISGQ y PEL (Tabla 4.2-59).

Así, considerando las muestras en cada uno de los puntos SED, para la bahía se obtuvo que los metales con mayor presencia en los sedimentos intermareales fueron el hierro (67805,7± 32594,5 mg/kg), cobre (1396,0 ± 1395,5mg/kg) y zinc (604,8 ± 582,8 mg/kg). (Tabla 4.2-59).

Tabla 4.2-58: Concentración promedio de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Verano 2020.

Parámetro	N	Promedio	DE	Min	Max
Hierro	6	67805,67	32594,53	25384,00	103624,00
Cobre	6	1395,95	1395,46	69,50	3887,00
Zinc	6	604,83	582,76	13,00	1277,00
Manganeso	6	362,83	197,73	97,00	645,00
Molibdeno	6	337,50	329,31	5,00	694,00
Vanadio	6	139,12	24,74	94,70	175,10
Arsénico	6	104,54	98,81	1,12	215,50
Cromo	6	43,78	24,72	13,60	83,90
Níquel	6	9,08	3,34	3,20	12,00

Parámetro	N	Promedio	DE	Min	Max
Plomo	6	5,87	5,55	0,50	12,90
Talio	6	2,00	0,00	2,00	2,00
Selenio	6	1,00	0,00	1,00	1,00
Cadmio	6	0,10	0,00	0,10	0,10
Mercurio	6	0,02	0,01	0,01	0,03

Tabla 4.2-59: Concentración de metales en los sedimentos superficiales intermareales de Bahía Algodonales. Verano 2020.

Parámetro	Unidad	PUNTO DE MUESTREO						CCME (2002)	
		SED-01	SED-02	SED-03	SED-04	SED-05	SED-06	ISGQ	PEL
Arsénico	mg/kg	1,12	**198,8**	**195**	**215,5**	**11,81**	**5,01**	7,24	41,6
Cadmio	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	4,2
Cobre	mg/kg	**69,5**	**1784**	**2236**	**3887**	**210,7**	**188,5**	18,7	108
Cromo	mg/kg	23,2	**67,3**	**83,9**	43,9	30,8	13,6	52,3	160
Hierro	mg/kg	25384	102259	103624	92175	50285	33107	(*)	(*)
Manganeso	mg/kg	97	504	501	645	243	187	(*)	(*)
Mercurio	mg/kg	0,03	0,03	0,02	0,02	<0,01	<0,01	0,13	0,7
Molibdeno	mg/kg	5	694	683	621	17	5	(*)	(*)
Níquel	mg/kg	3,2	10,5	12	11,9	11	5,9	(*)	(*)
Plomo	mg/kg	<0,5	12,9	12,4	8,4	<0,5	<0,5	30,2	112
Selenio	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	(*)	(*)
Talio	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2	(*)	(*)
Vanadio	mg/kg	175,1	138,1	155,4	128,1	143,3	94,7	(*)	|
Zinc	mg/kg	18	**1156**	**1277**	**1124**	41	13	124	271

En cuanto a la granulometría de los sedimentos submareales en estudio, se presentan los valores obtenidos en la Tabla 4.2-60 y Figura 4.2-122. El tamaño del grano de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales varía de grava a arena a muy fina, con mayor predominancia de arena fina en los puntos de muestreo TOC-1 a TOC-5, indicando la predominancia de fondo blando. En los puntos de medición TOC-6 y TOC-7 se destaca la presencia de granos más gruesos, con una mayor proporción de arena gruesa, arena muy gruesa y gravas.

Tabla 4.2-60: Granulometría de los sedimentos submareales de Bahía Algodonales, Campaña Verano 2020.

Punto de muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
TOC-1	2,69%	3,26%	7,04%	8,01%	48,64%	29,58%	0,78%
TOC-2	0,00%	0,08%	0,65%	4,11%	74,35%	20,53%	0,28%
TOC-3	0,53%	0,55%	1,49%	9,06%	61,98%	26,16%	0,22%
TOC-4	0,01%	0,24%	0,97%	5,50%	54,08%	38,97%	0,22%
TOC-5	0,35%	1,05%	5,23%	16,93%	56,37%	19,62%	0,45%
TOC-6	25,38%	13,37%	22,70%	26,30%	10,28%	1,81%	0,16%

Punto de muestreo	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
TOC-7	28,16%	38,62%	32,28%	0,63%	0,06%	0,13%	0,13%

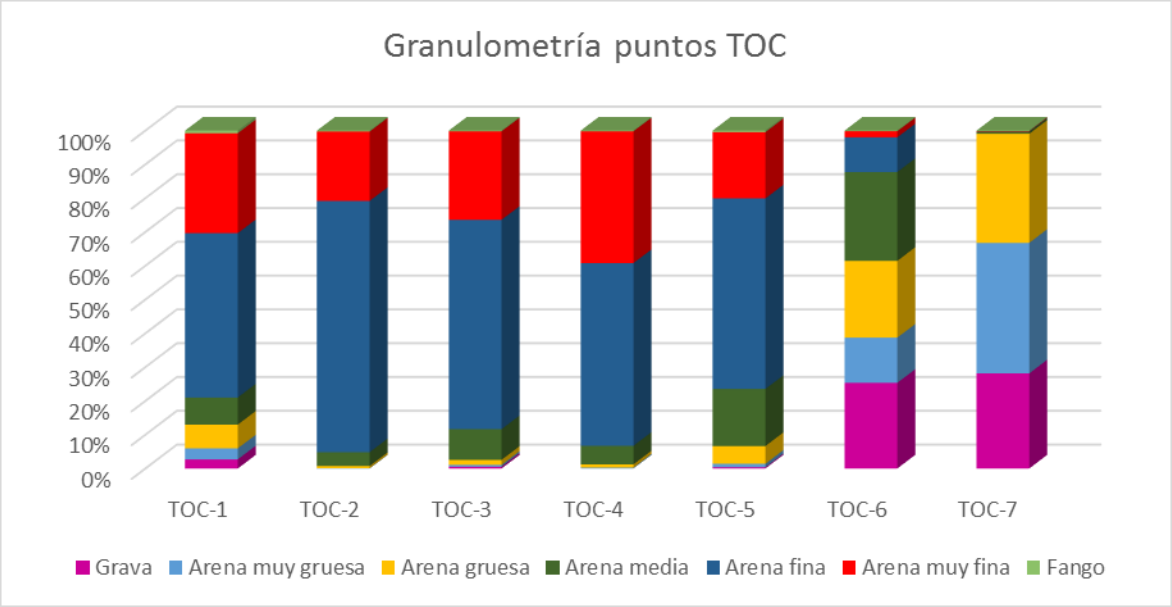


Figura 4.2-165: Granulometría en puntos de medición submareal TOC, Campaña Verano 2020.

En cuanto al contenido de metales en los puntos de medición submareales TOC, la concentración de hierro varió entre 17083,0 mg/kg y 205154,0 mg/kg en TOC-6 (Punta Algodonales) y TOC-2 (caleta duendes), respectivamente. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-61 y Tabla 4.2-62).

La concentración de cobre varió entre 65,5 mg/kg en TOC-1 (Cenizales) y 5325,0 mg/kg en TOC-3 (Emisario Sanitario). Respecto a los valores de concentración en cada punto, a excepción de TOC-1, la concentración a partir de la cual es de esperar con mayor probabilidad la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 108 mg/kg, CCME 2002) fue superada (Tabla 4.2-61 y Tabla 4.2-62). Cabe destacar el alto contenido de cobre encontrado en todos los puntos de muestreo, reflejado en los elevados valores de concentración.

La concentración de zinc varió entre 17,0 mg/kg en TOC-7 (LIPESED) y 3977,0 mg/kg en TOC-2 (Caleta duendes), superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL=271 mg/kg, CCME 2002) específicamente en los puntos TOC-02, TOC-3, TOC-4 y TOC-5 (Tabla 4.2-61 y Tabla 4.2-62). Esta superación de la concentración PEL se mantuvo respecto a los valores encontrados en campañas anteriores.

La concentración de arsénico varió entre 2,48 mg/kg en TOC-1 (caleta vieja, cenizales) y 465, 00 mg/kg en TOC-2, superando la concentración a partir de la cual es de esperar, con mayor probabilidad, la aparición de efectos adversos en la biota (PEL= 41,6 mg/kg, CCME 2002)

principalmente en los puntos TOC-2, TOC -3, TOC -4, TOC-5 y TOC-7 (Tabla 4.2-61 y Tabla 4.2-62).

La concentración de vanadio varió entre 83,90 mg/kg en TOC-6 y 237,70 mg/kg en TOC-3. La normativa no establece límite de referencia (CCME,2002) (Tabla 4.2-61 y Tabla 4.2-62).

La concentración de cromo varió entre 12,00 mg/kg en TOC-7 (LIPESED) y 186,70 mg/kg en TOC-2 (Caleta Duendes). Solo la concentración obtenida en el punto de medición TOC-2 superó el valor de referencia PEL, correspondiente a 160,0 mg/kg (Tabla 4.2-61 y Tabla 4.2-62).

La concentración de plomo varió entre <0,5 mg/kg en los puntos TOC-1, TOC-6 y TOC-7, y 21,20 mg/kg en TOC-2 (caleta Duendes), ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 30,2 mg/kg (Tabla 4.2-61 y Tabla 4.2-62).

Los valores de concentración de cadmio estuvieron bajo el límite de detección en todos los puntos de muestreo submareales, por lo que ningún punto superó el criterio más bajo, ISGQ , correspondiente a 0,7 mg/kg (Tabla 4.2-61 y Tabla 4.2-62).

Tabla 4.2-61: Concentración de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2020

Parámetro	unidad	PUNTO DE MUESTREO							CCME (2002)	
		TOC-01	TOC-02	TOC-03	TOC-04	TOC-05	TOC-06	TOC-07	ISGQ	PEL
Arsénico	mg/kg	2.48	**465.00**	**184.50**	**127.50**	**58.91**	**12.10**	**166.10**	7,24	41,6
Cadmio	mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,7	4,2
Cobre	mg/kg	**65.50**	**3869.00**	**5325.00**	**2814.00**	**871.00**	**280.20**	**4329.00**	18,7	108
Cromo	mg/kg	20.40	**186.70**	**76.70**	**53.90**	50.50	21.80	12.00	52,3	160
Hierro	mg/kg	28020.00	205154.00	105739.00	101776.00	70778.00	17083.00	88582.00	(*)	(*)
Manganeso	mg/kg	82.00	392.00	424.00	512.00	306.00	136.00	103.00	(*)	(*)
Mercurio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.03	0.03	**0.58**	0,13	0,7
Molibdeno	mg/kg	5.00	1058.00	616.00	460.00	188.00	36.00	82.00	(*)	(*)
Níquel	mg/kg	3.10	6.70	25.00	13.90	13.90	19.40	21.60	(*)	(*)
Plomo	mg/kg	<0.5	21.20	9.30	11.60	17.90	<0.5	<0.5	30,2	112
Selenio	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	(*)	(*)
Talio	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	(*)	(*)
Vanadio	mg/kg	183.90	148.90	237.70	155.60	174.70	83.90	168.70	(*)	(*)
Zinc	mg/kg	21.00	**3977.00**	**1463.00**	**914.00**	**575.00**	84.00	17.00	124	271

Luego, considerando las mediciones realizadas en los puntos TOC, se destaca en la bahía que en general los metales con mayor presencia en los sedimentos superficiales intermareales fueron el hierro (86161,71± 57511,59 mg/kg), cobre (2507,67 ± 1956,90 mg/kg) y zinc (1007,29 ± 1310,85 mg/kg). Otro metal con presencia importante en la bahía fue el arsénico, con una concentración promedio de 145,23 mg/kg ± 146,43 mg/kg (Tabla 4.2-62). Espacialmente, las mayores concentraciones se observaron en los puntos ubicados

en caleta duendes (TOC-2), emisario sanitario (TOC-3) y playa/camping (TOC-4), indicando un menor flujo de energía en estos sectores, condiciones que favorecen la depositación.

Tabla 4.2-62 Concentración promedio de metales en los sedimentos submareales de Bahía Algodonales. Verano 2020.

Parámetro	N	Promedio	D.E	MIN	MAX
Hierro	7	88161,71	57511,59	17083,00	205154,00
Cobre	7	2507,67	1956,90	65,50	5325,00
Zinc	7	1007,29	1310,85	17,00	3977,00
Molibdeno	7	349,29	358,53	<5	1058,00
Manganeso	7	279,29	159,93	82,00	512,00
Vanadio	7	164,77	42,55	83,90	237,70
Arsénico	7	145,23	146,43	2,48	465,00
Cromo	7	60,29	55,79	12,00	186,70
Níquel	7	14,80	7,32	3,10	25,00
Plomo	7	8,79	8,03	<0,5	21,20
Talio	7	2,00	0,00	<1	<1
Selenio	7	1,00	0,00	<1	<1
Cadmio	7	0,10	0,00	<0,1	<0,1
Mercurio	7	0,10	0,20	<0,01	0,58

En la Tabla 4.2-63 se adjuntan los valores de concentración de hidrocarburos en sedimentos, tanto en el estrato intermareal (SED-1@6) como en el submareal (TOC-1@7), donde se destaca la baja concentración presente en cada uno de los puntos de muestreo, de manera tal que se encuentran bajo el límite de detección.

Tabla 4.2-63: Concentraciones de hidrocarburos en sedimentos en bahía Algodonales, Tocopilla. Campaña verano 2020.

Punto de muestreo	Hidrocarburos alifáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos aromáticos totales (mg/kg)	Hidrocarburos totales (mg/kg)
SED-01	<9,7	<9,7	<9,7
SED-02	<9,2	<9,2	<9,2
SED-03	<9,7	<9,7	<9,7
SED-04	<9,6	<9,6	<9,6
SED-05	<9,2	<9,2	<9,2
SED-06	<9,5	<9,5	<9,5
TOC-01	<9,5	<9,5	<9,5
TOC-02	<9,3	<9,3	<9,3
TOC-03	<9,6	<9,6	<9,6
TOC-04	<9,6	<9,6	<9,6
TOC-05	<9,8	<9,8	<9,8
TOC-06	<9,5	<9,5	<9,5
TOC-07	<9,5	<9,5	<9,5

4.2.1.4.3 Comunidades planctónicas

x. Fitoplancton

El análisis cualitativo de fitoplancton durante la campaña invernal indicó la presencia de un total de 71 taxa, de los cuales 41 correspondieron al grupo de las diatomeas, 28 taxa al grupo de los dinoflagelados y 3 a grupos menores desde el punto de vista de su representatividad taxonómica (Tabla 4.2-64). La distribución espacial de fitoplancton fue heterogénea entre los puntos de muestreo, registrando índices de abundancia relativa entre "Raro" (R) a "Muy Abundante" (M). Dentro del grupo de las diatomeas se reconocieron 4 taxa que presentaron un índice de abundancia relativa" Muy Abundante" (MA) en toda el área de estudio con una frecuencia de ocurrencia del 100%. En esta condición están los taxa *Chaetoceros* spp., *Coscinodiscus* sp., *Leptocylindrus danicus, Pseudonitzschia* spp*., Rhizosolenia setigera, Thalassionema nitzschioides* . y *Thalassiosira* sp. Asimismo, los taxa de dinoflagelados con muy abundante presencia en todos los puntos prospectados correspondieron a *Tripos fusus*.

Tabla 4.2-64 Índice de Abundancia Relativa (I.A.R.) de la comunidad de fitoplancton obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2020. R: Raro, E: Escaso, A: Abundante, MA: Muy Abundante.

Taxa / Punto de Muestreo	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Diatomeas							
Actinoptychus senarius		R				R	
Asterionellopsis glacialis	A	MA		A			E
Asteromphalus sp.	E	E	R	E	R	E	R
Bacteriastrum furcatum		R					
Bacteriastrum sp.	R						
Chaetoceros constrictus	E	MA		MA			
Chaetoceros curvisetus	MA	MA		A		A	MA
Chaetoceros spp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Chaetoceros teres	R	R				A	
Chaetocerus danicus	MA				MA	MA	MA
Cilindrotheca closterium	MA	MA	MA	MA	MA	MA	A
Corethron criophilum		R			E	E	
Corethron sp.					R		
Coscinodiscus spp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Cymbella sp.	E	E					
Detonula pumila						E	
Entomoneis sp.		E	R	R	E	E	E
Eucampia zodiacus		E	E			E	
Fragilaria sp.		E					
Fragilariopsis doliolus	R	E		R			
Grammatophora marina	R		E				
Guinardia sp.						R	E
Hemiaulus sinensis			E	E	E		R
Hemiaulus sp	E	A	E				
Leptocylindrus danicus	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Licmophora abbreviata						E	
Licmophora sp.		R					
Lithodesmium sp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	

Taxa / Punto de Muestreo	TOC-1	TOC-2	TOC-3	TOC-4	TOC-5	TOC-6	TOC-7
Melosira sp.						E	
Navicula sp.	E	A	E		E	E	E
Nitzschia longissima	MA	MA		R	A	A	MA
Odontella aurita		E	E	E			
Planktoniella sol	E					R	
Pleurosigma directum	E	A		E		E	E
Pseudonitzschia spp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Rhizosolenia alata	R	E		R			E
Rhizosolenia setigera	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Tabellaria sp.	E	E					E
Thalassionema nitzschioides	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Thalassionema sp.					E	E	
Thalassiosira sp.	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Dinoflagelados							
Chatonella sp					R	R	
Dinophysis caudata	E	R	R			E	E
Dinophysis sp.							R
Displopsalis sp					R		
Gymnodinium sanguineum	R	A	E	MA	MA		E
Gymnodinium spp.		A	MA	MA	MA	E	E
Podolampas palmipes	R						
Polykrikos sp		R			E	R	R
Prorocentrum gracile			R				R
Prorocentrum sp.					R		
Protoperidinium claudicans			E	R		R	
Protoperidinium conicum	R	E	E	E	A	E	E
Protoperidinium depressum	E	E	R	E	E	E	
Protoperidinium oblongum	E	E	E	E	E	E	E
Protoperidinium oceanicum	R						
Protoperidinium pellucidum					R		
Protoperidinium spp.	A	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Protoperidinium steinii			R				E
Pyrophacus sp.	E	E	E	E	E	E	E
Scrippsiella sp				R			
Tripos balechii	R	E	MA	E	MA	E	E
Tripos furca	E	E	A	E	E	A	A
Tripos fusus	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Tripos horridum	E	A			E	R	
Tripos limulus		R				E	
Tripos muelleri	A	MA	E	E	E	E	E
Tripos sp.			R		R		
Tripos spp.		E					
Silicoflagelados							
Dictyocha speculum		R					
Octatis octonaria	E	E	R	E	R	E	E

En el análisis cuantitativo de fitoplancton se registró un total de 86 taxa, de los cuales 46 taxa pertenecen al grupo de las diatomeas, 37 taxa al grupo de los dinoflagelados y el resto a otros grupos de menor representación taxonómica. No se observa un patrón espacial en particular (Figura 4.2-166a).

La abundancia de fitoplancton, en general, registró las mayores magnitudes en el sector norte del área de estudio (TOC-1), con mayores abundancias en general en el sector superficial (Figura 4.2-166b).

Entre las microalgas identificadas, la diatomea *Chaetoceros sp.* registró las mayores abundancias en casi toda el área de estudio, tanto en el estrato superficial (Figura 4.2-167) como en el de fondo (Figura 4.2-168). En el estrato superficial y fondo del punto de muestreo localizado al norte (TOC-1) *Pseudonitzschia* sp. representaron los géneros a continuación abundantes.

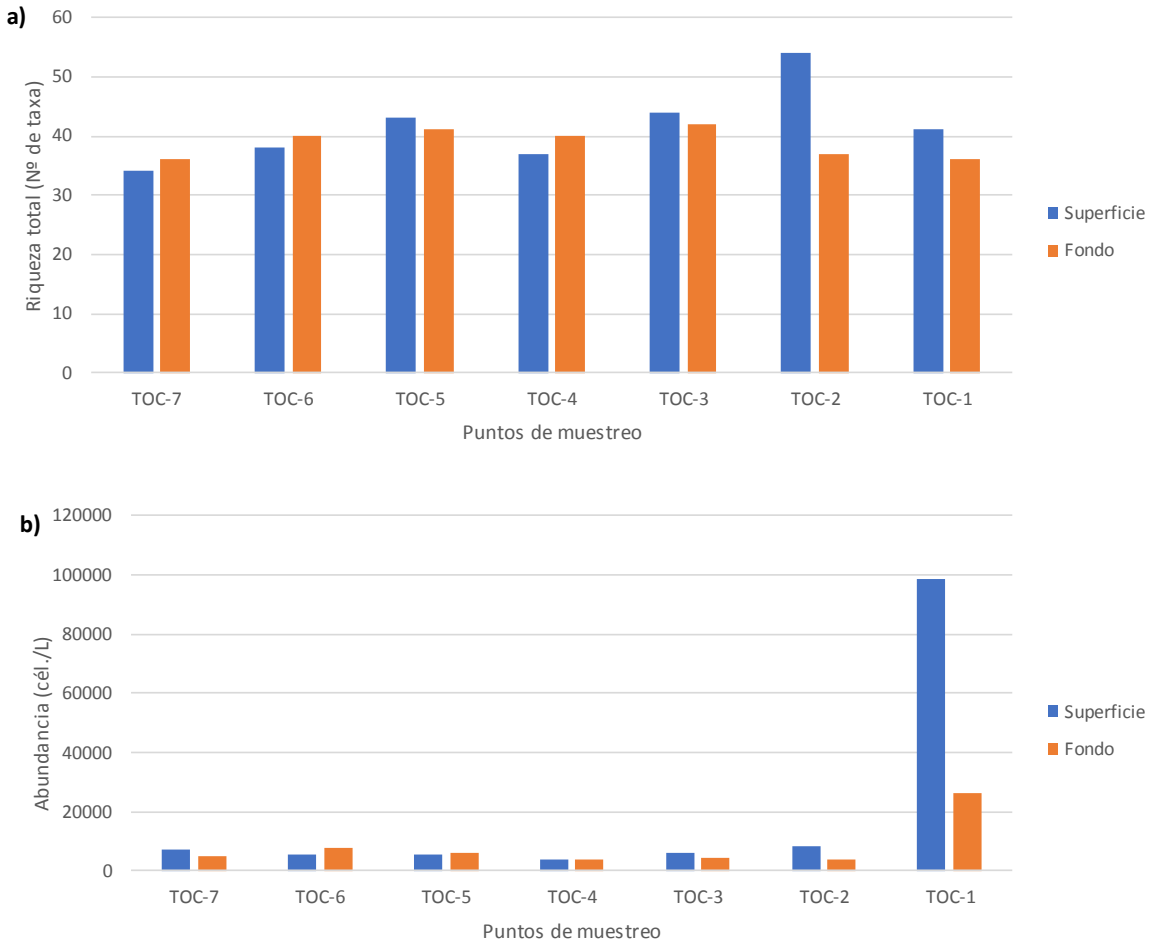


Figura 4.2-166 a) Riqueza y (b) Abundancia del Fitoplancton en dos estratos de la columna de agua (Superficie y Fondo). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2020.

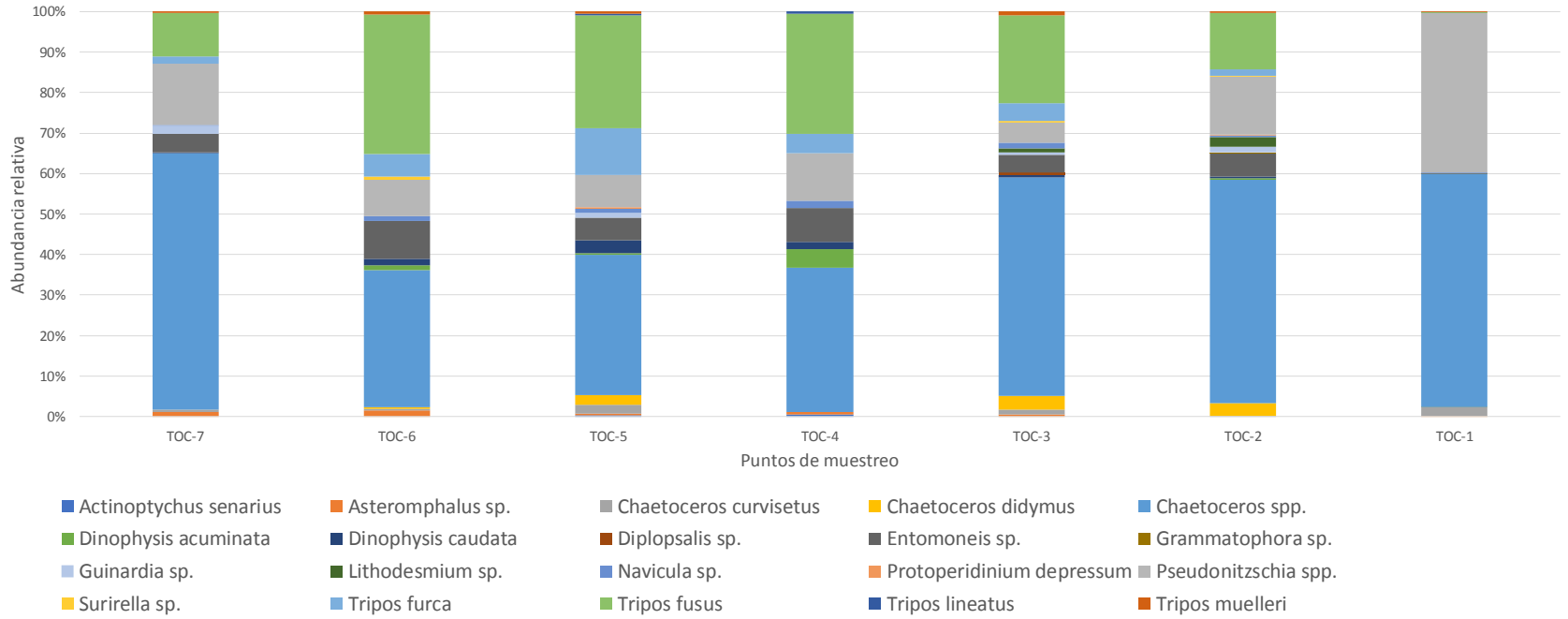


Figura 4.2-167 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato superficial de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2020.

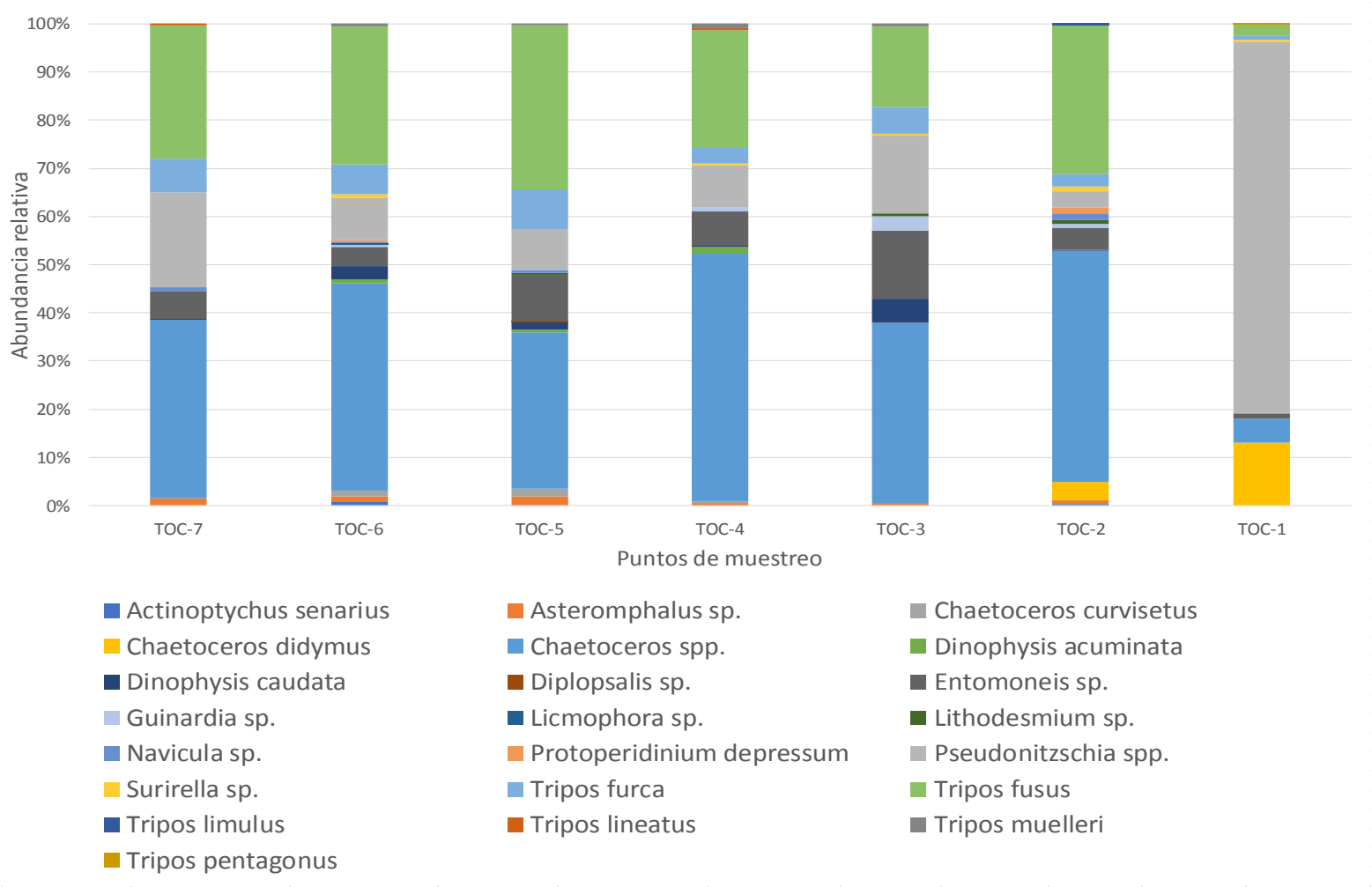


Figura 4.2-168 Abundancia relativa del Fitoplancton en el estrato fondo de la columna de agua. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2020.

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable entre los puntos de muestreo y homogéneo entre estratos. Se puede observar que la estación que presentó el menor valor de diversidad fue (TOC-1), para ambos estratos. En cuanto al índice de equidad (J'), se observó que la mayoría de los puntos y estratos presentaron valores sobre los 0,5 bits. Siendo la estación TOC-1, la que presentó el menor valor promedio, esto influido por la presencia de *Chaetoceros sp*. Sin embargo, los valores obtenidos nos indican que en general el ensamble fitoplanctónico presenta una alta diversidad en toda el área de estudio (Figura 4.2-169).

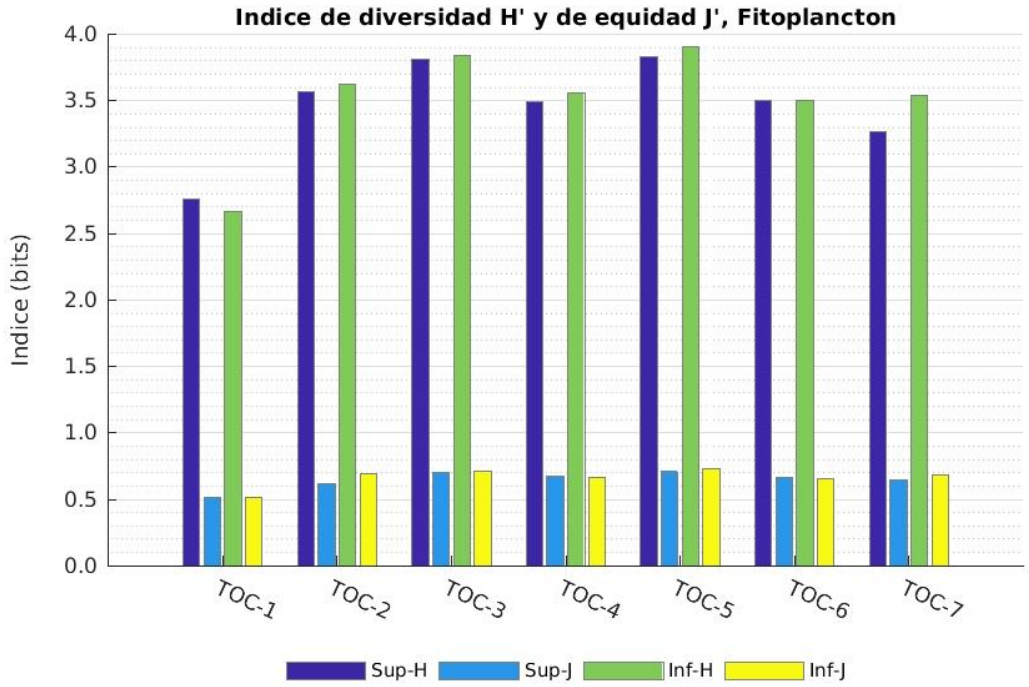


Figura 4.2-169: Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades fitoplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de fitoplancton, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-170). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fitoplancton, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,65 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que las diatomeas Chaetoceros spp. y *Thalassionema nitzschioides* fueron las especies que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

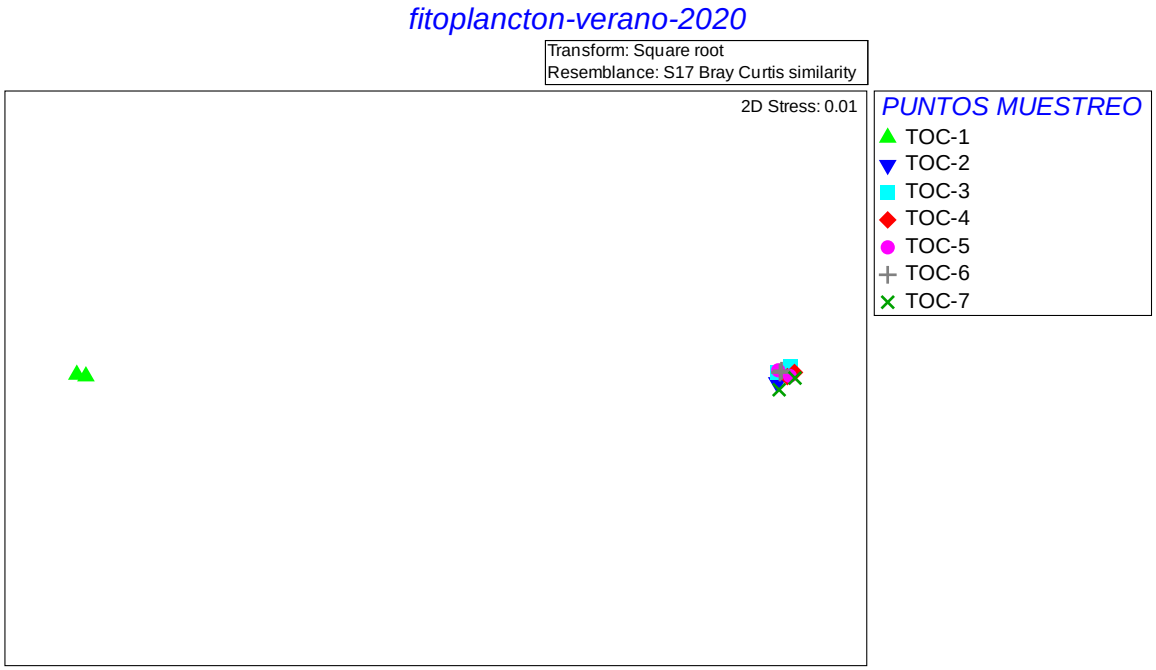


Figura 4.2-170 Análisis Escalamiento Multidimensional de fitoplancton, entre siete puntos de muestreo durante verano 2020.

xi. Zooplancton

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

El Meroplancton registró 57 taxa, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de la bahía algodonales, presentando mayor riqueza en el sector norte, equivalente a 8 taxa, entre los puntos de muestreo TOC-1 y TOC-3. El punto con menor riqueza corresponde al punto TOC-4, el cual registró 4 taxa (Figura 4.2-171a). En cuanto a la abundancia (Figura 4.2-171b), se observa que esta es uniforme en la zona centro-sur, entre los puntos TOC-4 y TOC-7, con densidades entre los 130 y 200 ind/m^3, mientras que la zona norte, presenta mayor densidad, de entre 210 hasta 600 individuos/m^3, este último para el sector de casas viejas correspondiente al punto TOC-1.

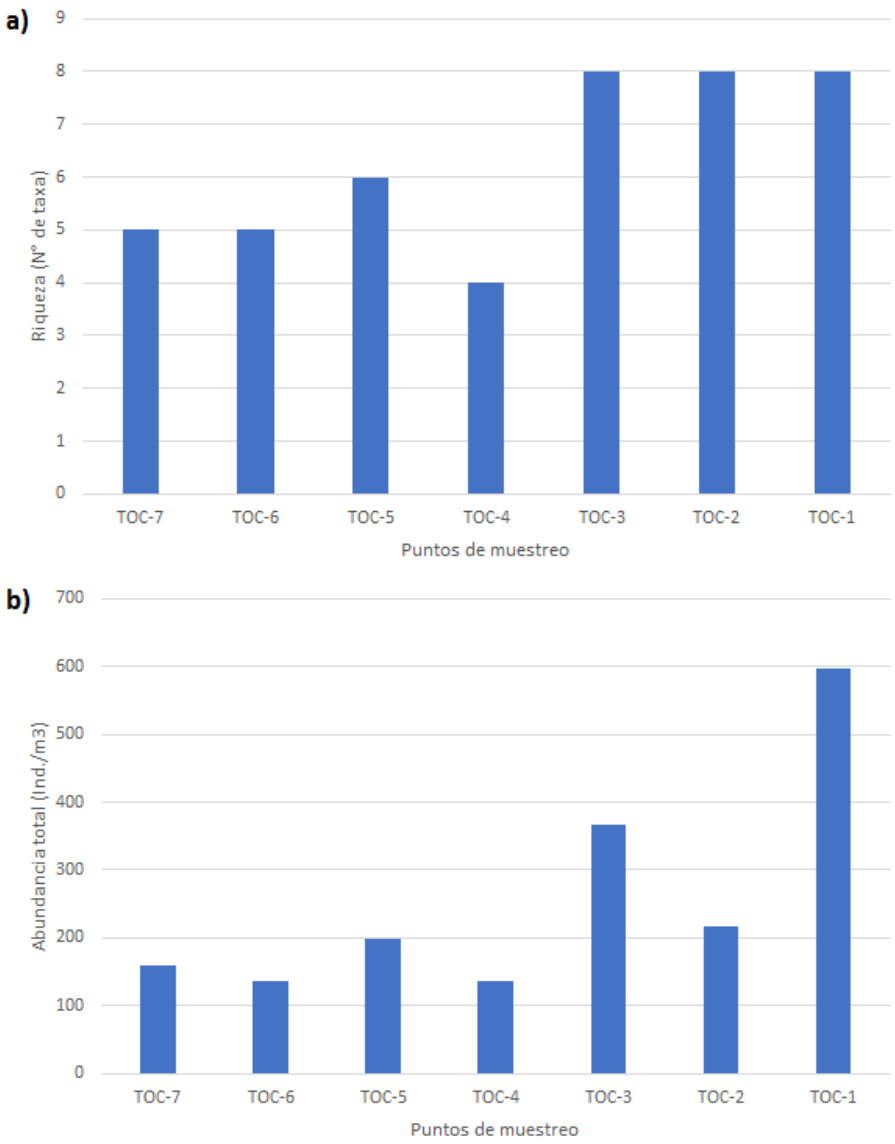


Figura 4.2-171: (a)Riqueza y (b) Abundancia del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de Verano 2020.

La composición de taxa en el meroplancton, indica una mayor proporción de estadios ontogénicos tempranos de bivalvos en el sector norte del área de estudio (TOC-2 y TOC-3), situación que migra hacia una mayor dominancia de larvas de poliquetos desde la estación TOC-4 a TOC-7. Cabe destacar, que los estadios larvales de cirripedios, poliquetos y bivalvos se presentaron en toda el área de estudio. (Figura 4.2-172).

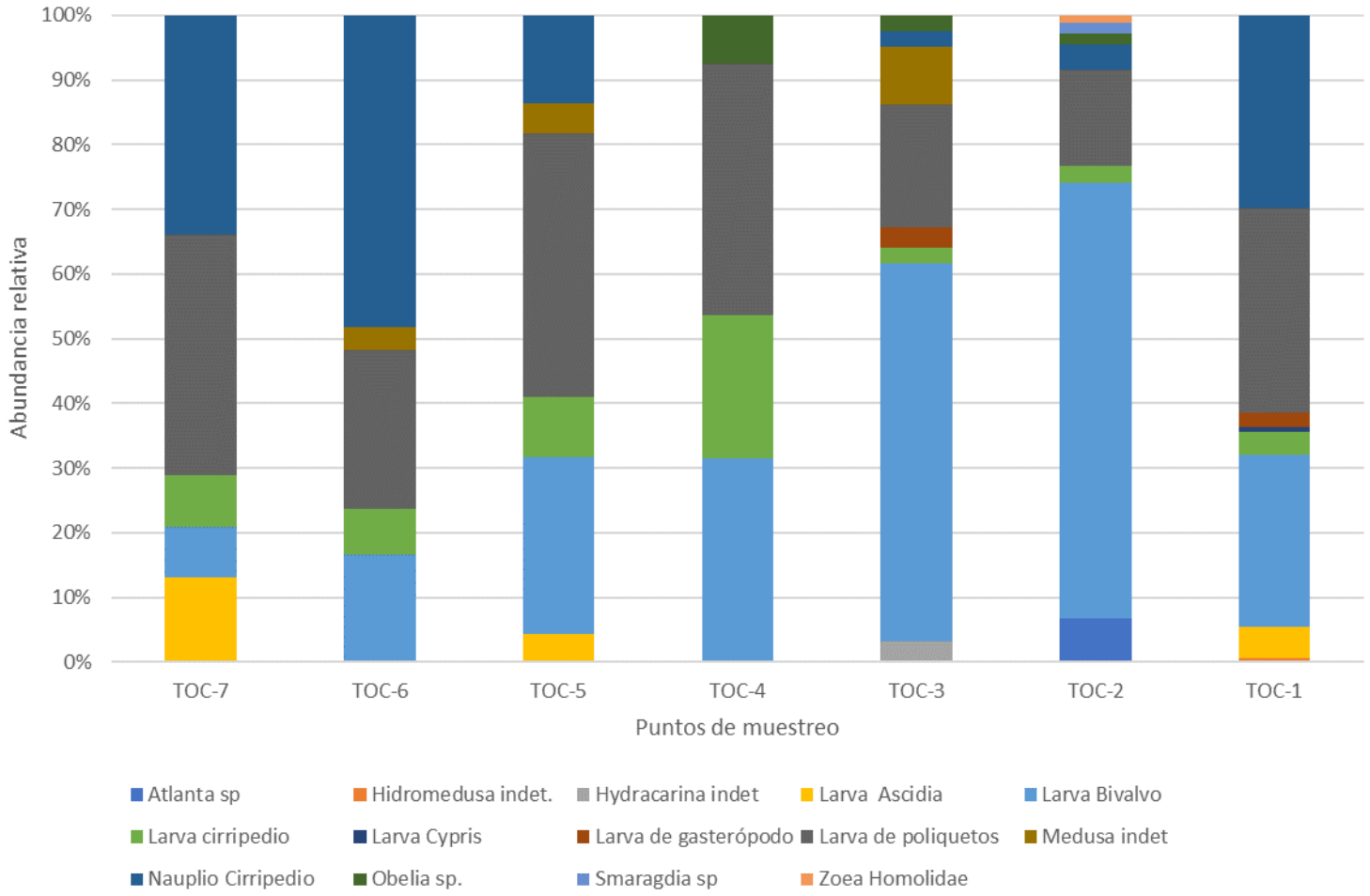


Figura 4.2-172: Abundancia Relativa (%) del Meroplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2020.

En cambio, el Holoplancton registró 58 taxa, distribuido en 13 Phylum o clases. A nivel espacial, según lo presentado en la Figura 4.2-173a, las mayores riquezas se observaron en los extremos norte (TOC-1 y TOC-2) y sur (TOC-7), con riqueza de hasta 16 taxa, mientras que la menor riqueza se observó en el punto TOC-3, con 9 taxa.

Respecto a la abundancia, presentada en la Figura 4.2-173b, se observa una menor abundancia de individuos en el sector norte (TOC-1 y TOC-2), cuya densidad oscila entre los 400 y 550 ind/m^3. En cambio, la zona centro sur, desde TOC-3 a TOC-7, presenta mayor abundancia, con densidades desde los 1.000 hasta los 2.200 ind/m^3, observándose el máximo en el punto TOC-5.Figura 4.2-121

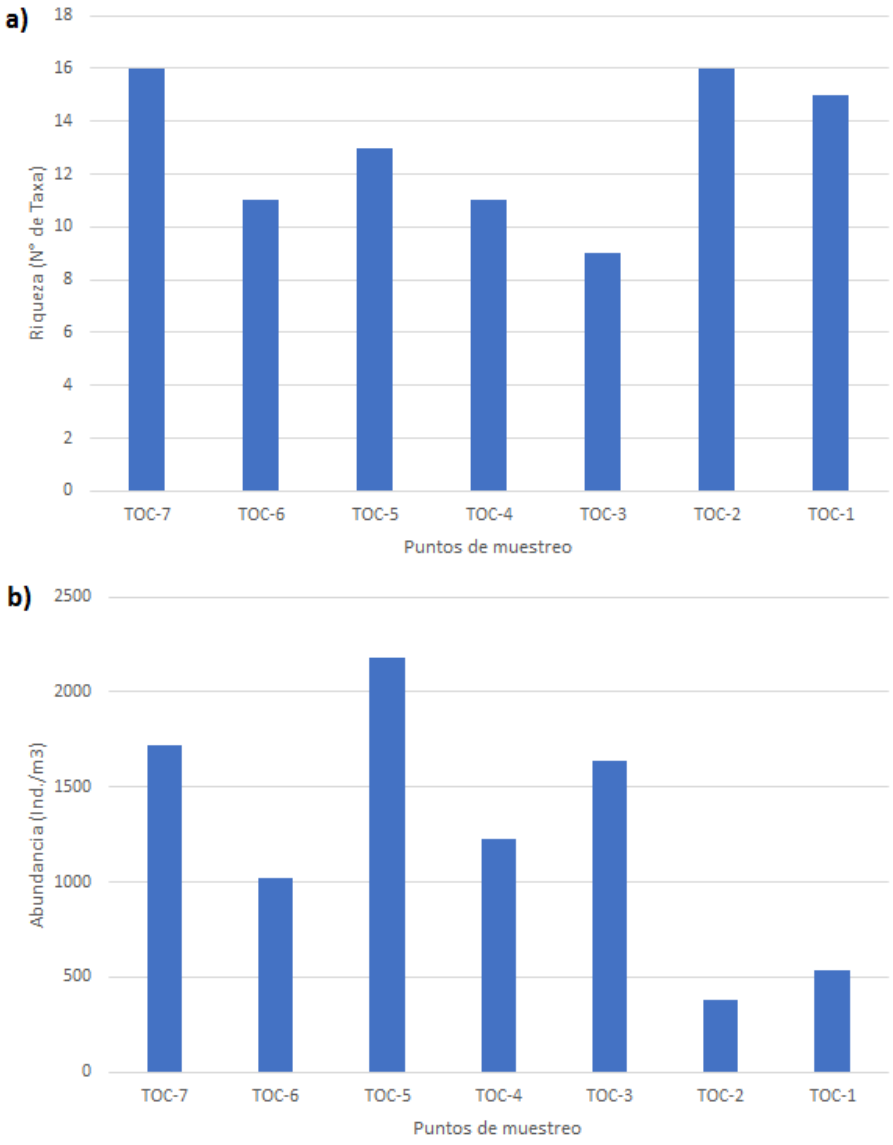


Figura 4.2-173 a) Riqueza y (b) Abundancia del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de Verano 2020.

Con relación a la composición de taxa del Holoplancton, presenta un patrón heterogéneo en el área de estudio. Sin embargo, destaca la presencia de Tintínidos entre las estaciones TOC-3 y TOC-7, presentando una abundancia relativa superior al 30 % para todas las estaciones mencionadas. Además, destaca la presencia de Nauplios de copépodos en las estaciones TOC-6 y TOC-7, con abundancia relativa superior al 40 % para ambos casos (Figura 4.2-175).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde en general se presentaron valores sobre los 2 bits (excepto TOC-3). El mayor valor se registró en el extremo norte del área de estudio (TOC-1). En cuanto al índice de equidad (J'), registró valores sobre 0,5 bits en todos los puntos. Esto indica que el ensamble presentó una alta diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa (Figura 4.2-174).

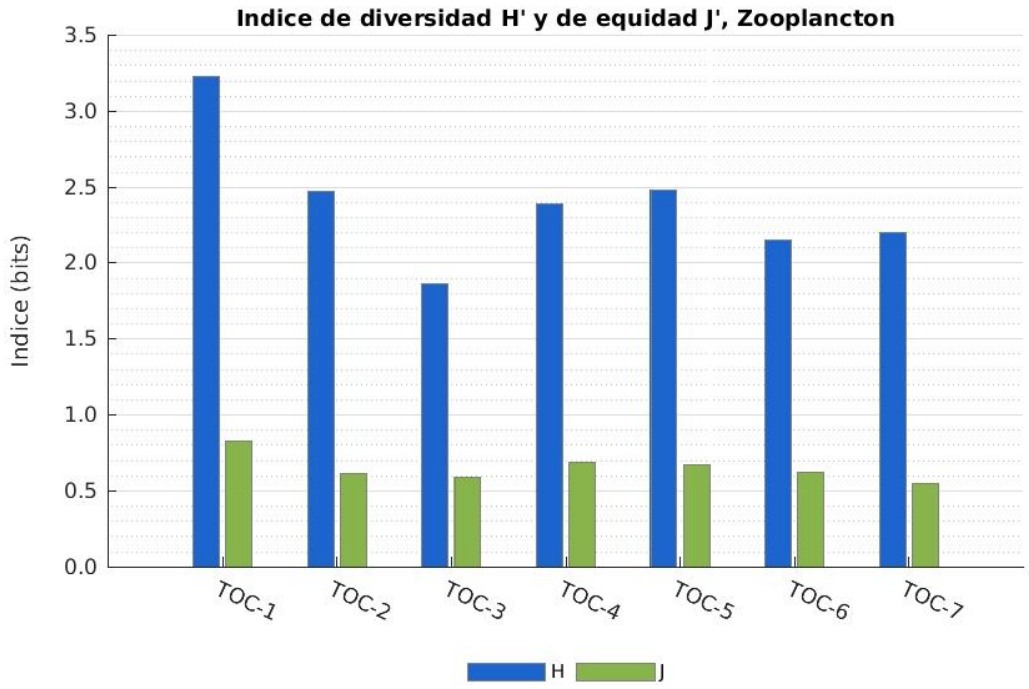


Figura 4.2-174 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades zooplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

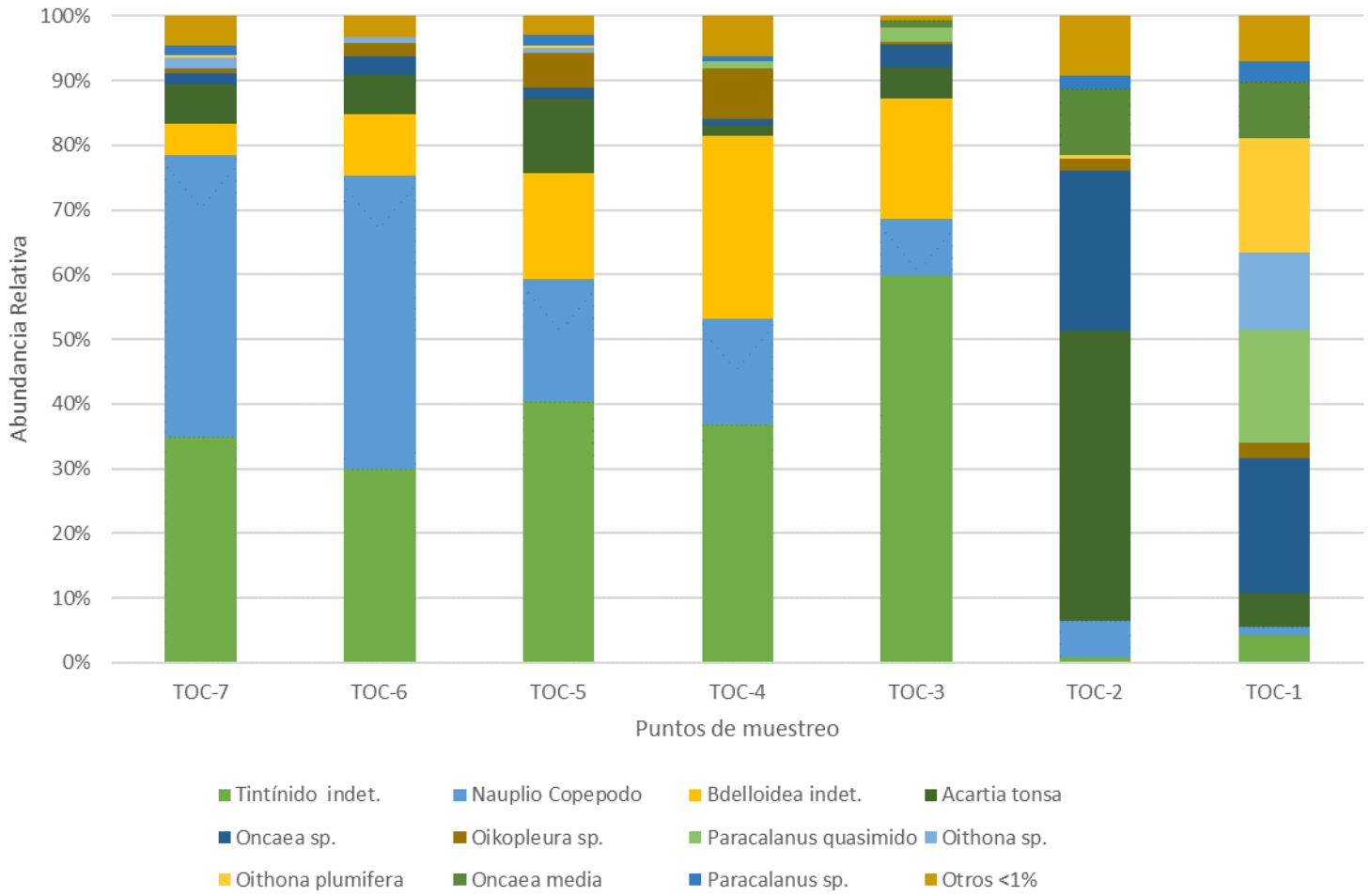


Figura 4.2-175: Relativa (%) del Holoplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de Verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de zooplancton, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2 106). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de zooplancton, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,701 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que Tintinido indet. y el copépodo *Acartia tonsa* fueron las especies que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

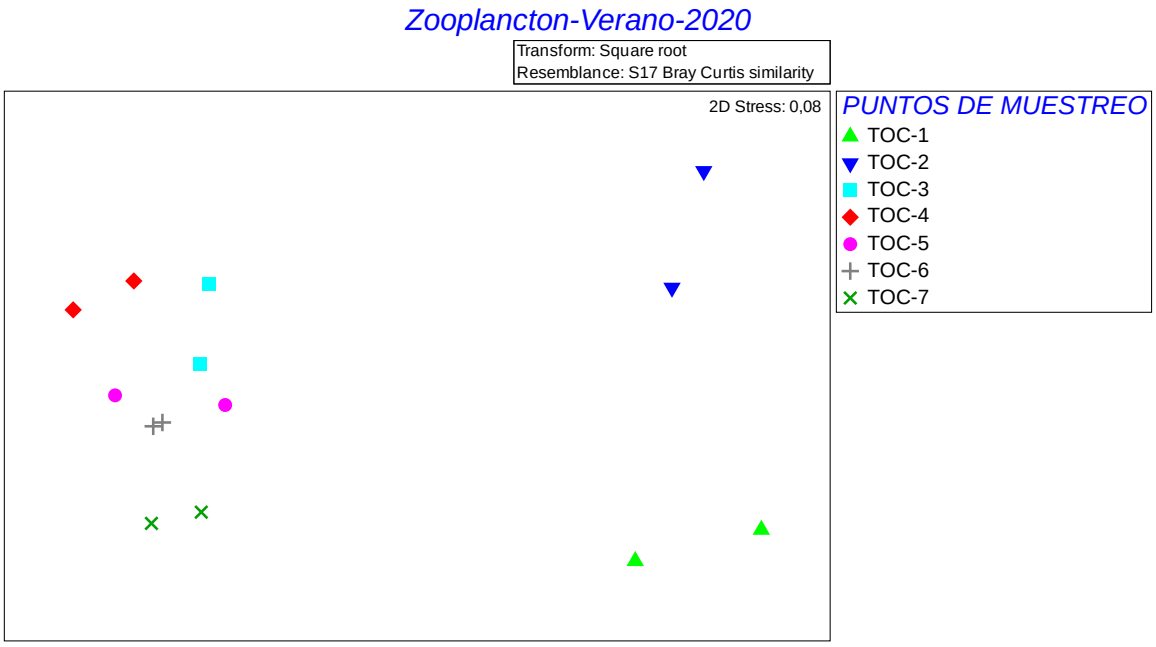


Figura 4.2-176 Análisis Escalamiento Multidimensional de zooplancton, entre siete puntos de muestreo durante verano 2020.

xii. Ictioplancton

El ictioplancton alcanzó valores discretos durante la campaña estival, alcanzando una riqueza total de 2 taxa. La riqueza total en el área de estudio presentó valores dispares entre los escasos puntos de muestreo donde se reconoció la presencia de ictioplancton, conformado exclusivamente por huevos (Figura 4.2-178a). La abundancia de huevos fue baja en toda el área de estudio. Sin embargo, el mayor valor se registró en la estación TOC-1 con 0,008 Ind/m^3, valor muy inferior a lo registrado en las campañas realizadas previamente. (Figura 4.2-178b).

Para determinar la dominancia de organismos del ictioplancton en el área de estudio, se consideraron todos los taxa registrados durante la campaña actual. El Pampanito (*Stromateus stellatus*) y la Anchoveta (*Engraulis ringens*) dominaron en los escasos puntos de muestreo donde se reconocieron representantes de esta fracción del zooplancton (Figura 4.2-177).

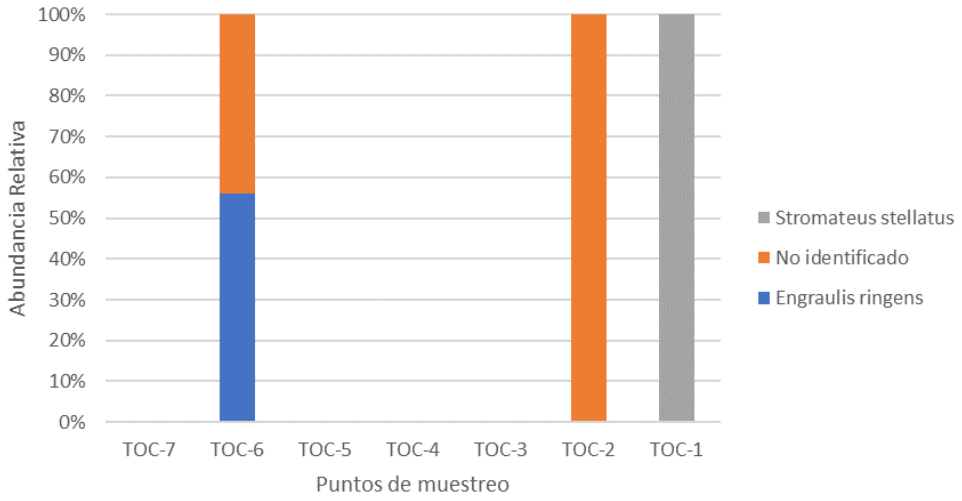


Figura 4.2-177: Abundancia Relativa (%) de la porción de Huevos del ictioplancton. Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2020.

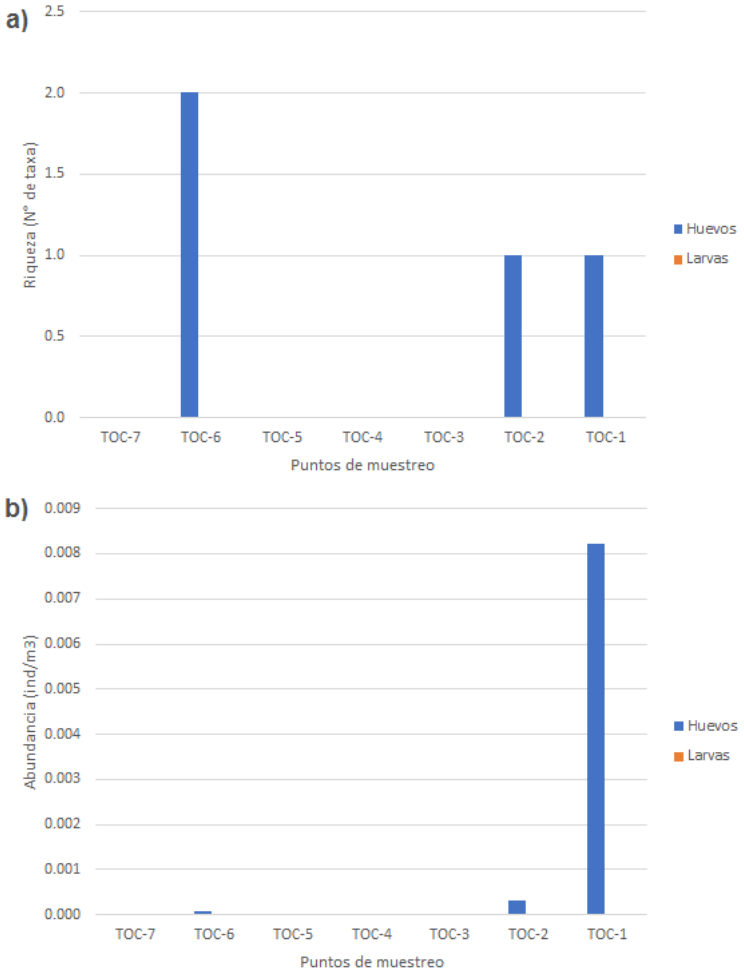


Figura 4.2-178: a) Riqueza y (b) Abundancia del ictioplancton (Huevos y Larvas). Valores obtenidos en Bahía Algodonales. Campaña de verano 2020.

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y de equidad (J') en comunidades ictioplanctónicas para la campaña verano 2020, debido al escaso número de capturas, sólo pudo ser calculado en la estación TOC-6, donde se presentó una baja diversidad y distribución homogénea de individuos (1 bit para ambos índices) (Figura 4.2-179).

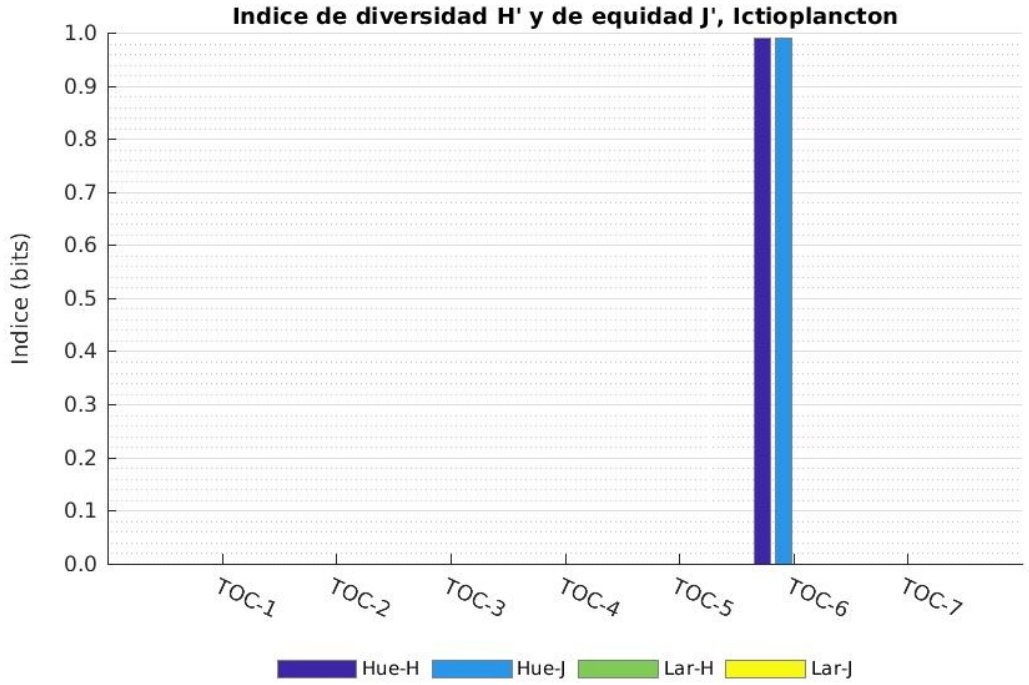


Figura 4.2-179: Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades ictioplanctónicas en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

4.2.1.4.4 Comunidades bentónicas submareal blando

Los ensambles de macroinfauna submareal prospectados durante las campañas de monitoreo registraron 13 clases identificando 54 taxas distribuidas a lo largo de la bahía. En relación a la riqueza, presentada en la Figura 4.2-180a, se observan 3 zonas de interés, la primera, definida entre los puntos TOC-4 y TOC-7, que presentan una riqueza intermedia, entre 6 y 10 taxa, una segunda zona de baja riqueza dada por el punto TOC-2 y TOC-3, que registra 2 taxa, y una tercera zona, definida por el punto TOC-1, que presenta la mayor riqueza observada en la bahía con 16 taxa.

Con respecto a la densidad de individuos, se observa que esta es particularmente alta en el punto TOC-5, donde se registran valores de hasta 2.500 ind/m^3, mientras que, para el resto de los puntos, se observan densidades que oscilan entre los 20 y 270 ind/m^3. Finalmente, la biomasa presenta una distribución no uniforme a lo largo de la bahía, de modo que se observan 2 zonas de interés entre los puntos TOC-7 y TOC-5, y entre los puntos TOC-4 y

TOC-1. En la primera, se observa un aumento de biomasa de sur a norte presentando valores entre los 0,15 y 0,4 g/m^2, mientras que, en la segunda, se observa un aumento de biomasa de sur a norte presentando valores entre los 0,02 y 0,23 g/m^2, de modo que, en comparación, la primera zona de interés acumula más biomasa que la segunda.

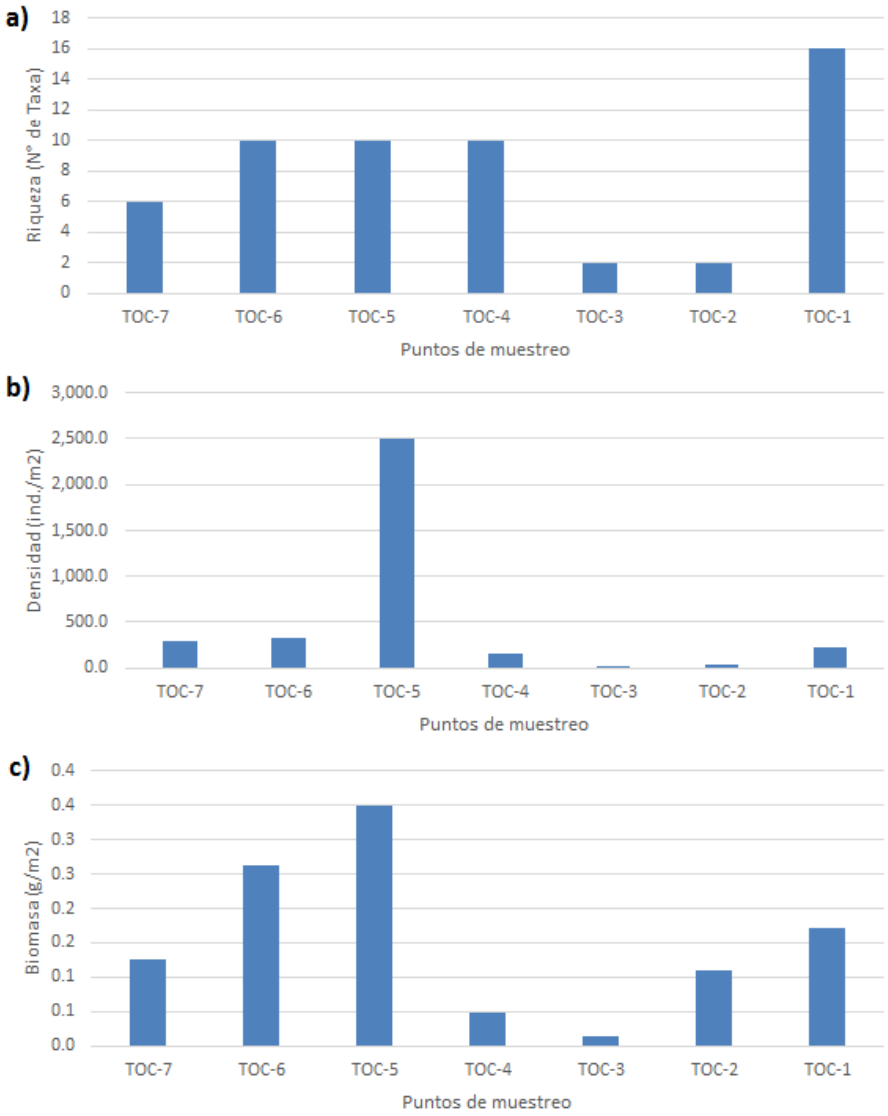


Figura 4.2-180: Riqueza (a), Densidad (b) y Biomasa (c) de ensambles de macroinfauna submareal presentes en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

Con relación a las abundancias relativas estimadas en el ensamble prospectado, los resultados se condicen con la riqueza de individuos reportada para el área de estudio. Donde, la zona de baja riqueza de los puntos TOC-2 y TOC-3, presenta dominancia monoespecífica de gusanos poliquetos carnívoros (*Nephtys sp*.) para la estación TOC-2 y el Isópodo *Edotia dahli* para la estación TOC-3. La zona de riqueza intermedia entre las

estaciones TOC-4 y TOC-7 presenta la dominancia de gusanos poliquetos depositívoros (Familia Spionidae, TOC-4 a TOC-6) y gusanos poliquetos carnívoros (*Glycera sp*, TOC- 7) (Figura 4.2-182).

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue altamente variable en los puntos de muestreo, presentando valores cercanos a los 0 bits en las estaciones TOC-2 y TOC-3 y variable en el resto de las estaciones de muestreo, con un valor superior a los 2,5 bits registrado en la estación TOC-1. En cuanto al índice de equidad (J') los puntos TOC-2, TOC-3 y TOC-5 presentaron valores cercanos a 0 bits, lo que indica la presencia de los grupos dominantes. En cambio, el resto de las estaciones de muestreo presentan valores variables, lo que indica que existe una distribución heterogénea de especies y dominancias a lo largo de la bahía (Figura 4.2-181).

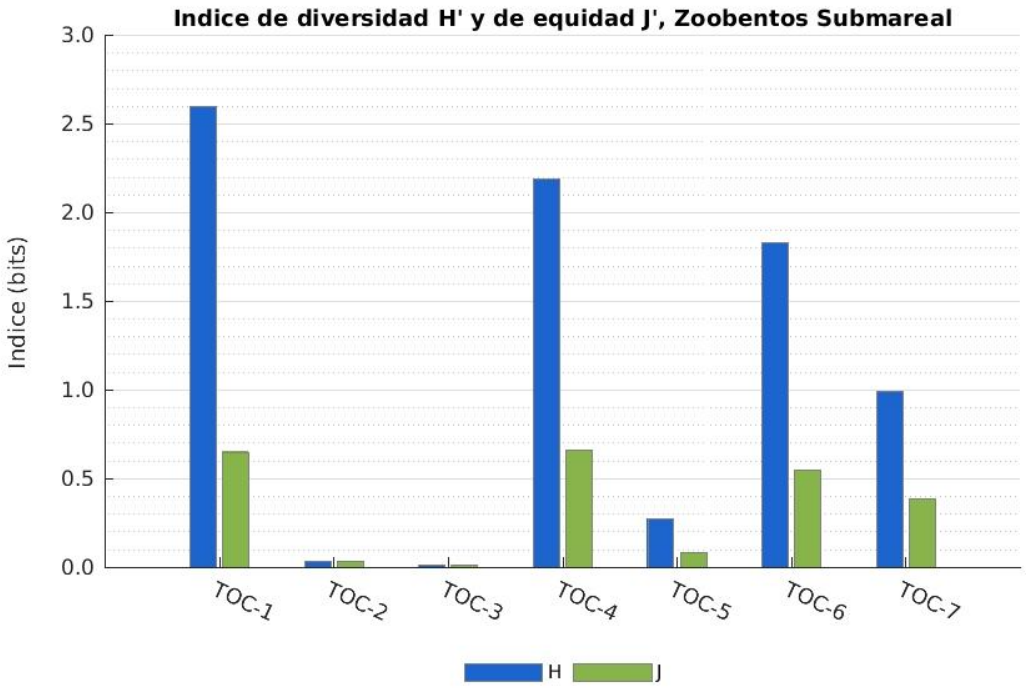


Figura 4.2-181: Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

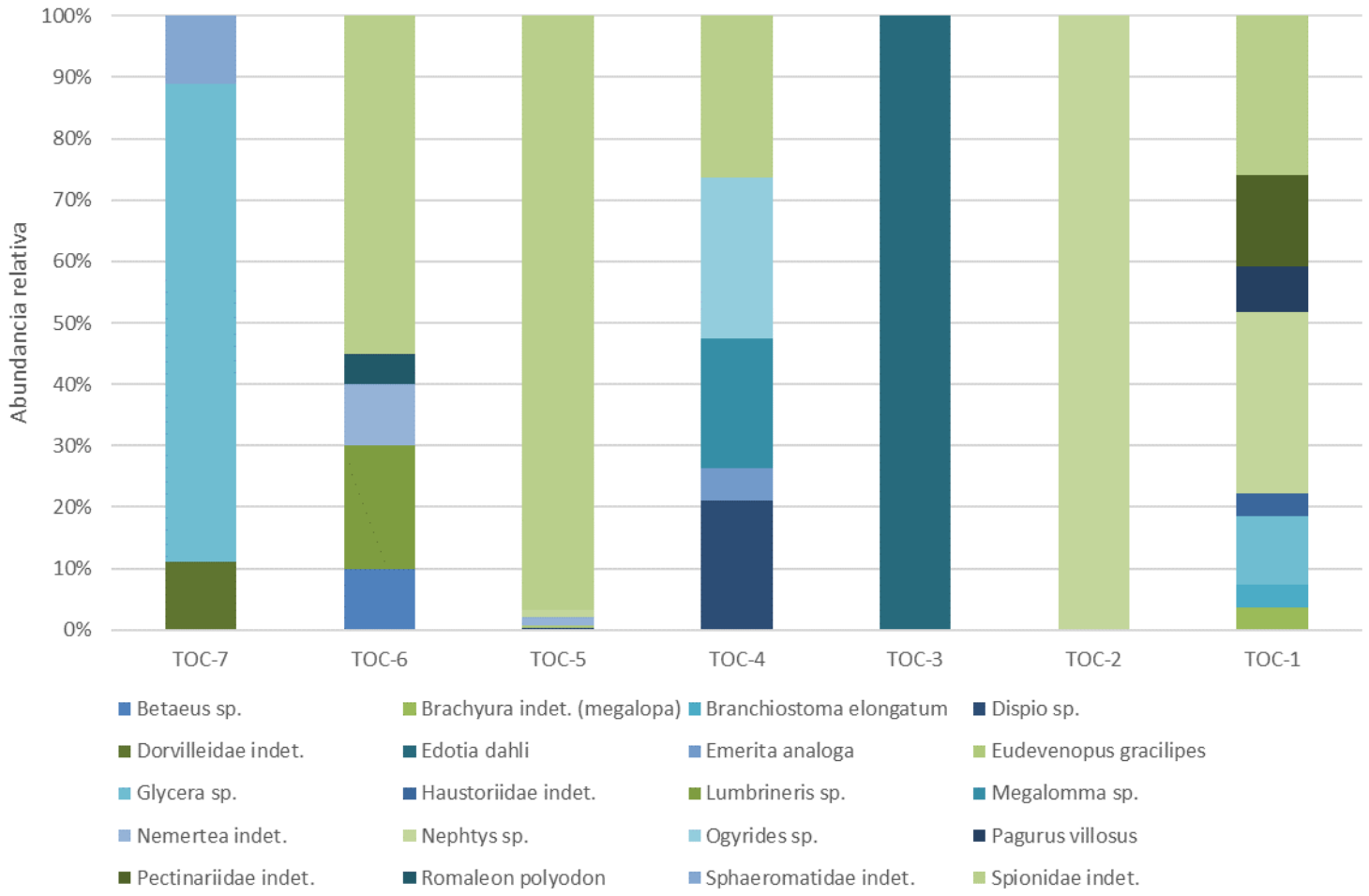


Figura 4.2-182: Abundancia relativa de ensambles de macroinfauna submareal presente en área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien heterogénea de las comunidades bentónicas del submareal de fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-183). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos submareal, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,854 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el grupo Spionidae indet. fue el taxón que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

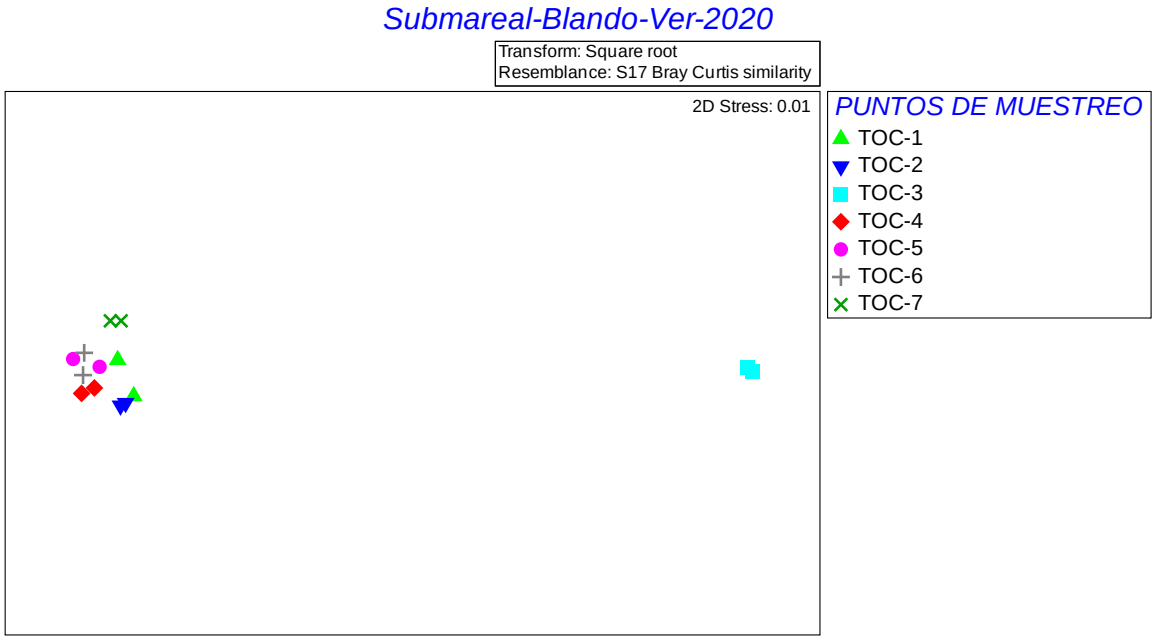


Figura 4.2-183 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos submareal blando, entre los siete puntos de muestreo evaluado durante verano 2020.

La Figura 4.2-184 muestra la relación comparativa entre las curvas de k-dominancia de abundancia y biomasa estimada para los ensambles completos de invertebrados bentónicos de sustrato blando muestreados en los puntos de muestreo distribuidos en el área de interés, durante la campaña estival de 2020. De los siete puntos visitados solamente los puntos localizados fuera de bahía Algodonales (puntos TOC-1, TOC-6 y TOC-7) presentaron una relación entre ambas curvas propio de ensambles no perturbados, donde la curva de k-dominancia de biomasa se sitúa por sobre la de abundancia y donde el estadígrafo W alcanzó valores positivos distintos de 0, según consignan distintos autores que han utilizado el método (Warwick 1986, 1988; Gray et al. 1988, Carrasco & Gallardo 1989, Grizzle & Penniman 1991). En contraste a esta condición, el punto de muestreo TOC-5, localizado en el interior de la bahía a la cuadra de ciudad de Tocopilla, presentó una relación entre ambas curvas propia de ensambles perturbados, donde la curva de k-dominancia de abundancia se sitúa sobre la de biomasa y el estadígrafo W alcanza valores negativos. En tanto, en otro de los puntos localizados en Bahía Algodonales (TOC-4) la relación entre ambas curvas es homologable a una condición de perturbación moderada, donde ambas curvas de k-

dominancia tienden a coincidir o entrecruzarse y donde el estadígrafo W alcanza valores positivos cercanos a 0. Por otra parte, se constató que en los puntos de muestreo TOC-2 y TOC-3, no se detectó la presencia de invertebrados lo que impidió la ejecución del análisis.

Tal como se ha expresado en párrafos anteriores, considerando la naturaleza más sensitiva del grupo de gusanos poliquetos a fenómenos de perturbación (Warwick & Clarke 1994), se configuraron las curvas ABC considerando sólo el grupo de los gusanos poliquetos, con el objeto de ponderar de manera complementaria los resultados del presente análisis. Así, se ratificó la condición de no perturbación de los ensambles de gusanos poliquetos provenientes de los puntos TOC-1, TOC-6 y TOC-7. A este grupo de puntos se debe añadir el ensamble de gusanos poliquetos provenientes del punto TOC-4, los que asimismo presentaron una relación entre ambas curvas de k-dominancia propio de ensambles no perturbados. Asimismo, el análisis efectuado al grupo de gusanos provenientes del punto TOC-5 ratificó su condición de perturbación. En tanto, la ausencia de gusanos poliquetos en los puntos de muestreo TOC-2 y TOC-3 impidieron el desarrollo del análisis (Figura 4.2-185).

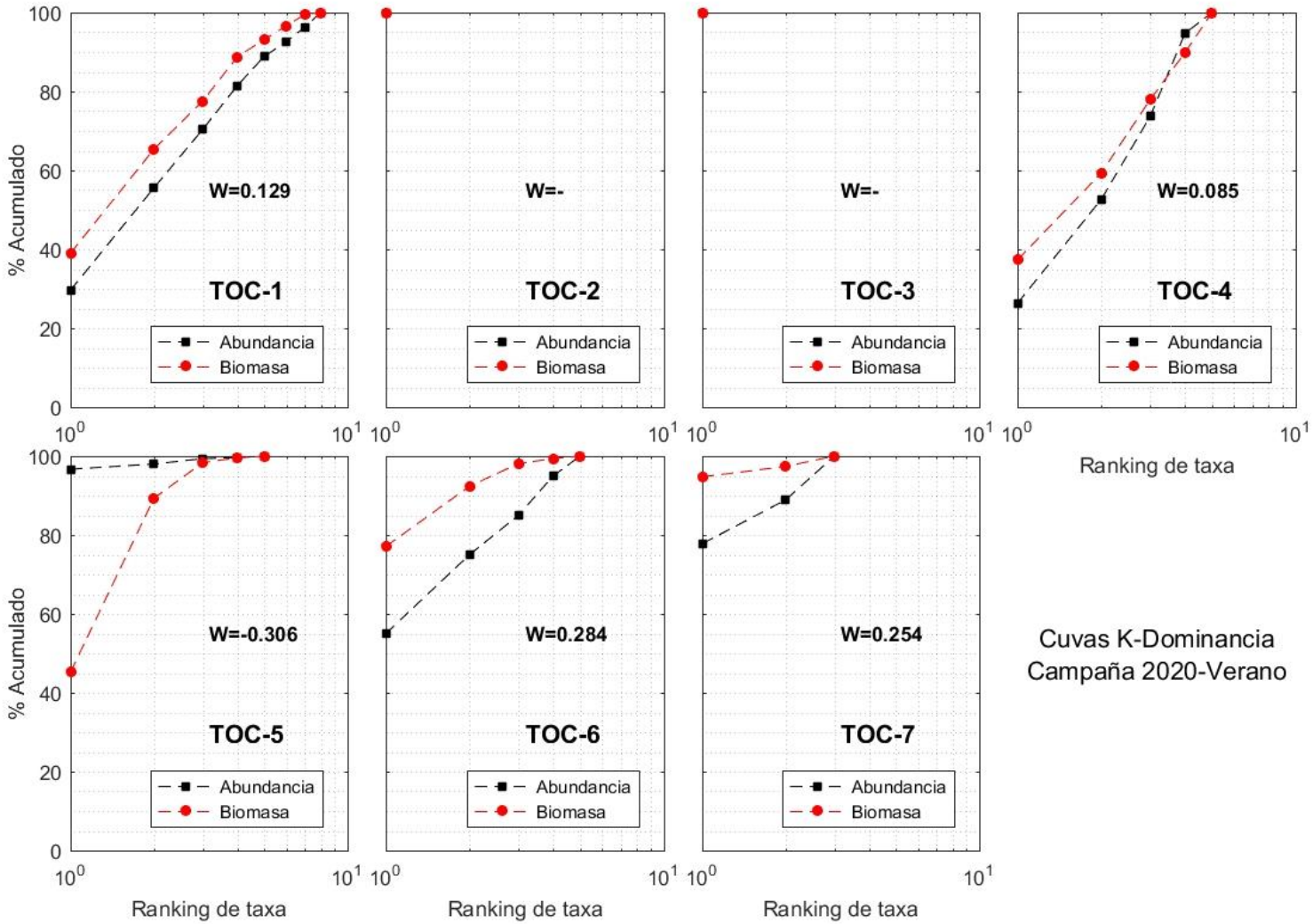


Figura 4.2-184: Curvas K-Dominancia de comunidades bentónicas de submareal blando, campaña de verano 2020.

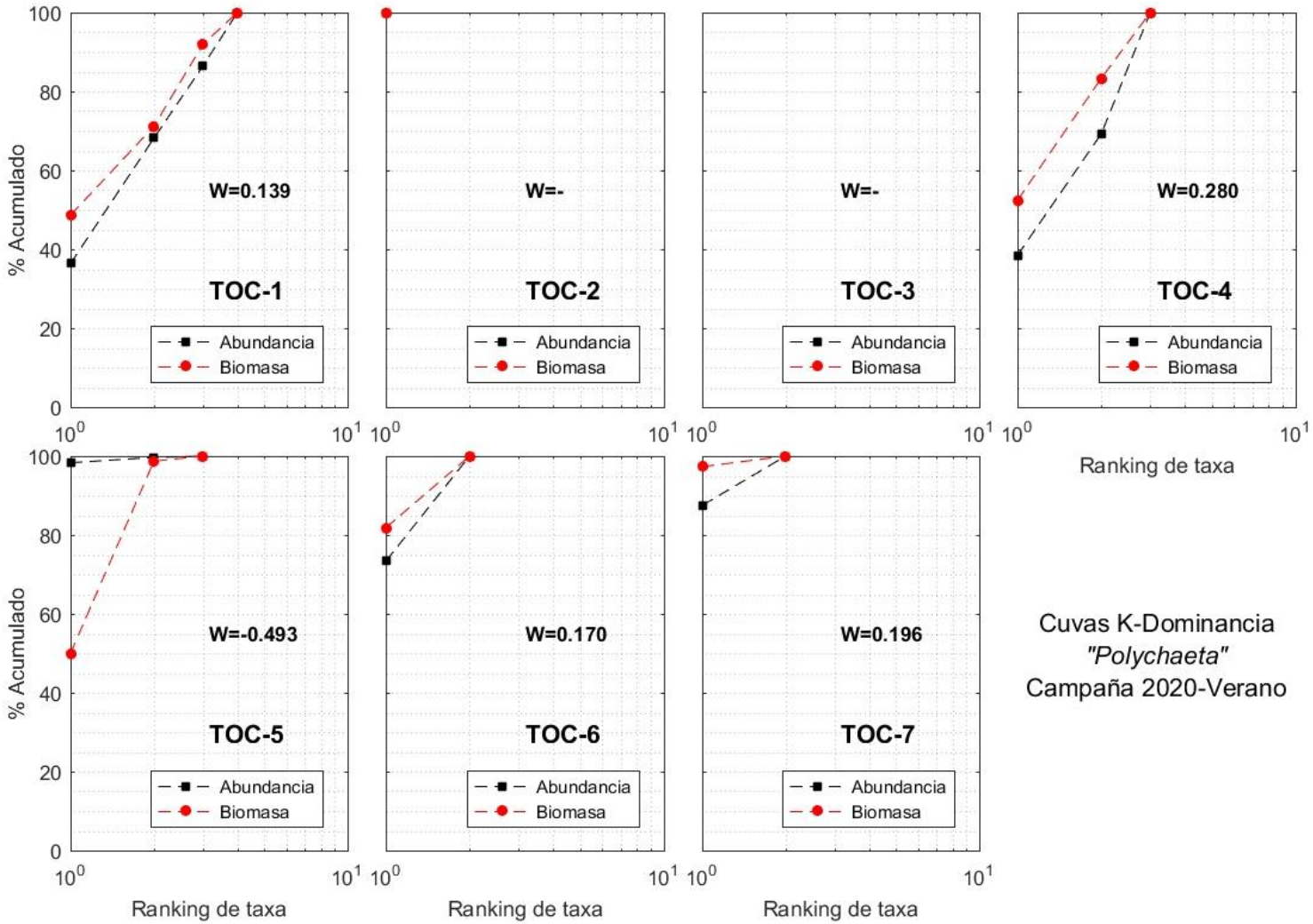


Figura 4.2-185: Curvas K-Dominancia de *Polychaeta* de submareal blando, campaña de verano 2020.

4.2.1.4.5 Comunidades bentónicas submareal duro

En el ambiente submareal de sustrato duro se discriminaron tres grandes grupos, respecto de la epibiota reconocida en el área de estudio: macroalgas, fauna sésil y fauna móvil. Los ensambles epibentónicos submareales de sustrato duro estuvieron conformados por un número discreto de organismos, tanto en términos espaciales como batimétricos. Respecto de las macroalgas y fauna sésil y considerando los 3 transectos distribuidos en el área de interés (TSR-1 a TSR-3), se reconoció un total de 6 grupos taxonómicos para el grupo de las macroalgas y 3 grupos pertenecientes al grupo de fauna sésil. En tanto, para el grupo de fauna móvil se discriminaron 10 grupos taxonómicos.

Con relación a la riqueza puntual de macroalgas observada en la zona submareal de sustrato duro prospectada, se observó que los mayores valores de riqueza se registraron en el piso somero (5m) y de fondo (15m) del transecto TSR-3, localizado hacia el extremo sur del área de interés. Durante la campaña invernal, se observó que la mayoría de los puntos de muestreo prospectados no presentaron representantes de este grupo de organismos, destacando la ausencia de macroalgas en el transecto TSR-2, localizado en el sector cercano a Caleta Duendes (Figura 4.2-186a).

Con relación a los valores de cobertura de macroalgas, se observó en general que los mayores registros se levantaron en el piso somero de fondo en los transectos donde se detectó la presencia de macroalgas. Espacialmente, la mayor cobertura de macroalgas fue registrada en el piso somero (5m) del transecto TSR-1 (promedio de 85% de cobertura), lo cual se presenta en la Figura 4.2-186b.

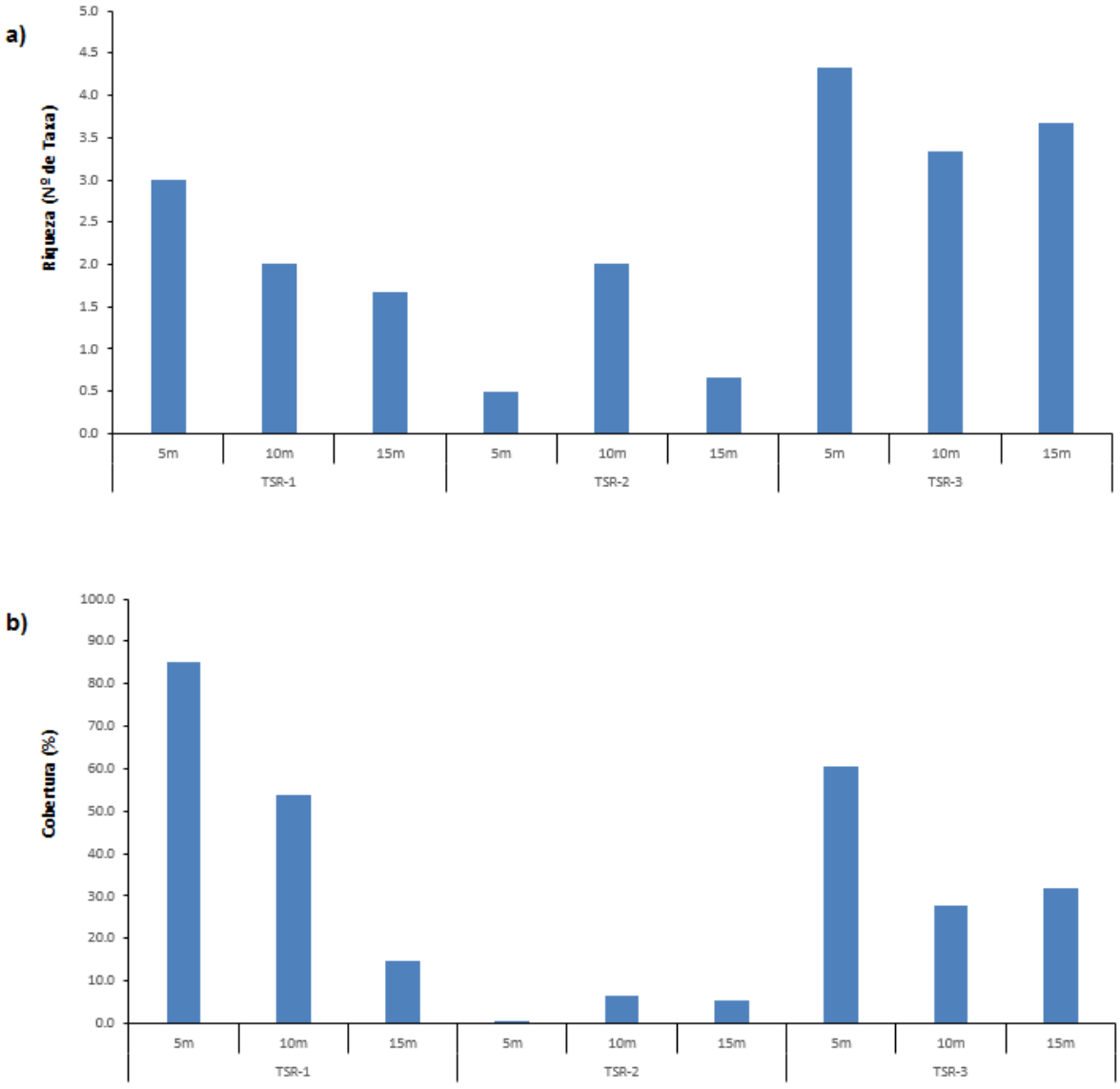


Figura 4.2-186: Riqueza (a) y cobertura (b) de macroalgas presentes en transectos submareales de sustrato duro Bahía Algodonales, Campaña verano 2020.

Con relación a las coberturas relativas de macroalgas, destaca la dominancia del alga crustosa *Lithotamnium sp* en los pisos somero (5m) de los transectos TSR-1 y TSR-2. Asimismo, el alga parda *Dictyota sp*. destacó en los tres pisos del transecto TSR-1 y el piso medio y somero de los transectos TSR-2 y TSR-3, respectivamente. Finalmente, el piso medio y de fondo en el transecto TSR-2 muestra una dominancia importante de algas rojas. (Figura 4.2-187).

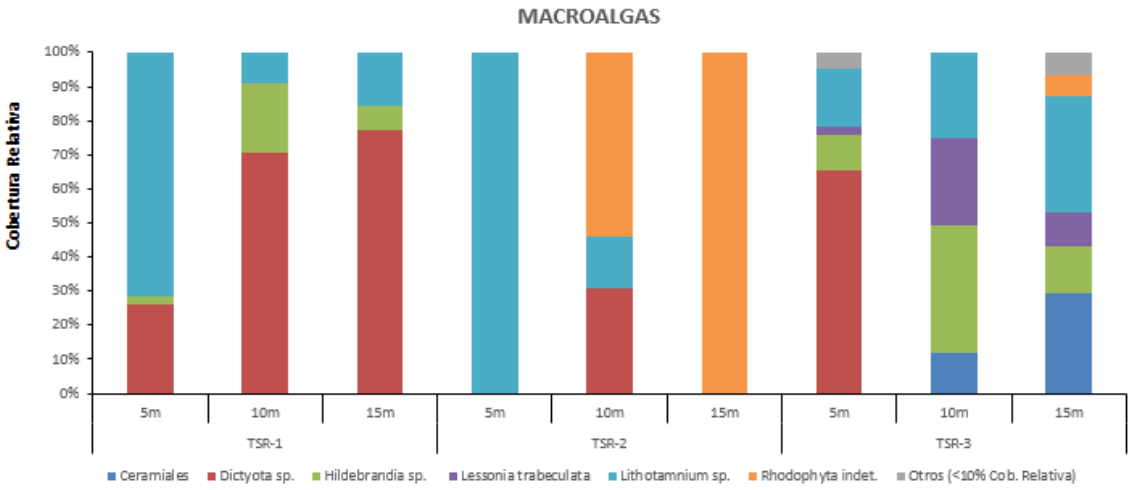


Figura 4.2-187: Cobertura relativa de ensambles de macroalgas presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de macroalgas del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-188). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de macroalgas, el cual indicó una distribución espacial con cierta formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,593 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el alga parda *Dictyota* sp. fue la especie que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

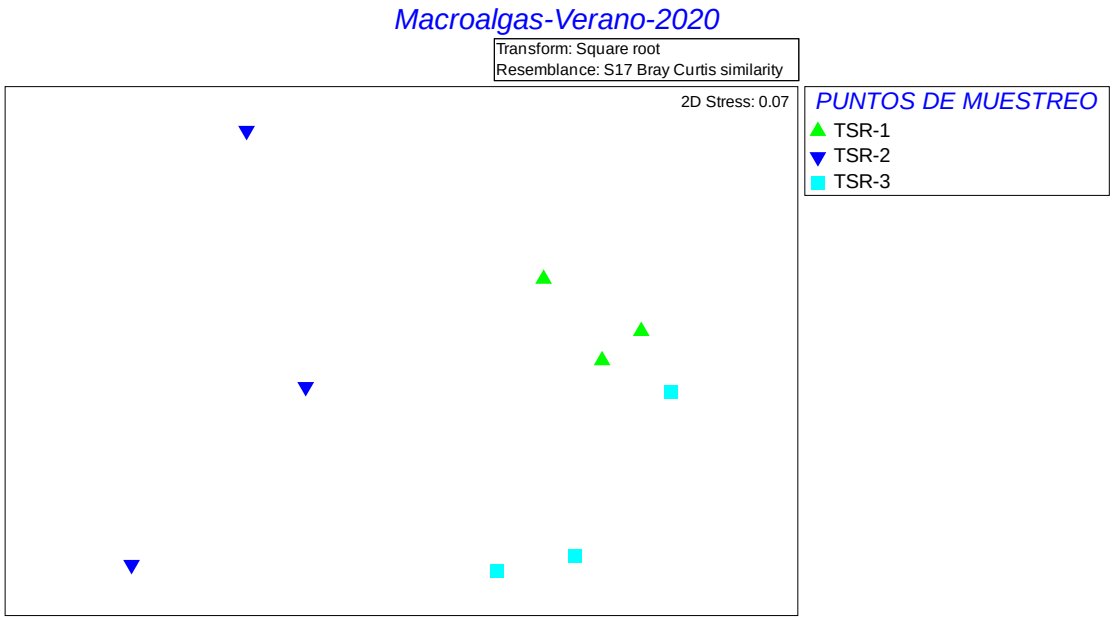


Figura 4.2-188 Análisis Escalamiento Multidimensional de macroalgas, entre tres puntos de muestreo durante verano 2020.

Para macroalgas submareales de sustrato duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H'), los mayores valores se registraron en el transecto TSR-3, con valores sobre los 1,5 bits, para todos los estratos. Mientras que en TSR-2, se presentó un valor de 0 bits para el estrato somero y de fondo, indicando dominancia absoluta de una sola especie (en ambos casos, un alga roja). Respecto al índice de equidad (J'), se presentó variable entre transectos y estratos, los valores más altos se presentaron en los estratos medios de TSR-2 y TSR-3 (10 m). Esto significa que las macroalgas registradas en verano 2020 presentaron baja diversidad con abundancia equitativa sin grupos dominantes en los transectos señalados. (Figura 4.2-189).

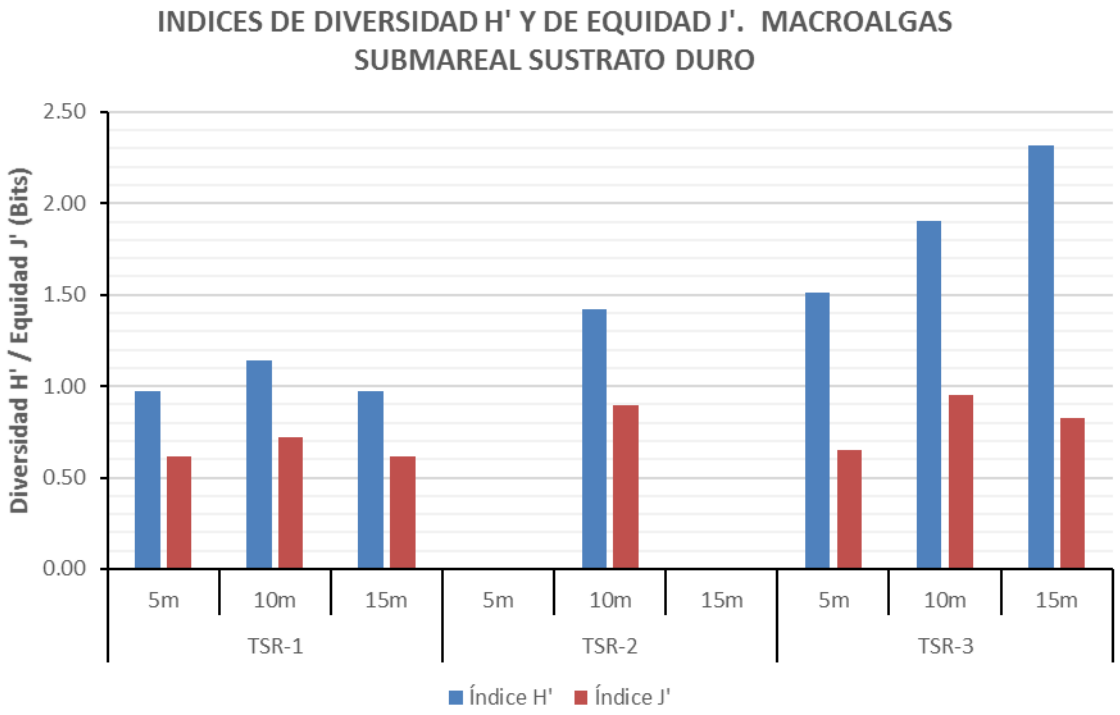


Figura 4.2-189 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de macroalgas bentónicas en submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

Con respecto a la fauna sésil, según lo observado en la Figura 4.2-190, esa presenta mayor riqueza en el estrato profundo (15 m) para las 3 zonas de interés, alcanzando riquezas promedio de hasta 1.7 taxa. Al contrario, el estrato que presenta menor riqueza promedio corresponde al estrato somero (5 m), con riquezas que oscilan entre los 0,5 y 1 taxa. De igual forma, la cobertura se encuentra distribuida entre las 3 áreas de interés, en donde para el área de interés 1, la cobertura es predominante en el estrato profundo hasta 70%, mientras que para el área de interés 2 se tiene el 100% de cobertura para el estrato intermedio. Finalmente, el área de interés 3 presenta coberturas significativamente menores a las presentadas para el resto de las áreas, con un valor máximo de 20% para el estrato profundo.

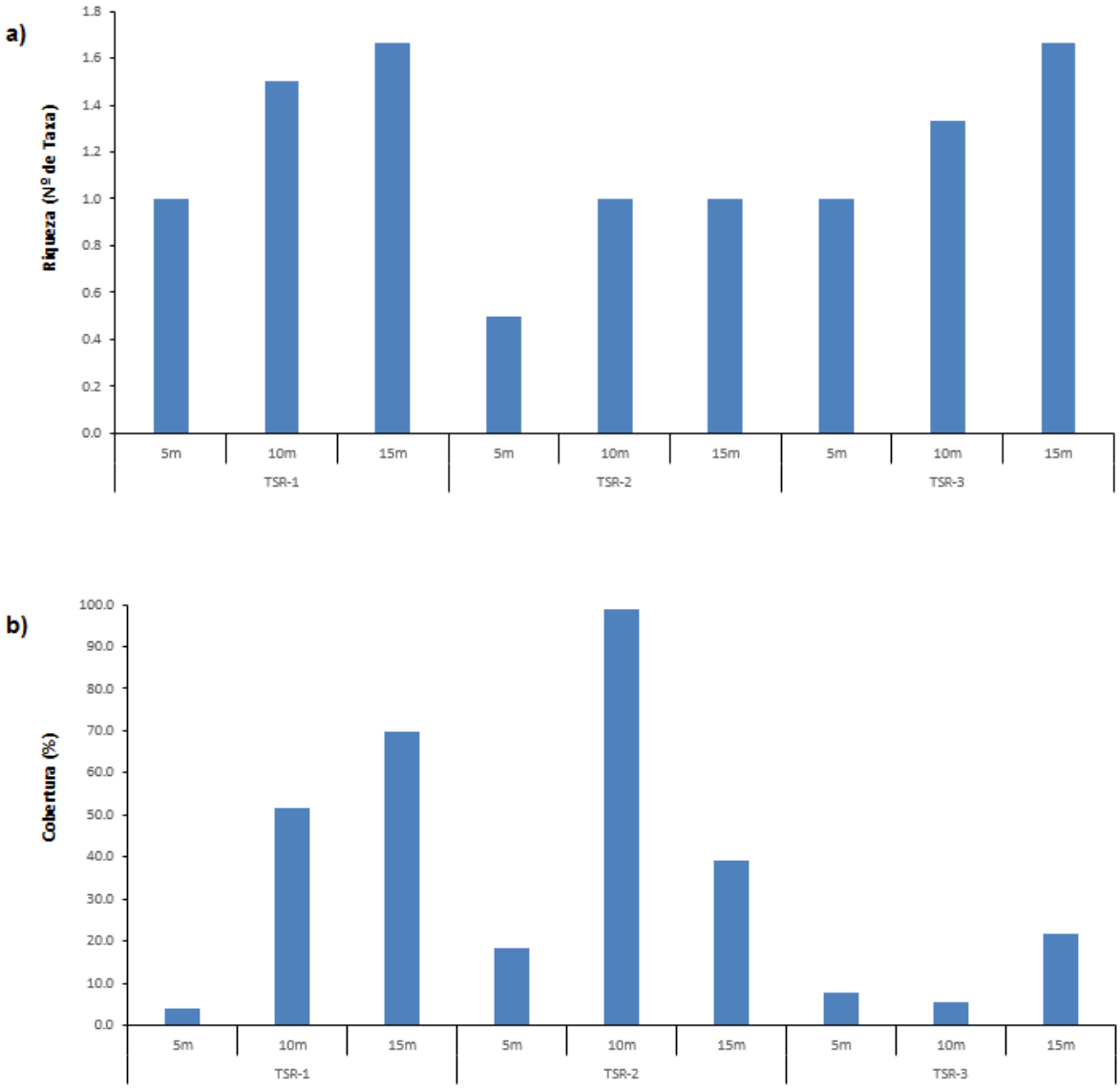


Figura 4.2-190: Riqueza (a) y cobertura (b) de fauna sésil presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

Con relación a las coberturas relativas de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna sésil, destacó la dominancia de ejemplares de gusanos poliquetos tubícolas del género Phragmatopoma en los transectos TSR-1 (piso medio y fondo), TSR-2 (pisos somero, medio y de fondo) y TSR-3 (piso somero). En tanto, en el transecto TSR-3 dominaron en los pisos intermedio y de fondo ejemplares de gusanos tubícolas, ejemplares de bivalvos mitílidos y *Pyura chilensis*, este último, además presentó dominancia absoluta en el piso somero de TSR-1 (Figura 4.2-191).

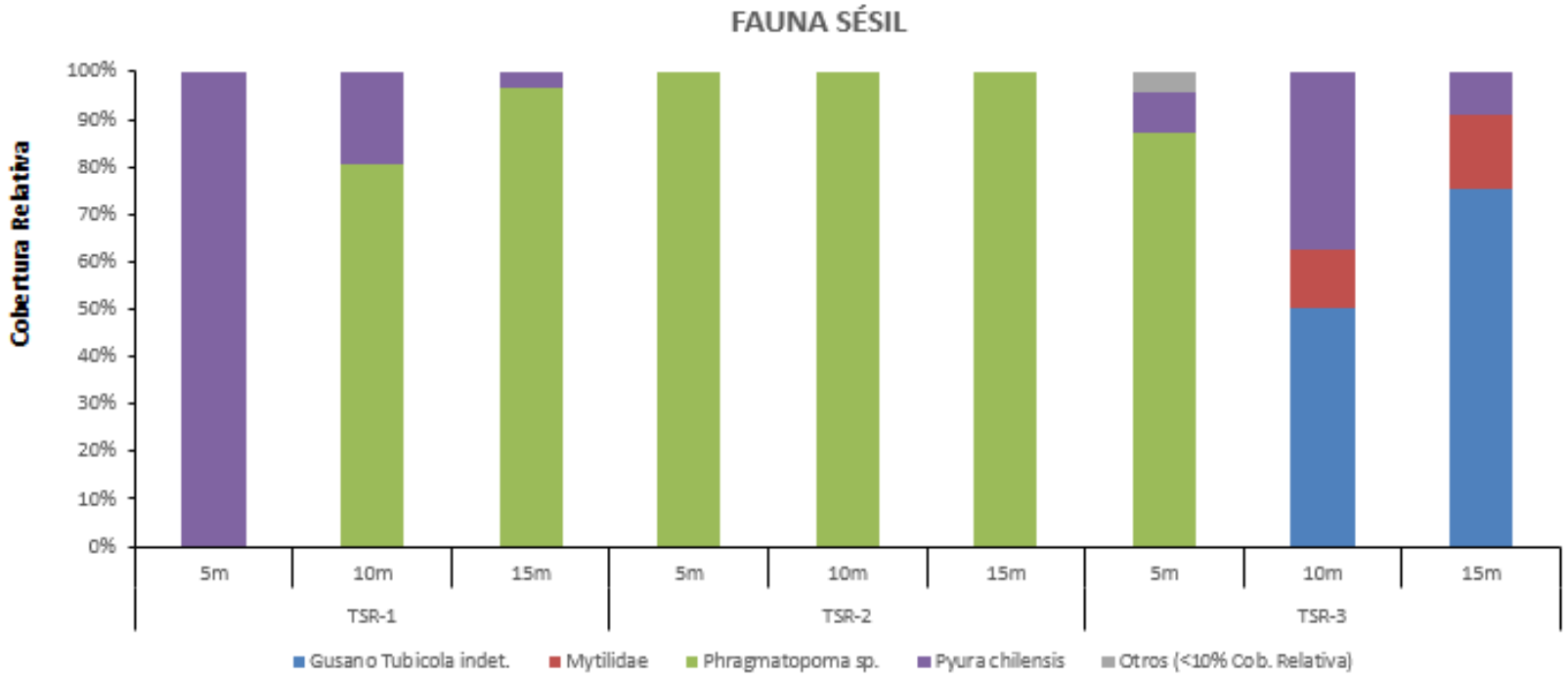


Figura 4.2-191: Cobertura relativa de ensambles de fauna sésil presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

En fauna sésil el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') solo se pudo calcular en los puntos TSR-1 (10m y 15m) y TRS-3 (5m, 10m y 15m) y presentó valores bajos en toda el área de estudio, siendo el mayor valor registrado de 1,4 bits en el estrato medio del transecto TSR-3. En cuanto al índice de equidad (J') en el estrato medio de ambos transectos se presentaron los mayores valores (cercanos a 0,6 y 0,9 bits). Esto nos indicaría que en los estratos TSR-1 (10m) y TSR-3 (10m y 15m), los ensambles presentan una baja diversidad de especies con una baja dominancia monoespecífica de algún taxa. Mientras que en el estrato más profundo de TSR-1 y el estrato somero de TSR-3, se aprecia baja diversidad y abundancia poco equitativa de individuos (Figura 4.2-192).

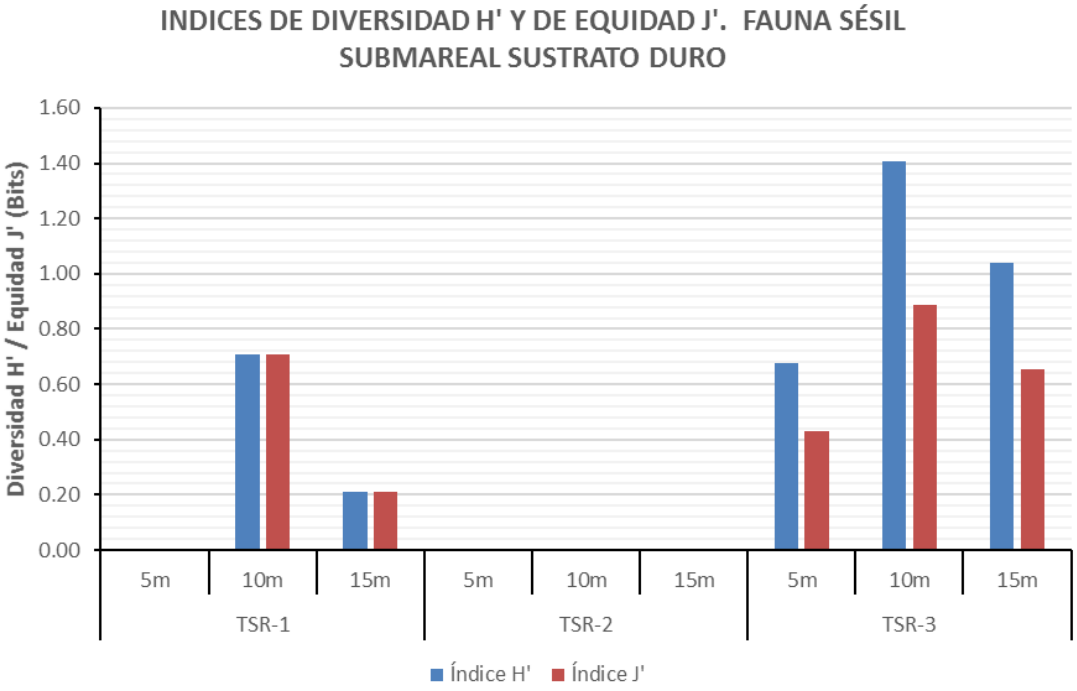


Figura 4.2-192 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de fauna sésil en submareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos sésiles del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-193). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna sésil, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,391 p<0,05).

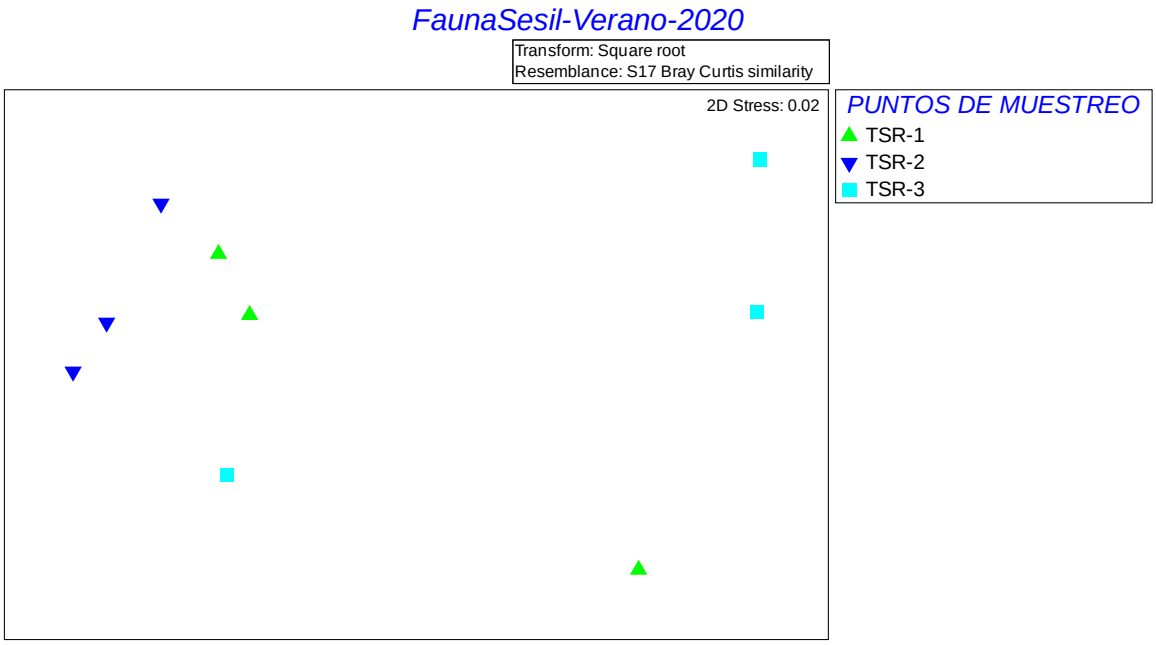


Figura 4.2-193 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna sésil submareal duro, entre los tres puntos de muestreo evaluados durante verano 2020.

Respecto a la riqueza de fauna móvil, presentada en la Figura 4.2-194a, se tiene que esta presenta diferente distribución dependiendo del área de interés analizada. La mayor riqueza se observa en los tramos someros del área de interés 2 y 3, con riquezas de 6,5 y 6 taxa respectivamente, mientras que las menores riquezas fueron detectadas en el estrato somero y profundo de las áreas 1 y 3, con 2 y 3 taxa respectivamente. De modo que desde un punto de vista general, no se observa una tendencia clara relativa a la distribución de especies a lo largo de la bahía. Respecto a la abundancia, se tiene que esta es predominante en los estratos someros, particularmente en el área 2, en donde se alcanza el máximo del muestreo con una abundancia de 750 individuos, por sobre el mínimo registrado en el estrato intermedio de la zona 3, donde se observan incluso menos de 100 individuos.

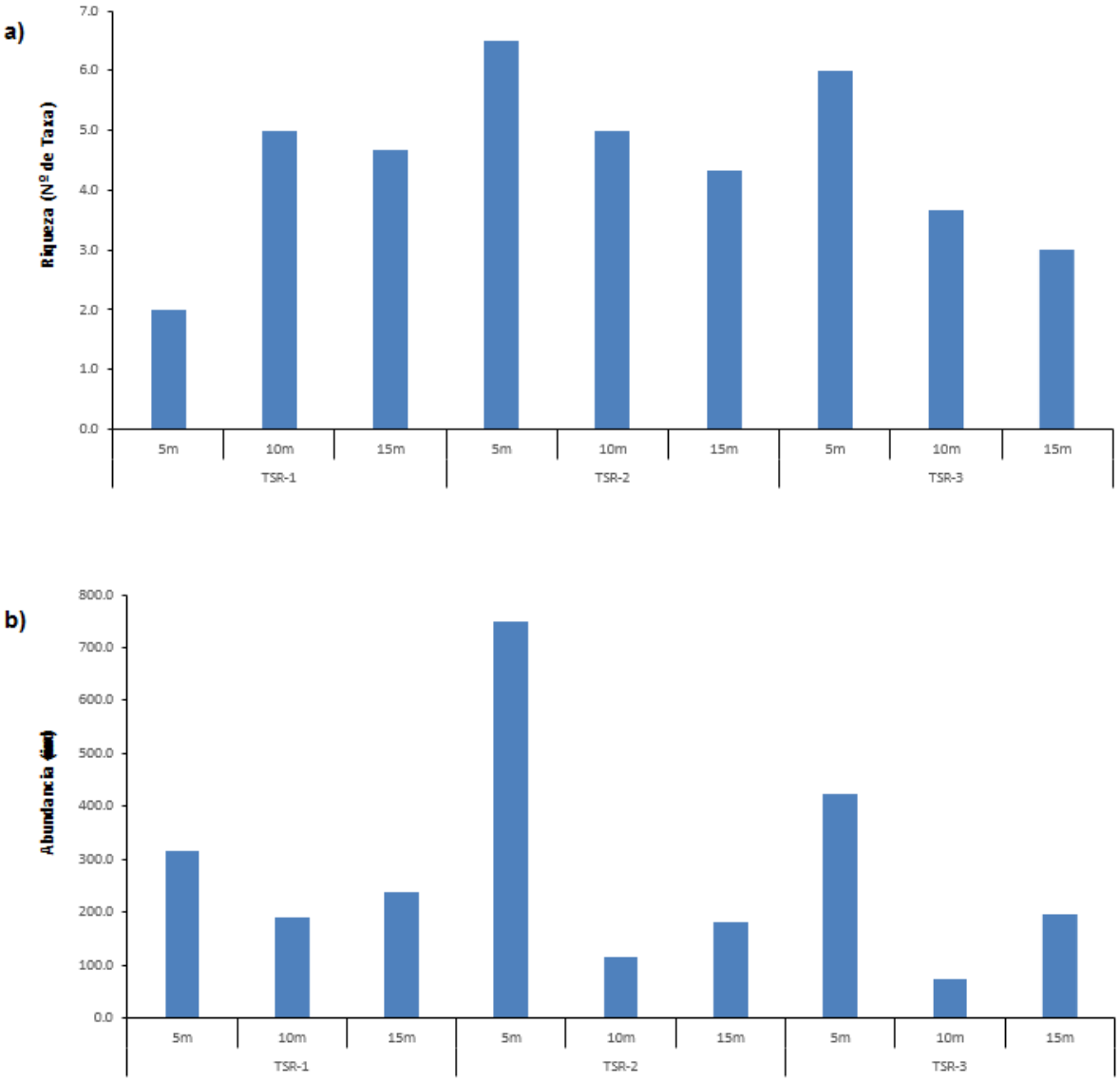


Figura 4.2-194 Riqueza (a) y cobertura (b) de fauna móvil presentes en transectos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

Con relación a las coberturas relativas de epibiontes pertenecientes al grupo de fauna móvil, destacó que la especie dominante en el estrato somero y medio del transecto TSR-1 y el estrato somero de TSR-3 corresponde a caracoles negros de la especie *Tegula sp*., mientras que el resto de los transectos y estratos presentaron una distribución heterogénea de especies. Se detectó la presencia de caracoles carnívoros *Nassarius sp*. en todos los transectos muestreados, cuya abundancia es mayor en los estratos más profundos de los transectos, especialmente en TSR-3, donde presenta una dominancia importante. Además, destaca la presencia de *Xanthochorus cassidiformis*, que presentó una abundancia relativa importante en el transecto TSR-2, encontrándose exclusivamente en dicho sector. (Figura 4.2-195).

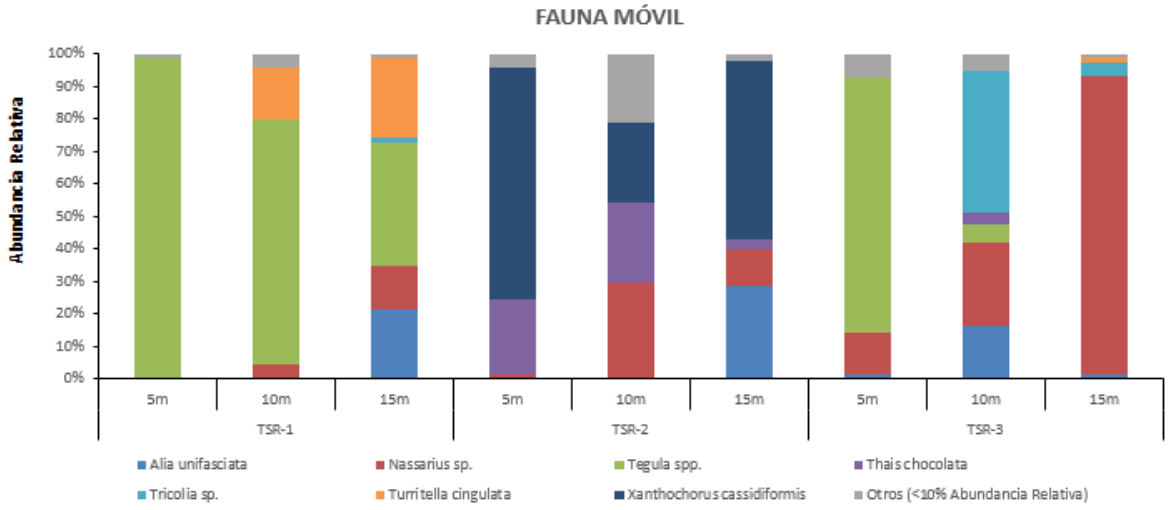


Figura 4.2-195 Abundancia relativa de ensambles de fauna móvil presentes en pisos submareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

En fauna móvil El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, presentando valores entre alrededor de 0 bits (TSR-1 y 5m) y 2,5 bits (TSR-2, 10m), dando cuenta en general baja diversidad de especies con valores inferiores a 2 bits. En cuanto al índice de equidad (J'), se presenta altamente variable entre transectos y estratos de muestreo. Esto indicaría que en general, no observa una tendencia clara, en relación con la distribución y abundancia de especies a lo largo de la bahía (Figura 4.2-196).

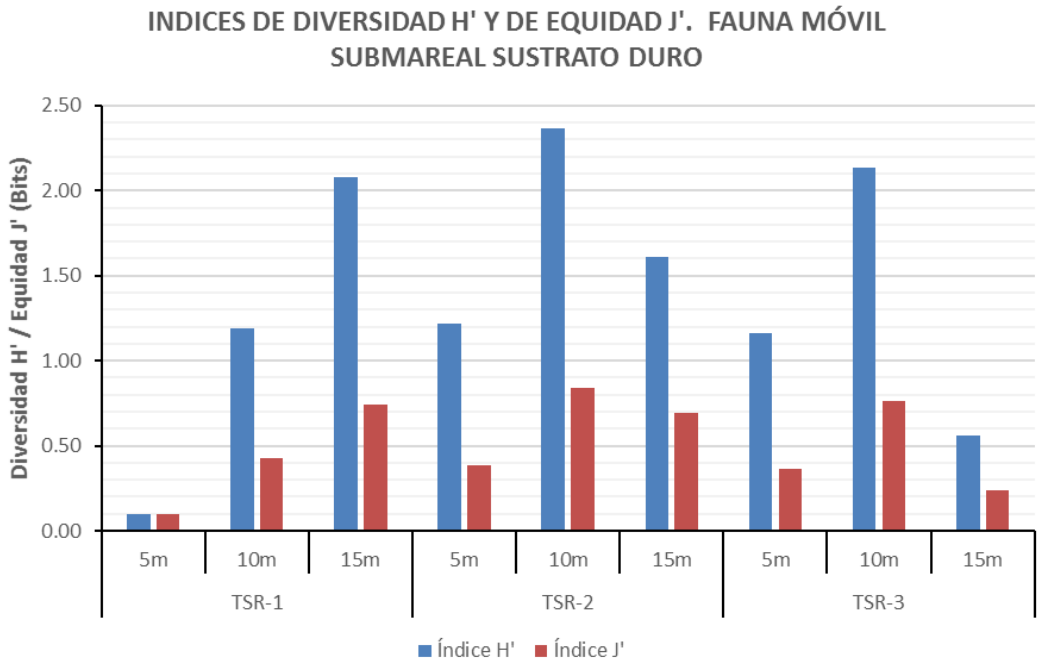


Figura 4.2-196 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades de fauna móvil bentónicas en submareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos móviles del submareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-197). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna móvil, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,243 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el caracol *Tegula* sp. fue la especie que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

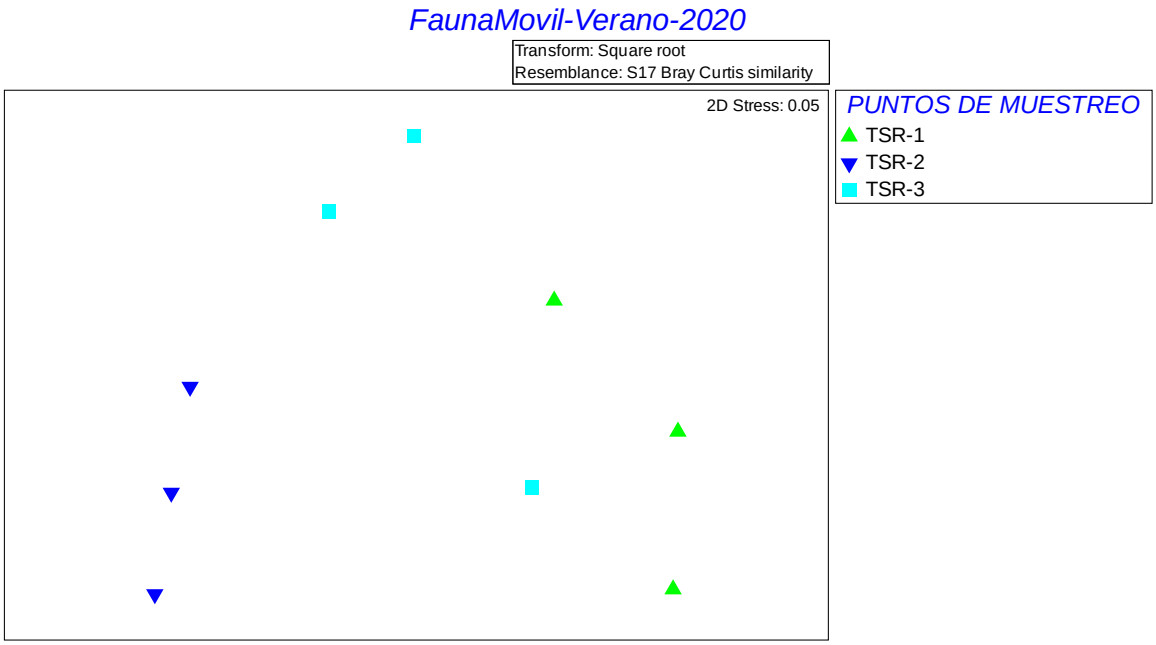


Figura 4.2-197 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna móvil submareal duro, entre los tres puntos de muestreo evaluados durante verano 2020.

4.2.1.4.6 Comunidades bentónicas intermareal blando

Considerando los 6 transectos visitados (TIB-1 a TIB-6), se reconocieron 45 taxa agrupadas en 12 clases. Los transectos se diferenciaron en 3 estratos, superior, medio e inferior, con objetivo de determinar la distribución espacial de las comunidades bentónicas. De lo presentado en la Figura 4.2-198a, se observa que la riqueza de taxa en el estrato medio es relativamente uniforme con 2 taxa, a excepción de los puntos TIB-6 y TIB-4, que presentan 6 y 4 taxa respectivamente. Para el estrato superior, no se registraron taxas en los puntos 1, 2 y 6, de modo que el resto presenta 2 taxa. Finalmente, en el estrato inferior no se encontraron taxa en los puntos 1 y 6, de manera que el resto presenta entre 2 y 6 taxa.

Respecto a la densidad de individuos, presentada en la Figura 4.2-198b, el punto de muestreo con mayor densidad corresponde al punto TIB-3, el cual, en su estrato superior presenta una densidad de 12.500 ind/m^2 y en su estrato medio 33.000 ind/m^2, siendo significativamente menor en su estrato inferior. Sólo los puntos TIB-6 y TIB-2 presentan

densidades comparables a las de TIB-3, con densidades que varían entre valores menores a 1000 ind/m^2 hasta 15.000 ind/m^2.

Finalmente, la biomasa, cuya distribución se presenta en la Figura 4.2-198c, se concentra entre los puntos TOC-2 y TOC-3. En estos, la presencia de biomasa aumenta con la profundidad, siendo el estrato inferior el que concentra la mayoría de la biomasa con concentraciones de hasta 450 g/m^2.

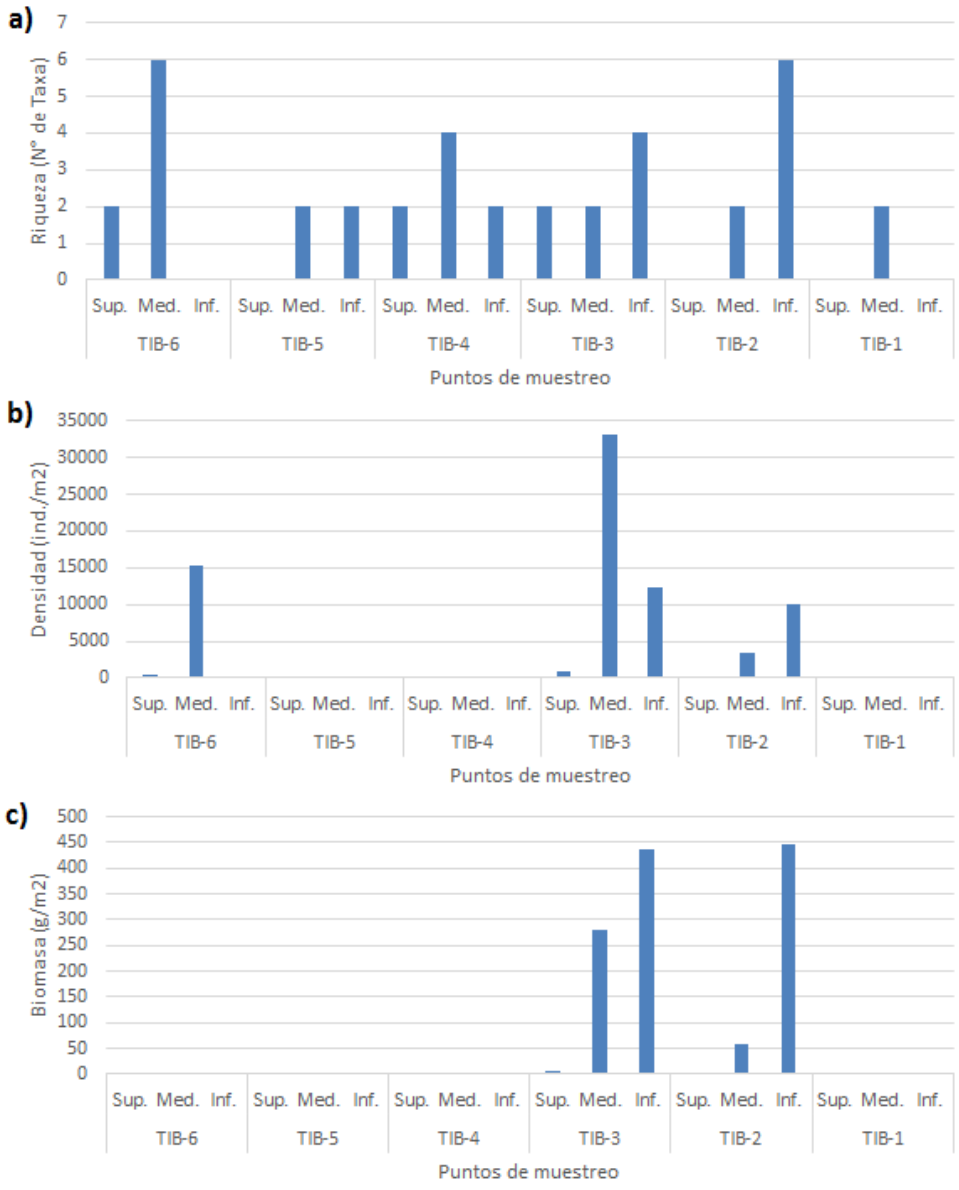


Figura 4.2-198: Riqueza (a), Densidad (b) y Biomasa (c) de ensambles de macroinfauna intermareal prospectados en transectos en el área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

Con respecto a las abundancias relativas, se observó la dominancia de crustáceos decápodos (*Emerita analoga*) en la mayoría de los transectos y estratos muestreados, con

una abundancia relativa superior al 80% para todos los casos. Secundariamente, se observó la presencia de gusanos poliquetos en el estrato medio de TIB-4 y los estratos medio y fondo de TIB-6. (Figura 4.2-199).

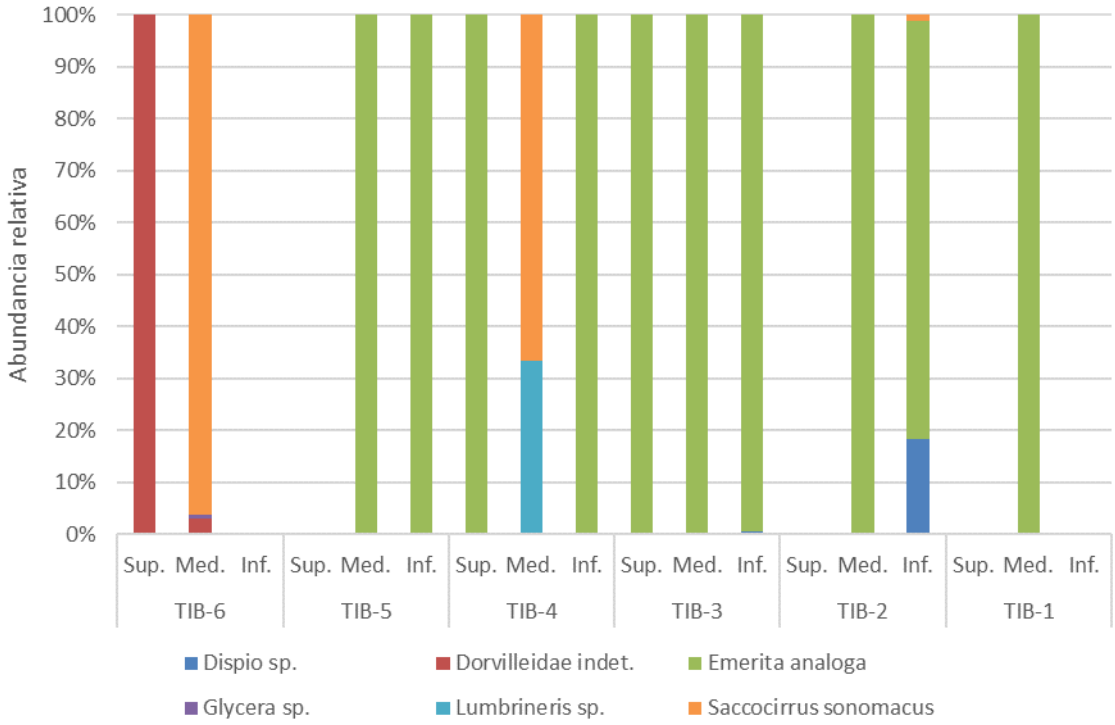


Figura 4.2-199: Abundancia relativa de ensambles de macroinfauna intermareal presente en área de estudio (Sup= Estrato superior; Med= Estrato Intermedio; Inf= Estrato Inferior). Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

El índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, presentando en todos los puntos valores bajo los 2 bits, lo cual indicaría un ambiente con baja diversidad de especies. Respecto al índice de equidad (J'), presenta en general valores bajo los 0,5 bits, lo cual indicaría abundancias con un grupo dominante, situación que se observa claramente al analizar la gráfica de abundancias relativas. (Figura 4.2-200).

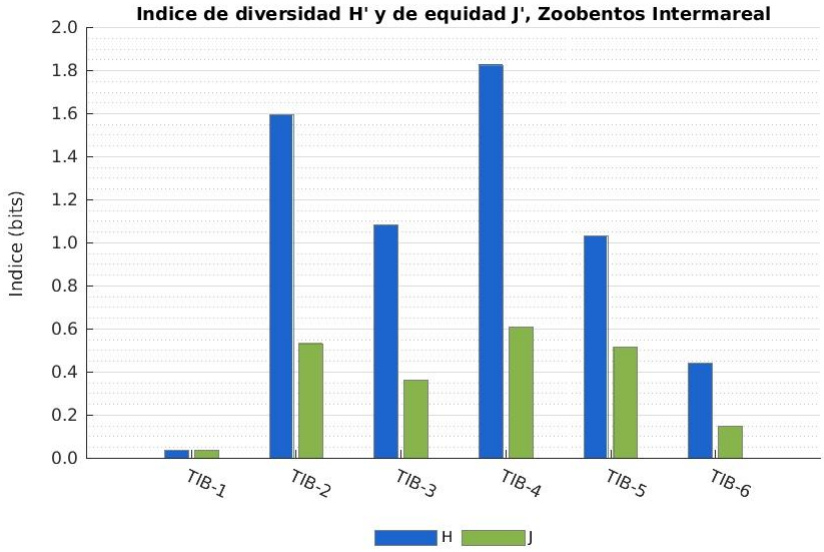


Figura 4.2-200: Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas intermareal blando en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien heterogénea de las comunidades bentónicas del intermareal de fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-201). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos intermareal, el cual indicó una distribución espacial con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,656 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el crustáceo *Emerita analoga* fue la especie que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre los puntos de muestreo.

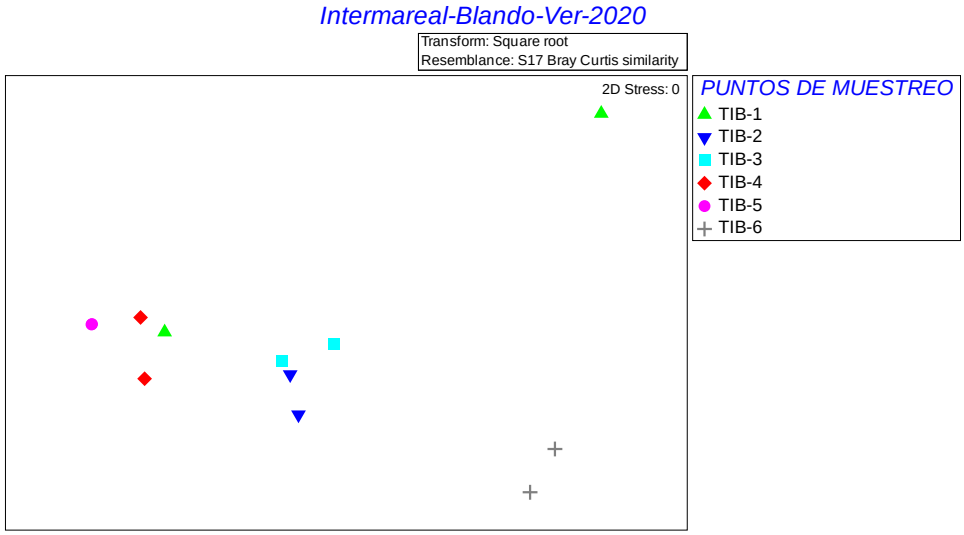


Figura 4.2-201 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos intermareal blando, entre los seis puntos de muestreo evaluado durante verano 2020.

4.2.1.4.7 Comunidades bentónicas intermareal duro

Considerando los 6 transectos visitados (TIR-1 a TIR-6), se identificaron 11 taxa para los organismos sésiles, 9 taxa para organismos móviles. Al analizar la distribución de riqueza de organismos sésiles (Figura 4.2-202), se tiene que las mayores riquezas observadas se encuentran en el estrato superior del punto TIR-1, y el estrato inferior del punto TIR-2, alcanzando 6 taxa, mientras que la menor riqueza detectada se ubica en los estratos superior y medio del punto TIR-5. No se observa una tendencia clara sobre la predominancia de un estrato en particular en la riqueza de especies a lo largo de la bahía, de modo que el análisis ha de realizarse de manera puntual, y no general. De igual modo, la distribución de cobertura no es uniforme, con lo cual no se observa un estrato en donde esta predomine. Sin embargo, en el punto de muestreo TIR-2 es donde se detectan las mayores coberturas para el estrato medio y superior, con coberturas de 90 y 80% respectivamente, muy por sobre los mínimos registrados para toda la bahía de 7 y 25% respectivamente.

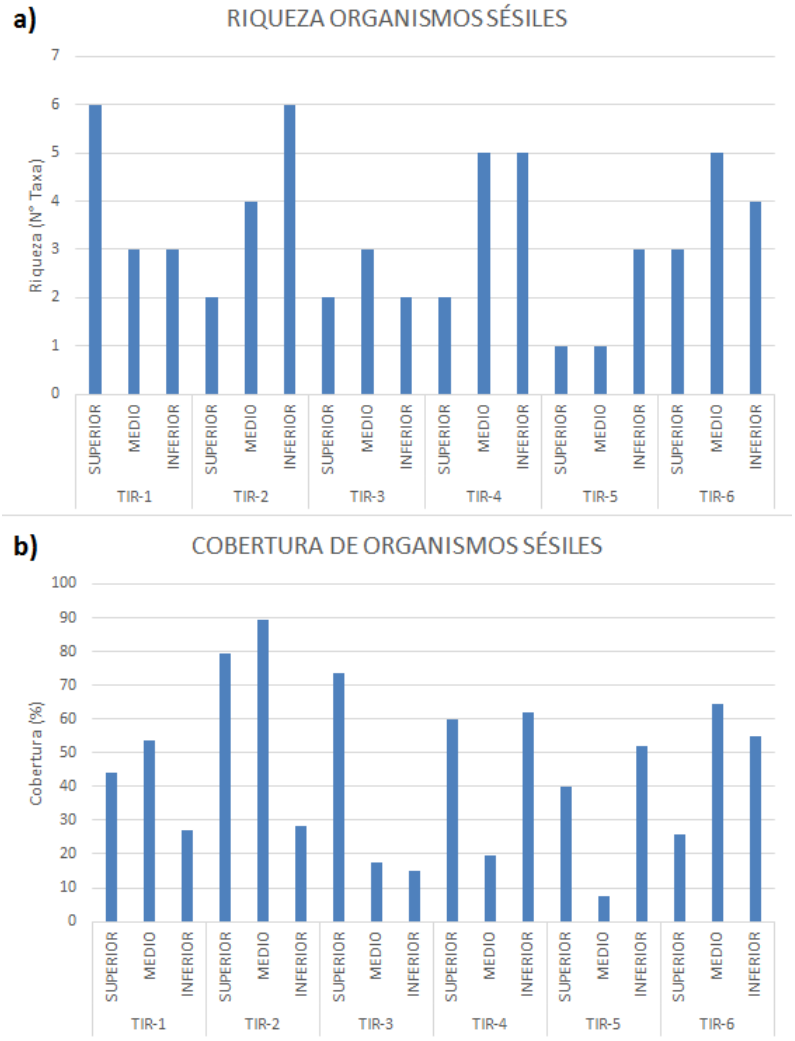


Figura 4.2-202 Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos sésiles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

Con relación a las coberturas relativas, destacó la presencia de crustáceos cirripedios pertenecientes a la especie *Nothochtamalus scabrosus* en prácticamente toda el área prospectada, principalmente en los estratos superior y medio de los transectos donde se encuentra presente. Otra especie presente en el área de estudio corresponde a la especie de bivalvo *Perumytilus purpuratus,* presentando una abundancia relativa discreta pero constante a lo largo de los transectos prospectados. Entre las macroalgas reconocidas destacó la presencia de la especie de alga verde *Ulva lactuca* en los transectos TIR-1 a TIR-4, con valores de cobertura heterogéneos entre estratos. Por otra parte, se detectó la presencia de *Porphyra columbina*, con abundancia importante en el estrato superior de TIR-6. Hay que destacar que latitudinalmente en los transectos prospectados se reconoció la presencia heterogénea, sin un patrón reconocible de especies a lo largo de la bahía, donde, como ha sido descrito para las anteriores campañas de muestreo, la gran mayoría las especies reconocidas en la franja intermareal de sustrato duro poseen una amplia distribución geográfica, tanto a nivel regional como nacional (Figura 4.2-203)

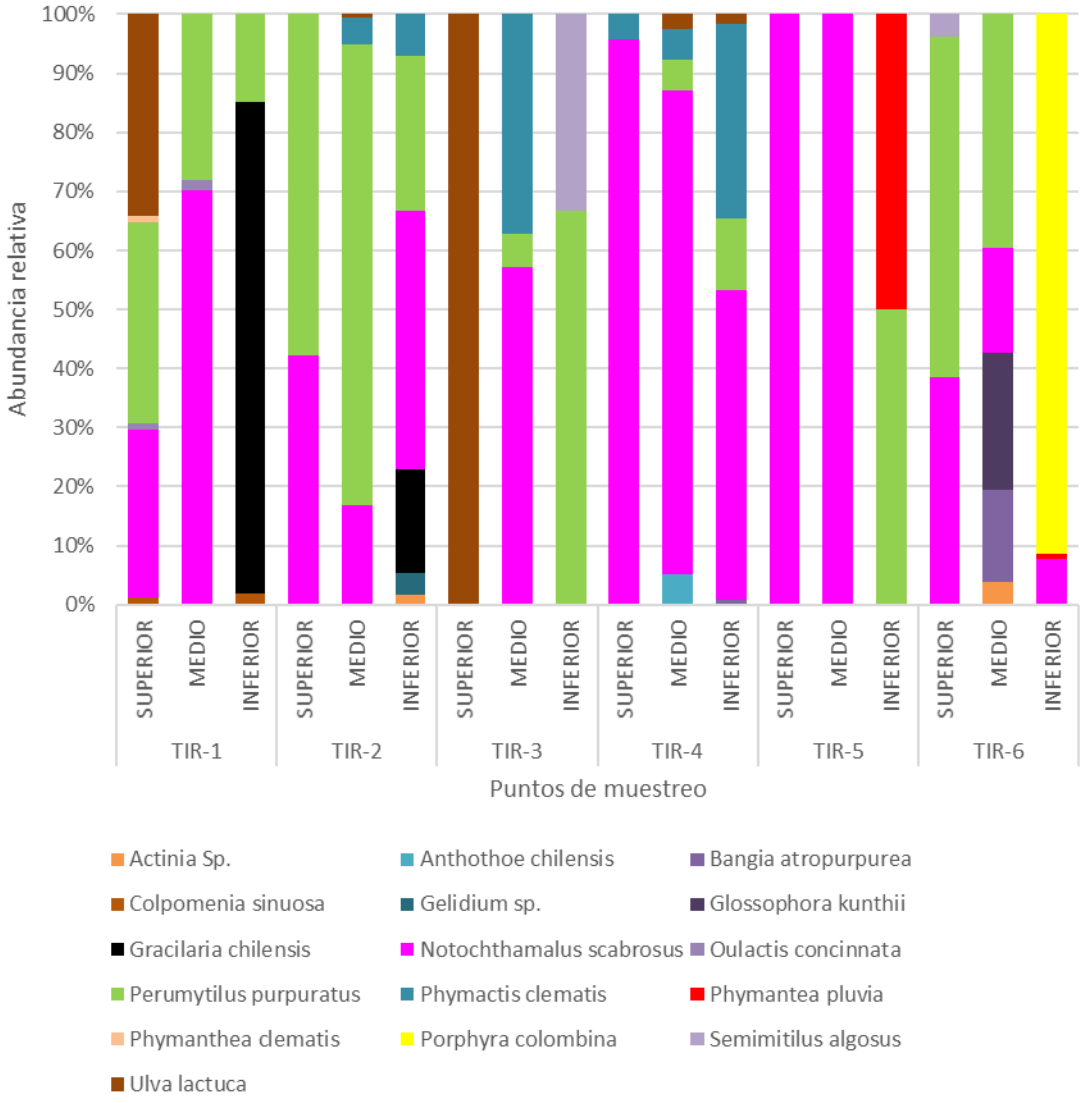


Figura 4.2-203 Cobertura relativa de ensambles de organismos sésiles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

Respecto a organismos sésiles en intermareal duro el índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue variable en los puntos de muestreo, donde los mayores valores se registraron en el estrato medio de TIR-6 e inferior de TIR-2, con valores cercanos a los 2 bits. En cuanto al índice de equidad (J'), en general presentaron valores superiores a 0,5 bits. El análisis comunitario, nos indica que, en el área de estudio, el ensamble presentó una baja diversidad de especies con abundancia heterogénea. Con excepción de los estratos superior de TIR-3 y superior y medio de TIR-5, donde ambos índices presentaron valores de 0 bits, debido a la dominancia monoespecífica de especies. (Figura 4.2-204).

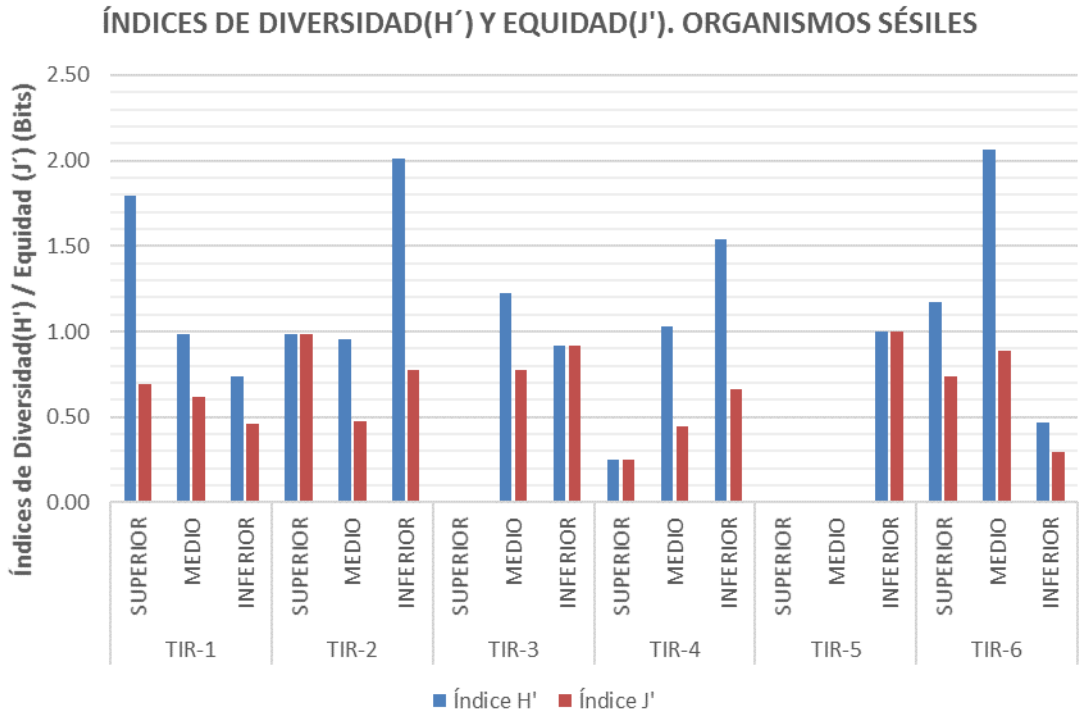


Figura 4.2-204: Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades bentónicas sésiles intermareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos sésiles del intermareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-205). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de organismos sésiles, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,107 p<0,05).

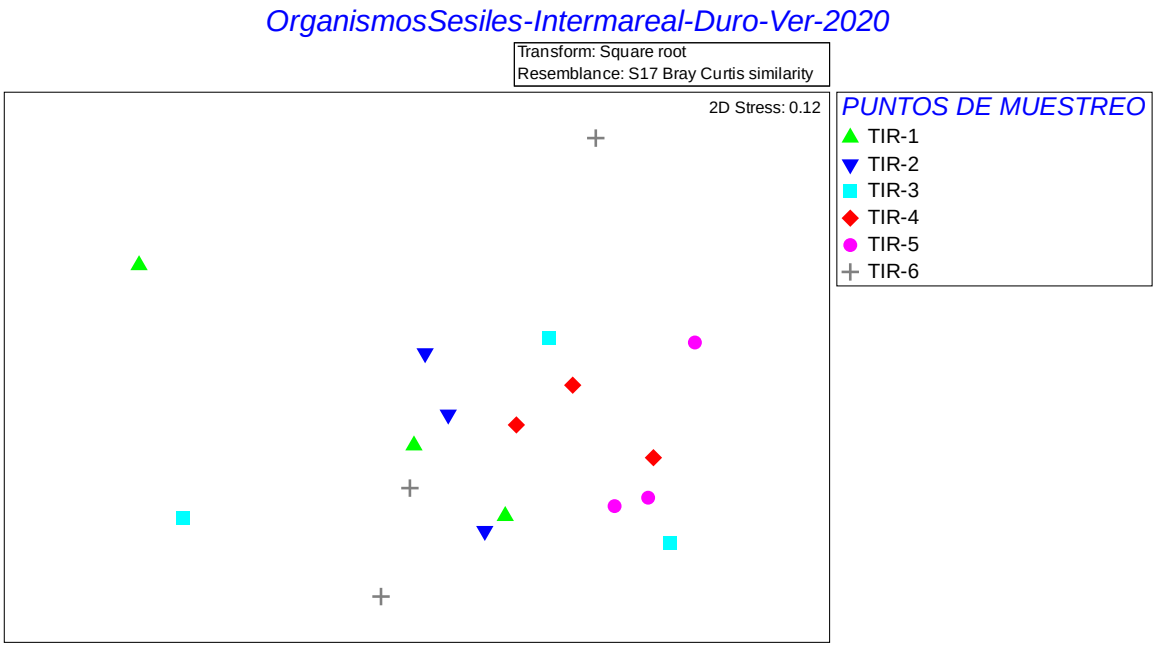


Figura 4.2-205 Análisis Escalamiento Multidimensional de organismos sésiles del intermareal duro, entre los seis puntos de muestreo evaluados durante verano 2020.

La Figura 4.2-206 presenta los valores de riqueza y abundancia correspondientes a los organismos móviles detectados durante la campaña de verano 2020. En particular, en la Figura 4.2-206a se presenta la distribución de la riqueza de organismos, en donde se observa que a lo largo de la bahía se tienen riquezas entre los 1 y 3 taxa, siendo el punto TIR-6 el que presenta mayor riqueza al considerar sus estratos inferior, medio y superior.

La cobertura presentada en la Figura 4.2-206b, muestra que la presencia de especies se encuentra concentrada principalmente hacia el sur, distribuida entre los puntos TIR-4 y TIR-6, en los cuales se presentan los máximos para los estratos superior, medio e inferior, con coberturas entre los 240 y 260 ind/m^2, muy por sobre las coberturas registradas para los puntos TIR-1, TIR-2, TIR-3 y TIR-4, en donde la mayor cobertura corresponde al estrato inferior del punto TIR-3, cuya cobertura alcanza un valor de 40 ind/m^2.

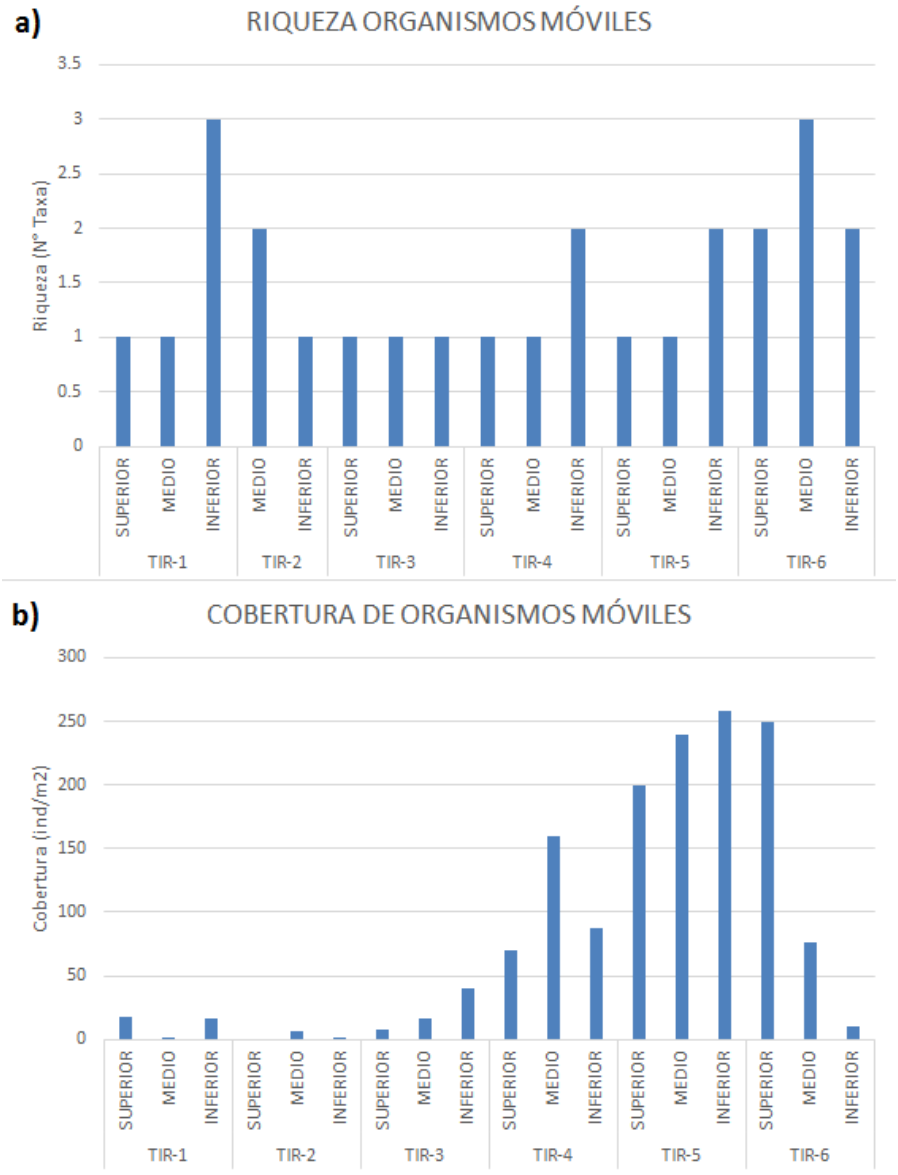


Figura 4.2-206: Riqueza (a) y cobertura (b) de organismos móviles presentes en transectos intermareales de sustrato duro. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

Con relación a la abundancia relativa, podemos reconocer dos zonas características, la primera comprendida entre los transectos TIR-1 y TIR-3, donde destaca la presencia de moluscos gastrópodos pertenecientes a la especie *Scurria ceciliana*, *Fissurella crassa* y en menor proporción *Tegula Atra*. La segunda zona comprendida entre TIR-4 y TIR-6, donde destaca la presencia de moluscos gastrópodos pertenecientes a la especie *Nodilittorina peruviana,* con excepción del estrato inferior del transecto sur (TIR-6), donde se detectó las especies de equinodermos *Tetrapygus niger* y *Loxechinus albus.* Ambos con amplia distribución a nivel local y nacional. (Figura 4.2-207).

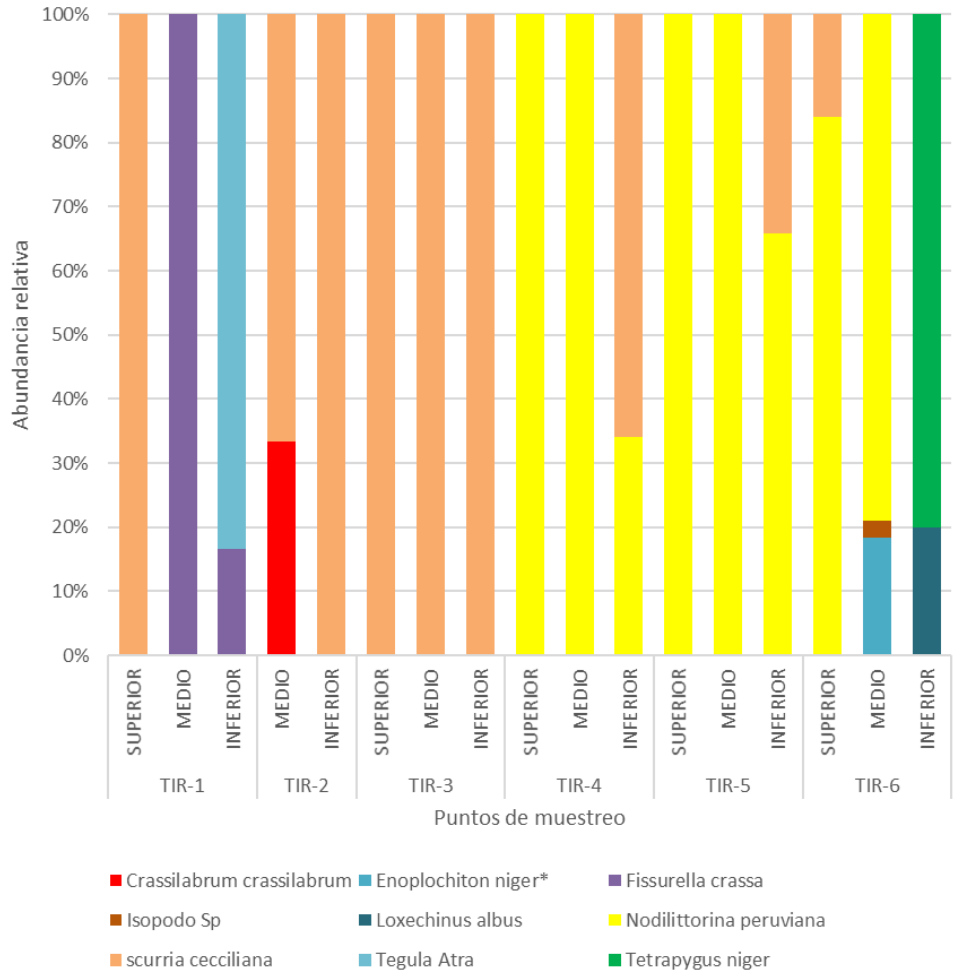


Figura 4.2-207: Abundancia relativa de ensambles de organismos móviles presentes en la franja intermareal de sustrato duro del área de estudio. Bahía Algodonales. Campaña Verano 2020.

Respecto al índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') fue bajo en todos los puntos de muestreo, con valores bajo 1 bit para todos los casos y 0 en los transectos que presentaron abundancia monoespecífica, ubicados en la zona centro norte del área de estudio (TIR-1 a TIR-4). En cuanto al índice de equidad (J'), en general presentaron valores inferiores a 0,5 bits. El análisis comunitario, indica que, en el área de estudio, el ensamble presentó una baja diversidad de especies con abundancia no equitativa de especies. (Figura 4.2-208).

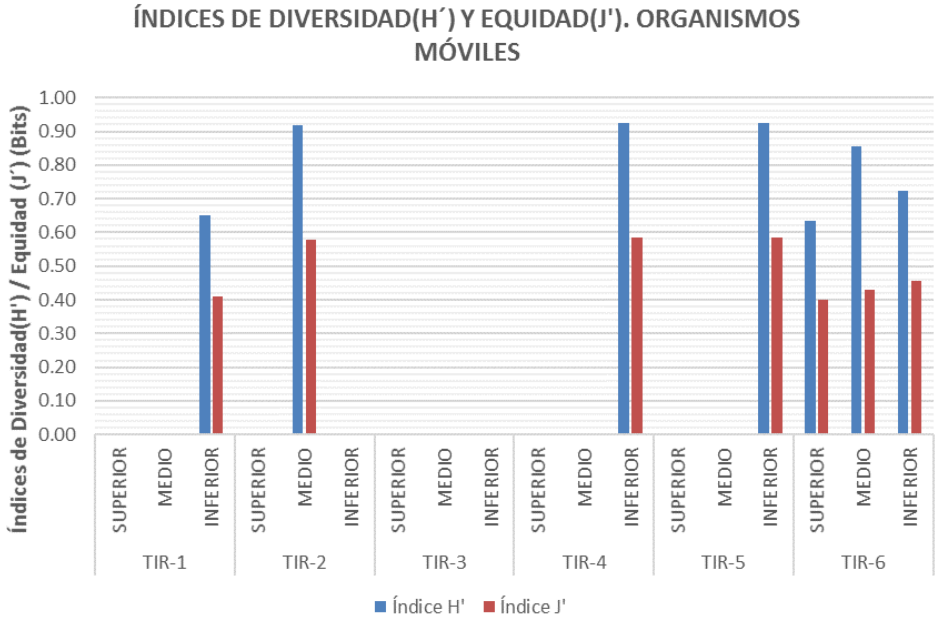


Figura 4.2-208 Índice de diversidad de Shannon-Wienner (H') y Equidad de Pielou (J') calculado para comunidades móviles bentónicas en intermareal duro en los puntos de muestreo. Bahía Algodonales. Campaña verano 2020.

El escalamiento multidimensional presentó una distribución homogénea de la comunidad de organismos móviles del intermareal duro, en cuanto a composición y abundancia entre los puntos de muestreo evaluados (Figura 4.2-209). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fauna móvil, el cual indicó una distribución espacial sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,423 p<0,05).

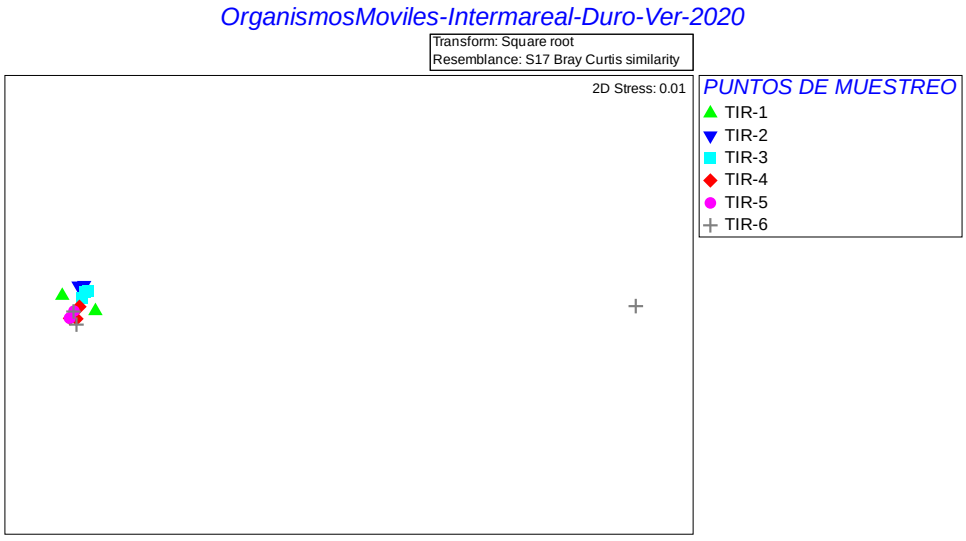


Figura 4.2-209 Análisis Escalamiento Multidimensional de fauna móvil intermareal duro, entre los seis puntos de muestreo evaluado durante verano 2020.

4.2.2 Monitoreo estacional de variable oceanográficas de Bahía Algodonales

Actividad realizada de acuerdo con la programación definida en el Plan de trabajo inicial (en Anexos digitales: 2018_08_GOA004_INF_CO_V0A_Plan_Trabajo). Al respecto, se propuso realizar 2 campañas de monitoreo de carácter estacional para caracterizar el sistema de corrientes costero que ocurre en bahía Algodonales, distribuidas semestralmente en el primer año de ejecución del proyecto, de preferencia en invierno (junio) y verano (enero, con el objetivo de caracterizar en un ciclo anual las corrientes características de la bahía.

A continuación se entregan los resultados de las campañas realizadas en agosto de 2018 y febrero de 2019, que corresponden a las estaciones de invierno y verano respectivamente. La caracterización de la dirección y magnitud de la velocidad en la columna de agua en bahía Algodonales, se realizó mediante la instalación de un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP), modelo Workhorse Sentinel 600, marca Teledyne,

Para la instalación y fijación de este instrumento en el fondo del mar (fondeo) reduciendo el riesgo de volcamiento, deslizamiento y movimiento, se consideró la utilización de un trípode de acero inoxidable con sistemas de anclaje, el cual considera 200 kg de peso muerto aproximadamente. Este instrumento puede registrar las propiedades del campo de flujos en varias capas y en intervalos recomendados de registro de 10 minutos. Se consideró su instalación por un período de 30 días.

Figura 4.2-210: Perfilador de corrientes acústico Teledyne WorkHorse Sentinel 600 junto a su trípode de acero para anclaje, Instalado en la campaña de invierno 2018

Por otra parte, se realizaron las mediciones de oceanografía lagrangiana, mediante el lanzamiento de derivadores en dos estratos y distribuidos de acuerdo con la Figura 4.2-211 y la Tabla 4.2-65 que da cuenta del diseño de muestreo de parámetros oceanográficos sobre la bahía Algodonales.

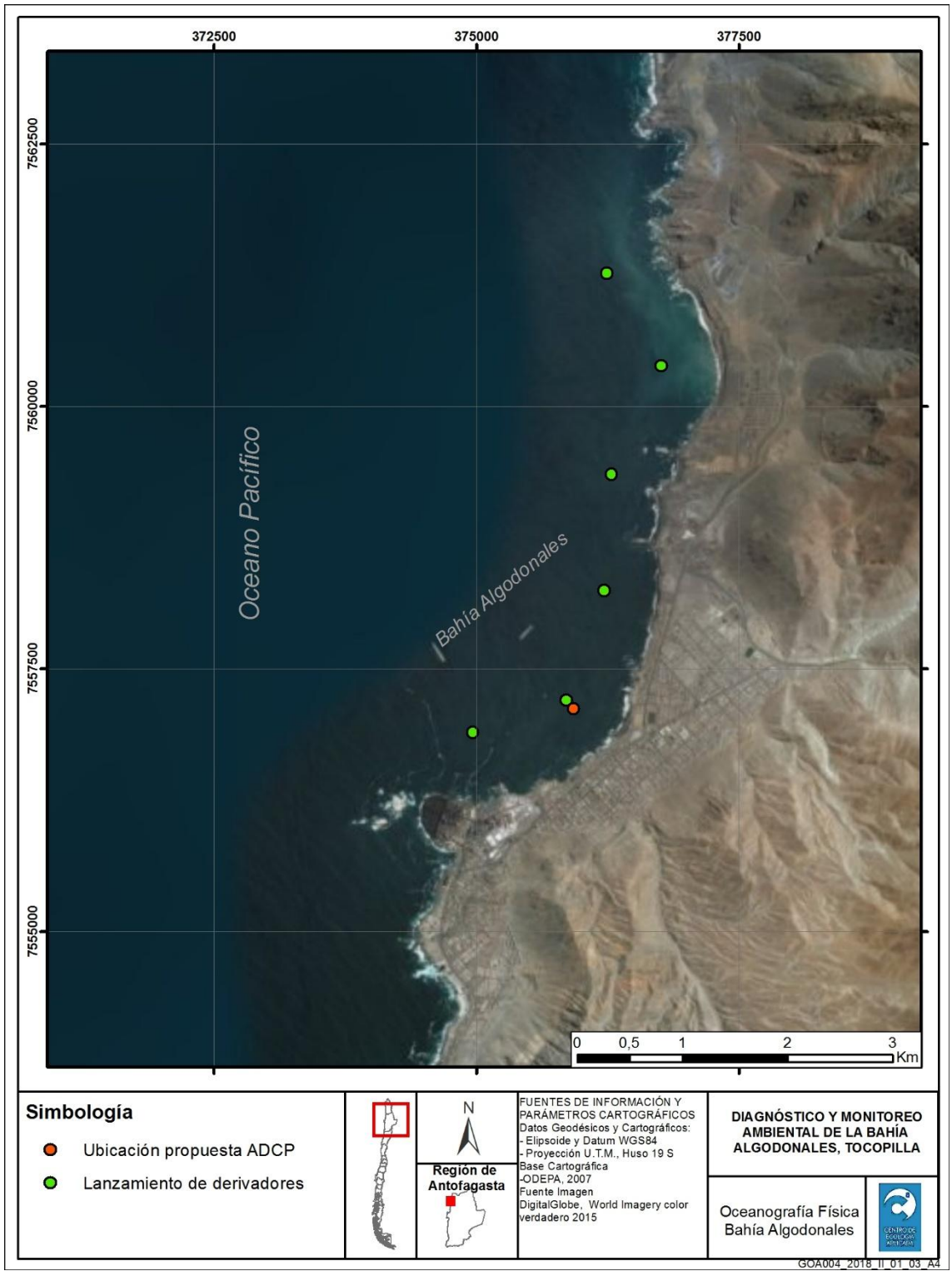


Figura 4.2-211: Puntos de muestreo de parámetros de oceanografía física en bahía Algodonales.

Tabla 4.2-65: Coordenadas de puntos de medición oceanográfica.

	Coordenada WGS84, UTM 19K	
Nombre	E (m)	N(m)
DER1	376238.0	7561270.0
DER2	376754.0	7560389.0
DER3	376283.0	7559357.0
DER4	376214.0	7558249.0
DER5	375853.0	7557201.0
DER6	374965.0	7556898.0
ADCP	375925.0	7557122.2

4.2.2.1 Campaña invierno 2018

4.2.2.1.1 Corrientes Eulerianas

En la Figura 4.2-212 se presenta la información registrada con el ADCP, de manera integrada para toda la columna de agua. La figura presenta los componentes ortogonales (Este y Norte) en profundidad. Se aprecia que las mayores magnitudes de corriente fueron obtenidas en las capas superficiales

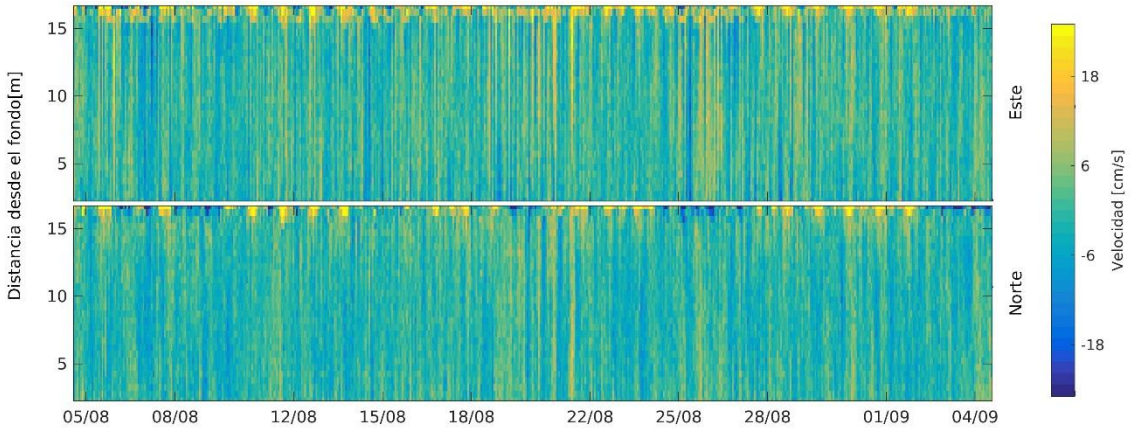


Figura 4.2-212: Registros de velocidades Eulerianas, componentes este y norte, agosto 2018.

A modo de representar el ciclo diario de corrientes y su estructura vertical, se efectuó un promedio diario de todo el perfil de corrientes, en dirección Este y Norte. Este resultado se presenta en la Figura 4.2-213.

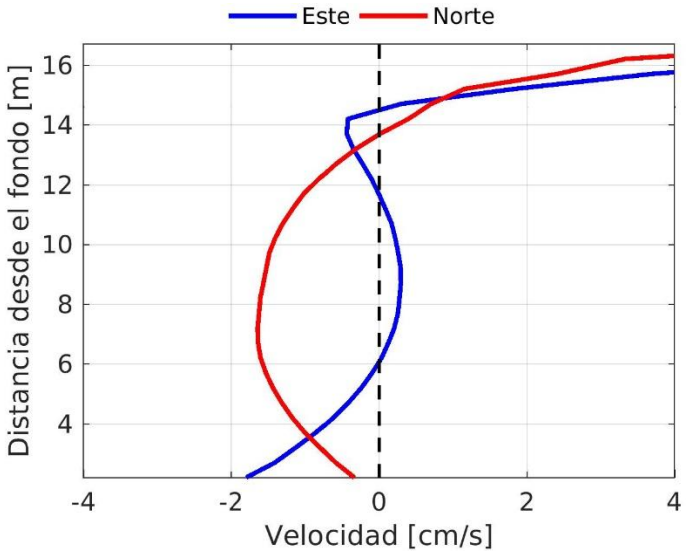


Figura 4.2-213: Estructura vertical de componentes ortogonales, ciclo diario de marea, agosto 2018.

Adicionalmente, en la Figura 4.2-214 se presentan los registros de velocidad y dirección de corrientes según las 3 capas definidas, representados como “chascones”. Los resultados son suavizados para facilitar su interpretación. Para las tres capas se observa que se producen cambios en el sentido de la velocidad, pasando desde valores positivos a negativos. En el caso de la capa superficial, dentro del mes de medición las corrientes se mantienen mayormente en valores positivos, con tendencia al NE. Para la capa intermedia en cambio, se aprecia mayor preferencia hacia valores negativos S. Finalmente, para la capa de fondo, se aprecia mayores variaciones en las direcciones registradas.

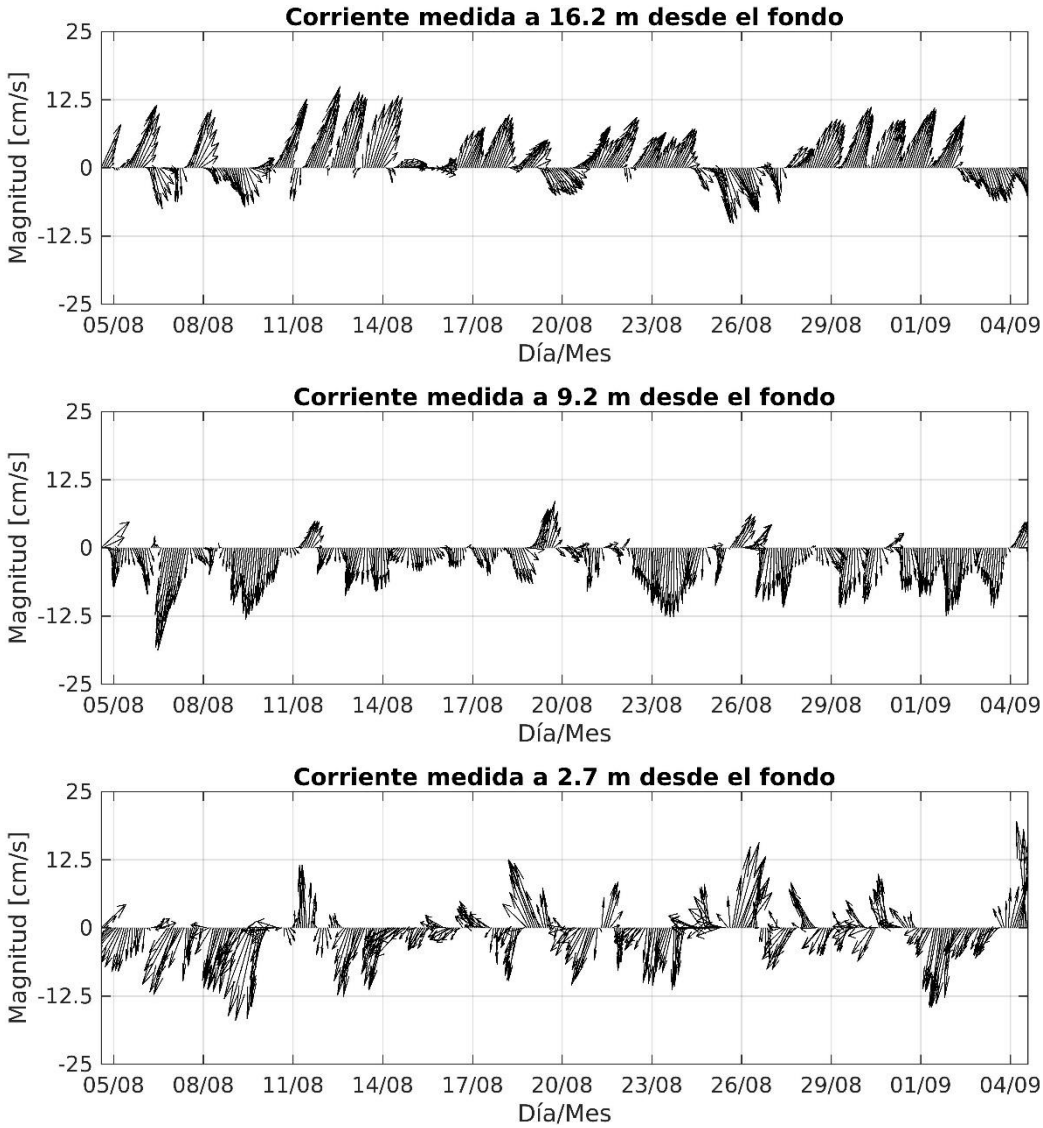


Figura 4.2-214: Registro de velocidad y dirección de corrientes según las capas definidas. Período de agosto 2018. *Nota: Las series de tiempo han sido suavizadas para facilitar su visualización.*

xiii. Capa superficial

A continuación, se presentan los resultados a nivel superficial de la columna de agua. La Tabla 4.2-66 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-67 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-215 se presentan los histogramas de magnitud y dirección.

La capa superficial muestra una predominancia hacia las direcciones NE y E, con un 28,33 y 25,98%, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 10,12 cm/s, mientras que el máximo fue de 59,6 cm/s, y estuvo asociado a la dirección N (Tabla 4.2-66 y Figura 4.2-215).

Tabla 4.2-66: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa superficial, campaña invierno 2018.

	Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%). Capa superficial.								
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.22	0.09	0.11	0.09	0.07	0.09	0.11	0.13	0.92
]1,4]	1.30	1.34	1.79	1.41	1.32	1.41	0.99	1.21	10.77
]4,7]	1.90	2.51	3.16	3.29	2.15	1.03	1.48	1.43	16.95
]7,10]	1.50	3.18	5.35	3.47	1.34	0.92	1.05	0.90	17.72
]10,13]	0.92	3.85	4.84	2.58	1.14	0.52	0.27	0.47	14.58
]13,20]	1.14	8.40	8.09	3.63	1.79	0.20	0.40	0.52	24.17
]20,30]	0.52	7.05	2.51	1.14	0.81	0.09	0.04	0.13	12.30
]30,50]	0.31	1.81	0.13	0.09	0.07	0.00	0.00	0.02	2.44
]50,∞[	0.04	0.09	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.16
Total	7.86	28.33	25.98	15.70	8.71	4.26	4.34	4.82	100.00
Máximo(cm/s)	59.60	56.90	33.40	30.80	54.40	23.40	24.40	31.00	59.60
Promedio(cm/s)	10.47	16.41	12.24	10.65	10.42	6.55	6.83	7.42	10.12

Tabla 4.2-67: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa superficial, campaña de invierno 0218.

	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa superficial								
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.04	0.09	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.16
>30	0.34	1.88	0.13	0.09	0.09	0.00	0.00	0.02	2.55
>20	0.87	8.96	2.60	1.21	0.90	0.07	0.04	0.16	14.80
>13	1.99	17.16	10.64	4.75	2.64	0.29	0.43	0.65	38.54
>10	2.91	21.05	15.41	7.32	3.79	0.81	0.72	1.08	53.08
>7	4.37	24.34	20.83	10.77	5.15	1.70	1.72	2.02	70.91
>4	6.29	26.88	23.96	14.13	7.26	2.71	3.25	3.43	87.91
>1	7.59	28.20	25.87	15.59	8.62	4.17	4.23	4.66	98.93

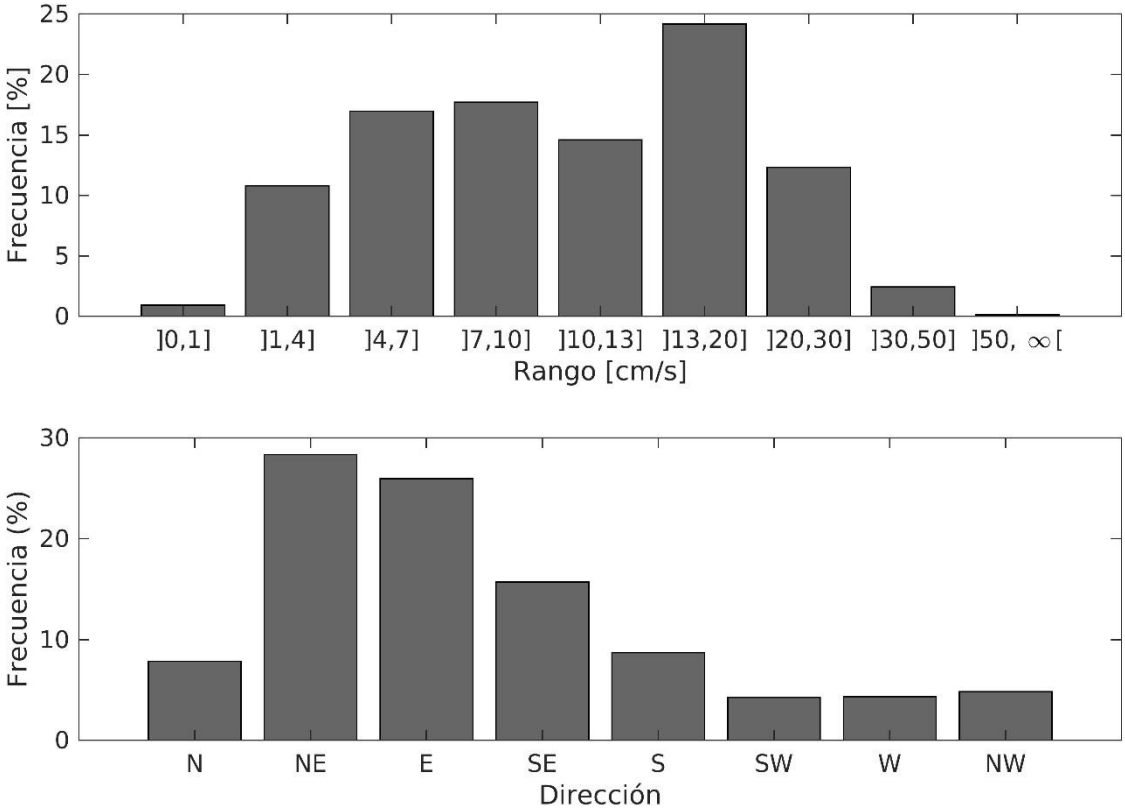


Figura 4.2-215: Histograma de Magnitud y Dirección, capa superficial, campaña de invierno 2018.

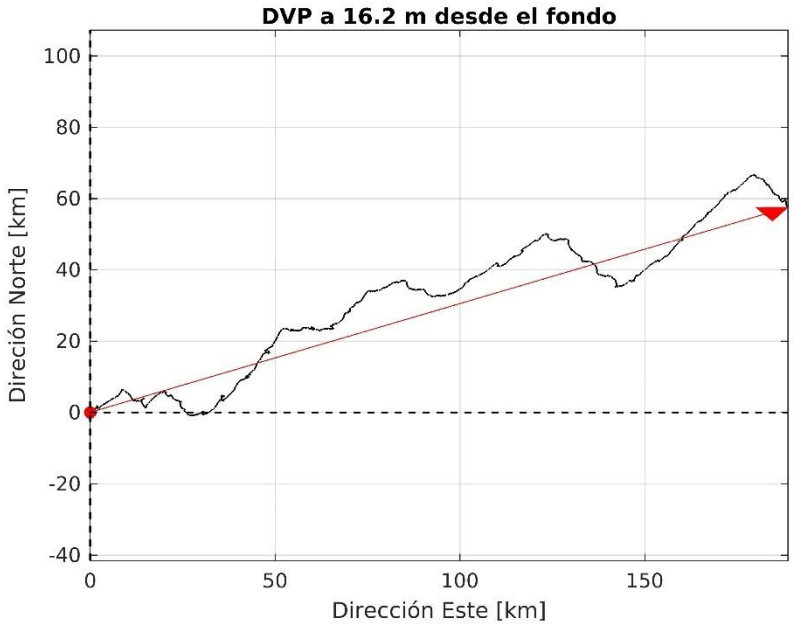


Figura 4.2-216: Diagramas de vector progresivo para capa superficial, campaña de invierno 2018.

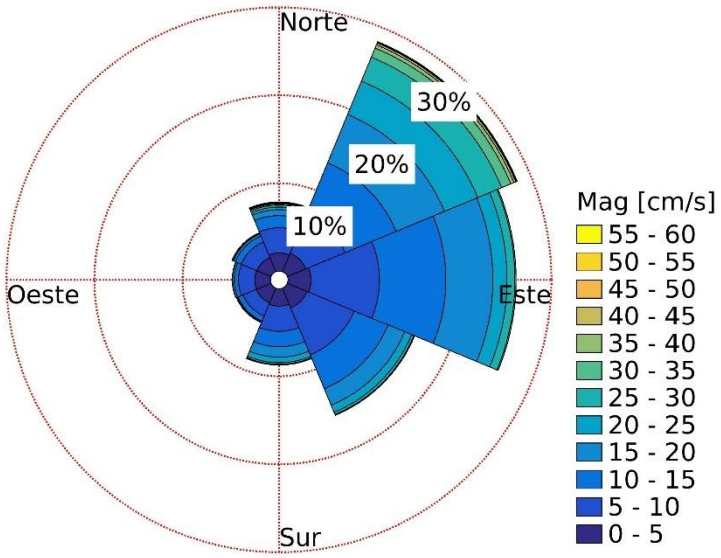


Figura 4.2-217: Rosa de corrientes para las capas superficiales, campaña de invierno 2018.

xiv. Capa Intermedia

En la presente sección se presentan los resultados de la capa intermedia de la columna de agua. La Tabla 4.2-68 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-69 Tabla 4.2-69: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña invierno 2018.presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-218 se presentan los histogramas correspondientes, a modo de observar la tendencia de la capa.

La capa intermedia presentó direcciones de corriente bastante distribuidas (ver Tabla 4.2-68 y Figura 4.2-218), presentando una leve predominancia hacia las direcciones SW y S, que presentaron un 17,72 y 17,31% de las mediciones, respectivamente. Las magnitudes de la capa intermedia presentaron un valor promedio de 5,02 cm/s (inferior a la capa superficial), mientras que el máximo fue de 20,4 cm/s, y estuvo asociado a la dirección W. Un 37,8% de las mediciones obtuvo una magnitud entre los 4 y los 7 cm/s.

Tabla 4.2-68: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña de invierno 2018.

	Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%), capa intermedia								
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.43	0.58	0.29	0.45	0.31	0.38	0.52	0.31	3.27
]1,4]	2.60	3.63	4.97	5.51	5.06	5.24	3.52	3.49	34.02
]4,7]	1.52	4.03	5.58	5.85	6.70	6.99	4.75	2.35	37.76
]7,10]	0.47	1.30	2.80	2.89	4.39	3.58	1.97	0.54	17.94
]10,13]	0.11	0.69	1.37	0.72	0.74	1.25	0.43	0.13	5.44
]13,20]	0.00	0.27	0.49	0.09	0.11	0.27	0.25	0.07	1.55
]20,30]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02

	Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%), capa intermedia								
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]30,50]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]50,∞[	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	5.13	10.50	15.50	15.50	17.31	17.72	11.44	6.90	100.00
Máximo(cm/s)	12.60	18.20	19.20	16.70	14.20	16.20	20.40	15.60	20.40
Promedio(cm/s)	3.89	5.07	5.77	5.13	5.49	5.63	5.16	4.03	5.02

Tabla 4.2-69: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña invierno 2018.

	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa intermedia								
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
>13	0.00	0.25	0.47	0.09	0.11	0.22	0.25	0.04	1.43
>10	0.09	0.92	1.79	0.78	0.78	1.37	0.67	0.20	6.61
>7	0.56	2.19	4.59	3.49	4.99	4.99	2.53	0.74	24.10
>4	2.08	6.07	10.12	9.43	11.60	11.71	7.17	2.89	61.08
>1	4.66	9.81	15.12	15.01	16.91	17.25	10.82	6.56	96.13

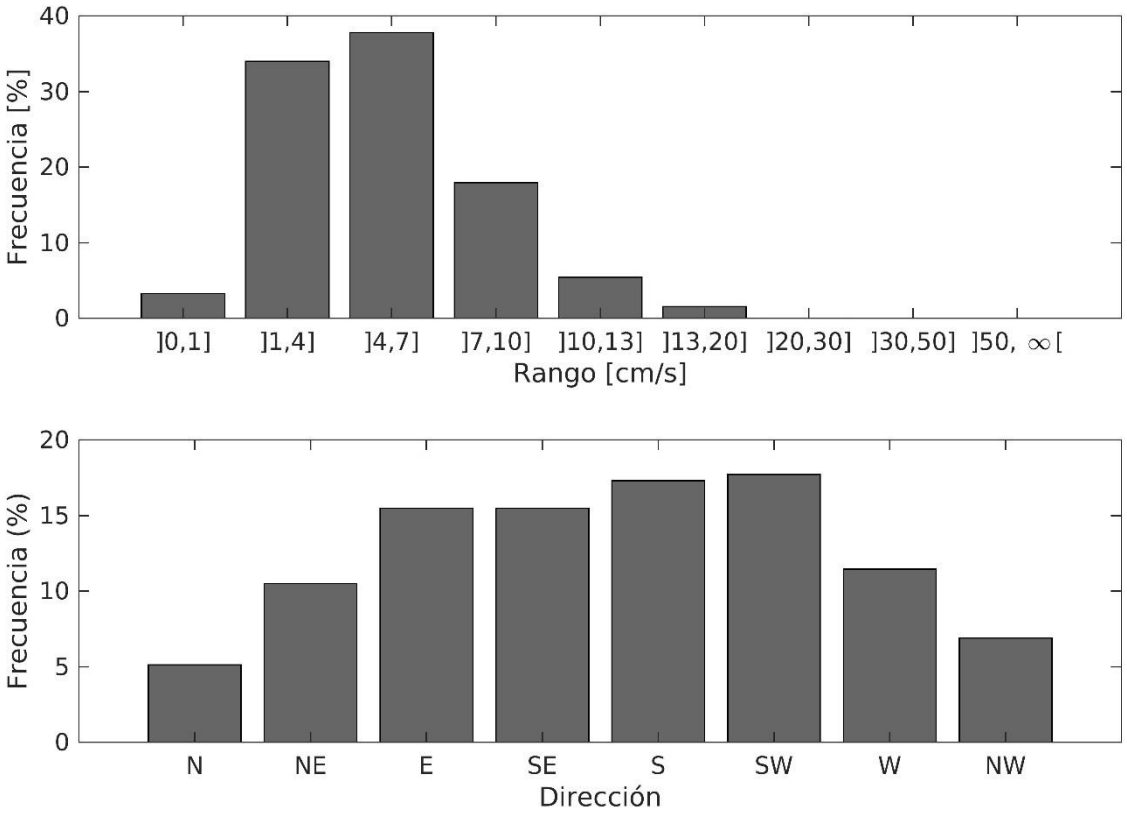


Figura 4.2-218: Histogramas de magnitud y dirección, capa intermedia, campaña de invierno 2018.

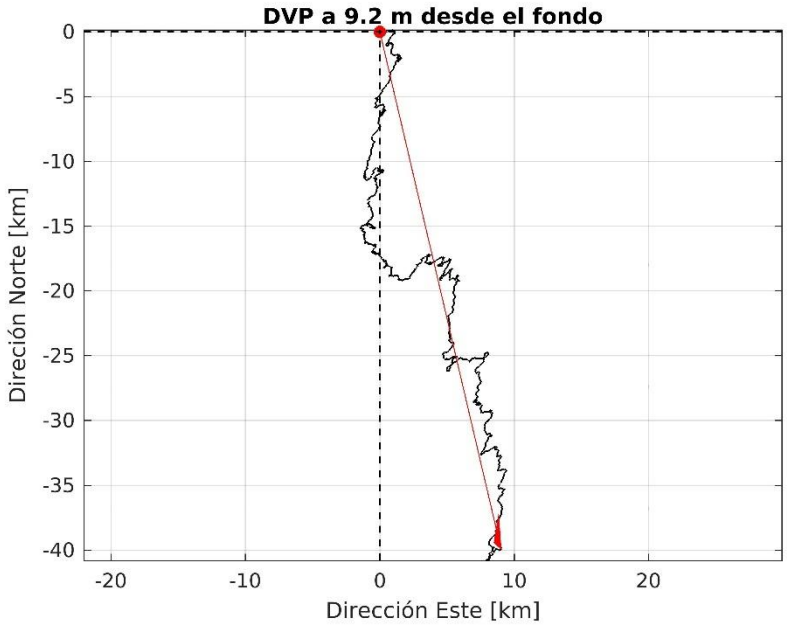


Figura 4.2-219: Diagramas de vector progresivo para las capas intermedias, campaña invierno 2018.

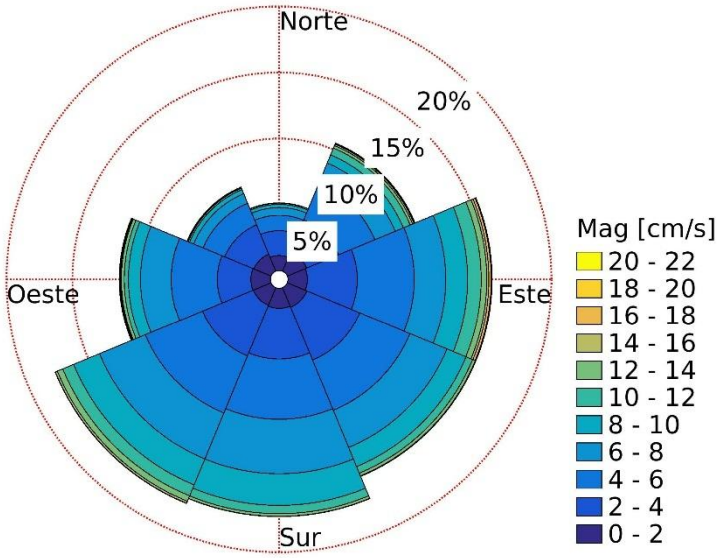


Figura 4.2-220: Rosa de corrientes para la capa intermedia, campaña invierno 2018.

xv. Capa de fondo

En la presente sección se presentan los resultados de la capa de fondo de la columna de agua. De forma análoga a las capas superiores, la Tabla 4.2-70 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-71 presenta las frecuencias de excedencia. En la Figura 4.2-221 se presentan los histogramas correspondientes, a modo de observar la tendencia de la capa.

Los resultados obtenidos en la capa de fondo fueron similares a aquellos descritos para la capa intermedia. La capa de fondo presentó direcciones de corriente bastante distribuidas (Tabla 4.2-70 y Figura 4.2-221), presentando en este caso una predominancia hacia la dirección W, con un 18,97% de las mediciones. Las magnitudes de la capa de fondo presentaron un valor promedio de 5,54 cm/s y el valor máximo medido fue de 20,8 cm/s (ambos similares a los presentados en la capa intermedia). Un 37% de las mediciones obtuvo una magnitud entre los 4 y los 7 cm/s

Tabla 4.2-70: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña de invierno 2018.

	Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%), capa de fondo								
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.22	0.18	0.38	0.22	0.29	0.25	0.25	0.25	2.04
]1,4]	2.96	2.80	3.16	4.03	4.28	4.61	4.37	3.58	29.79
]4,7]	3.27	2.37	2.98	5.38	5.35	5.53	6.79	5.40	37.07
]7,10]	1.66	0.92	2.08	2.71	2.91	2.60	4.73	3.87	21.48
]10,13]	0.29	0.13	0.65	1.01	0.72	1.08	1.88	1.81	7.57

	Frecuencia según Dirección y Rango de magnitud de corriente (%), capa de fondo								
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]13,20]	0.09	0.04	0.07	0.13	0.04	0.13	0.92	0.58	2.02
]20,30]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04
]30,50]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]50,∞[	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	8.49	6.45	9.32	13.48	13.59	14.20	18.97	15.50	100.00
Máximo(cm/s)	14.00	15.10	18.50	15.50	13.70	15.70	20.80	18.20	20.80
Promedio(cm/s)	5.02	4.66	5.40	5.56	5.32	5.41	6.53	6.45	5.54

Tabla 4.2-71. Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña de invierno 2018.

	Frecuencia según dirección y Excedencia de corriente (%), capa de fondo								
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04
>13	0.07	0.04	0.07	0.09	0.02	0.11	0.94	0.58	1.93
>10	0.34	0.16	0.67	1.05	0.69	1.08	2.69	2.28	8.96
>7	1.95	1.05	2.75	3.67	3.54	3.67	7.48	6.02	30.15
>4	5.11	3.38	5.69	8.96	8.73	9.09	14.22	11.51	66.70
>1	8.20	6.27	8.89	13.17	13.21	13.91	18.57	15.25	97.47

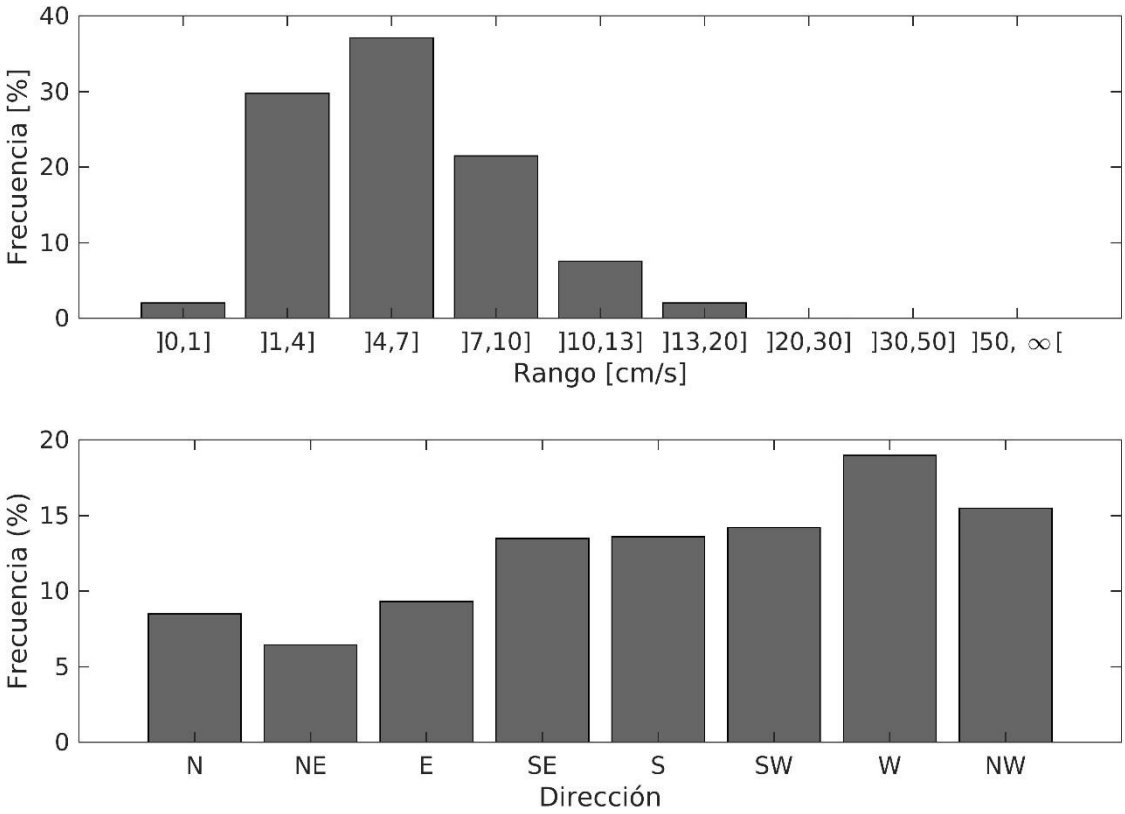


Figura 4.2-221: Histogramas de magnitud y dirección de corriente, capa de fondo, campaña de invierno 2018.

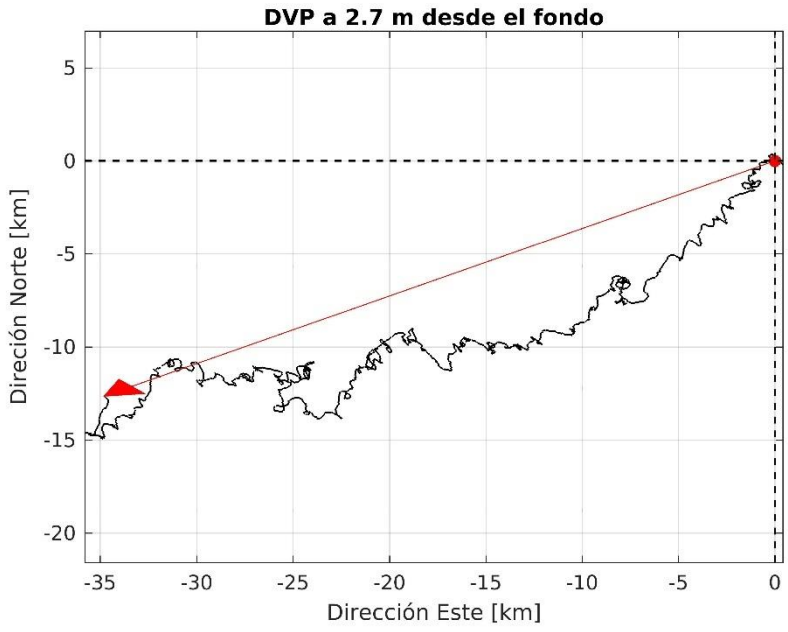


Figura 4.2-222: Diagrama de vector progresivo para la capa de fondo, campaña de invierno 2018.

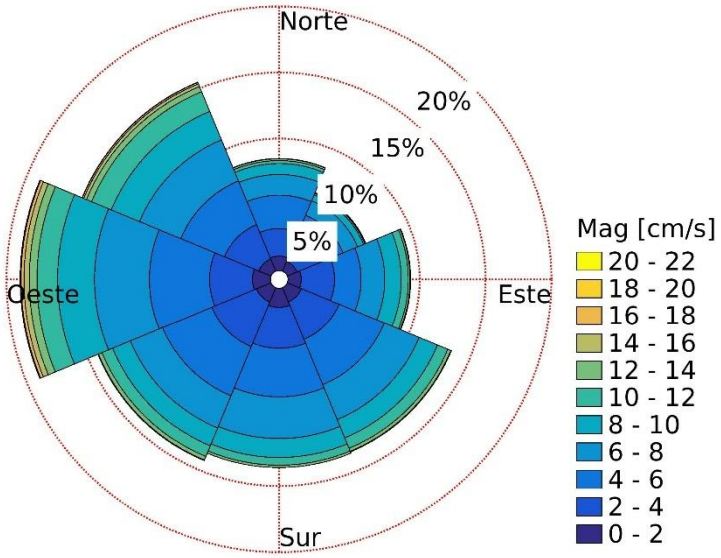


Figura 4.2-223: Rosa de corrientes para la capa de fondo, campaña de invierno 2018.

xvi. Armónicos de corrientes

Para los armónicos de corrientes, se identificaron los armónicos principales a partir de las amplitudes identificadas en la marea. De laFigura 4.2-224 se puede apreciar que los armónicos principales corresponden a 5 (K1, M2, N2, O1 y S2).

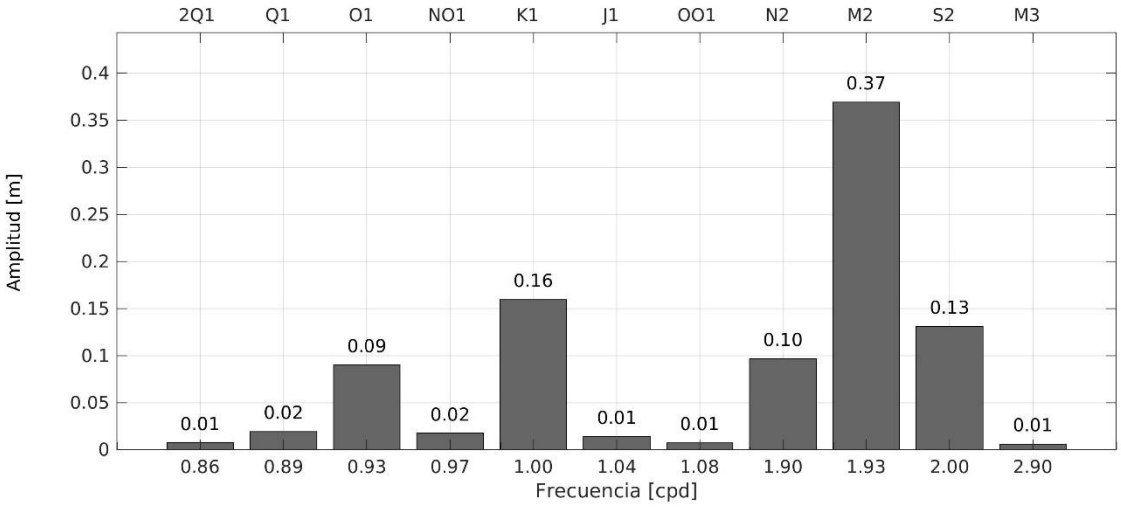


Figura 4.2-224: Frecuencia de armónicos, campaña de invierno 2018.

En la Figura 4.2-225 se presentan las elipses de los componentes principales (armónicos) en distintas profundidades de la columna de agua. Dichos componentes indican el comportamiento de las corrientes. Los componentes más relevantes corresponden a K1

(diurno) y M2 (semidiurno). En ambos se aprecia una mayor amplitud de la elipse en la capa superficial en relación a las más profundas, sin embargo, en el componente K1 las elipses van aumentando hacia el fondo. Se aprecian leves rotaciones de dirección a lo largo de la columna de agua.

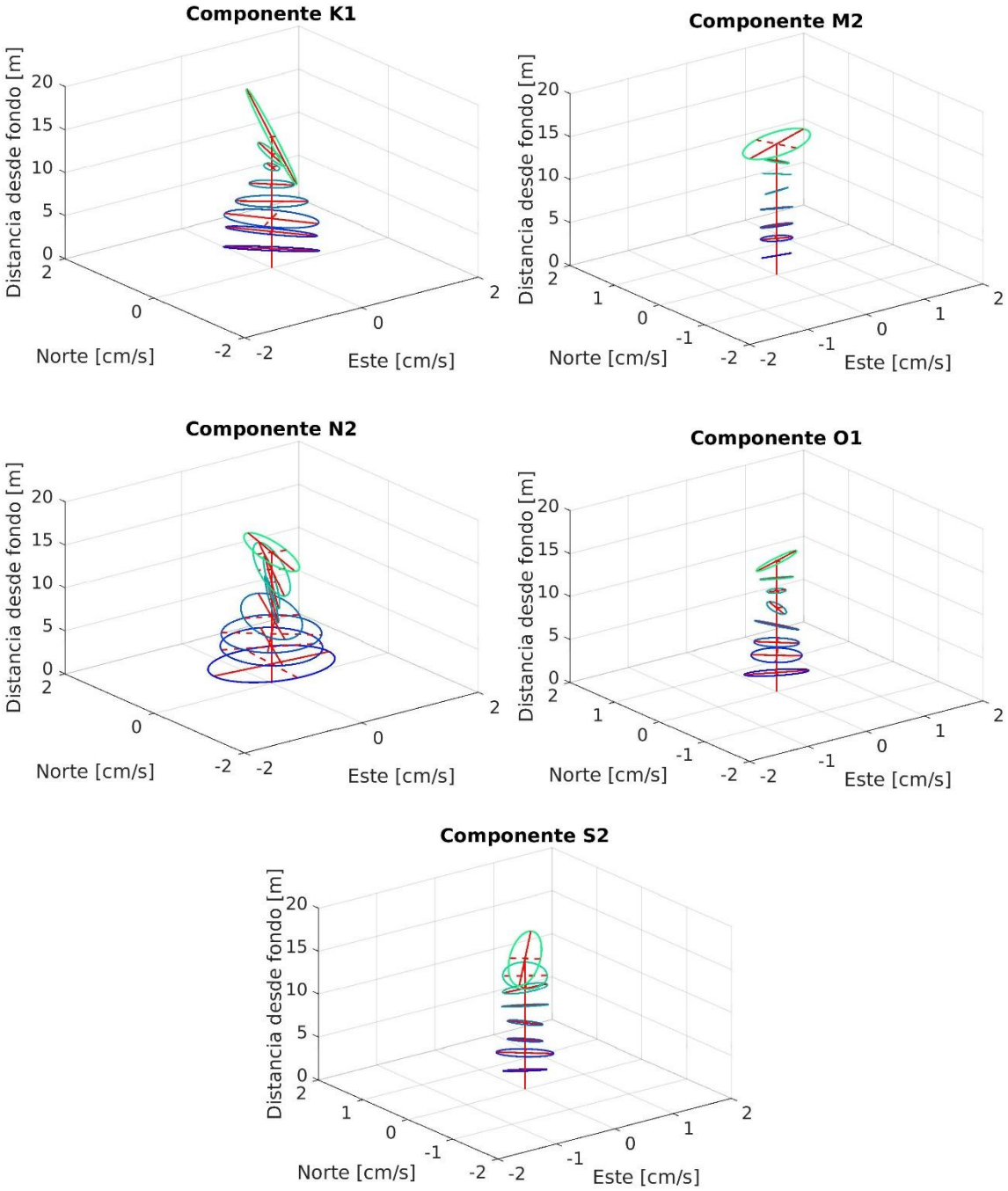


Figura 4.2-225: Elipses de corrientes de los componentes principales de marea en la columna de agua, campaña de invierno 2018

4.2.2.1.2 Corrientes Lagrangianas

La dinámica del campo de velocidades se evalúo a partir de los derivadores utilizados en terreno. Las Figura 4.2-226 y Figura 4.2-227, dan cuenta de la trayectoria de los derivadores utilizados, a niveles de 0 m y 5 m de profundidad, para las condiciones de cuadratura llenante y vaciante para los derivadores DER1, DER2 y DER3, y cuadratura vaciante y llenante para los derivadores DER4, DER5 y DER6. Las Figura 4.2-228 y Figura 4.2-229 dan cuenta de la trayectoria de los derivadores a niveles 0 y 5 m de profundidad, para las condiciones de sicigia vaciante y llenante. Las figuras son respaldadas con la Tabla 4.2-72, donde se presentan las distintas posiciones de los derivadores para distintos instantes de tiempo, y condiciones de mar.

De las trayectorias obtenidas, se observa que para cuadratura, a lo largo de la bahía se tiene una corriente predominante Norte, tanto en la condición llenante como vaciante en los 6 puntos de lanzamiento de derivadores (Figura 4.2-226 y Figura 4.2-227). Las trayectorias resultan similares al comparar los derivadores en ambos niveles de profundidad.

Por otro lado, para Sicigia se observó un comportamiento más disperso entre los derivadores, e incluso entre las distintas profundidades (Figura 4.2-228 y Figura 4.2-229). Los derivadores DER1, DER2 DER3 y DER4 presentaron corrientes con predominancia hacia el Este y Sur-Este en sicigia vaciante, mientras que los derivadores DER5 y DER6 presentaron corrientes con tendencias hacia el Oeste bajo la misma condición de marea.

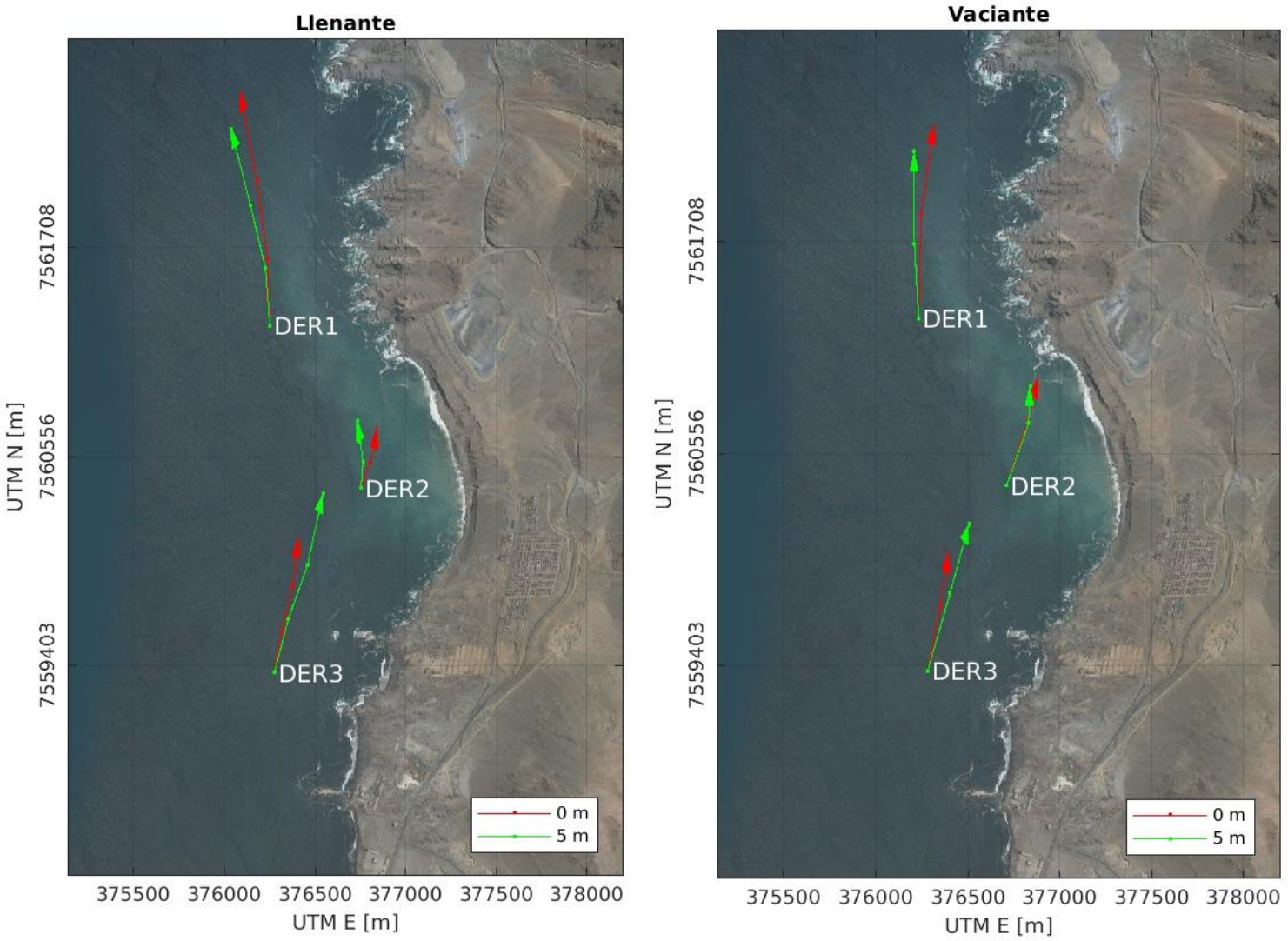


Figura 4.2-226: Trayectoria de derivadores DER1, DER2 y DER3 en cuadratura para fases de vaciante y llenante, campaña de invierno 2018.

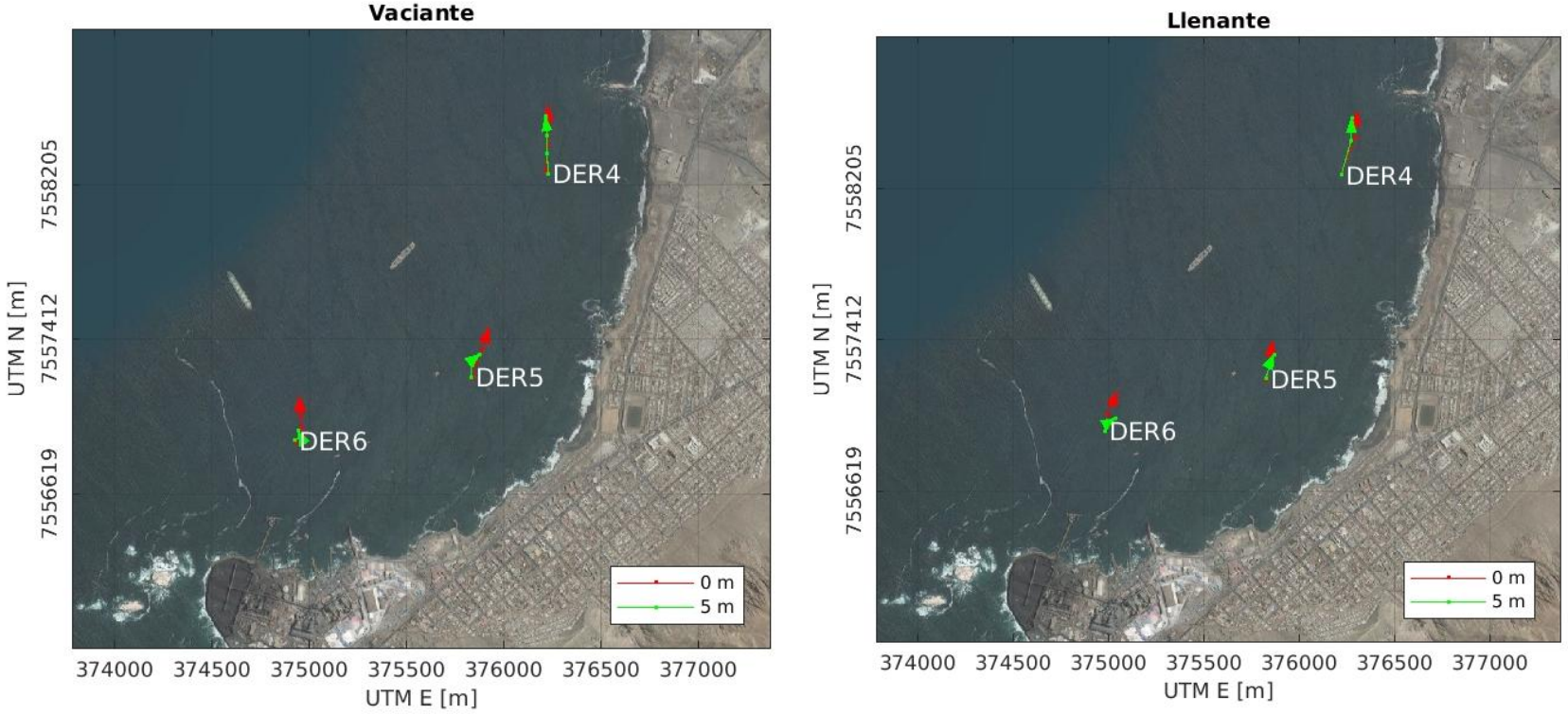


Figura 4.2-227: Trayectoria de derivadores DER4, DER5 y DER6 en cuadratura para fase de vaciante y llenante, campaña de invierno 2018.

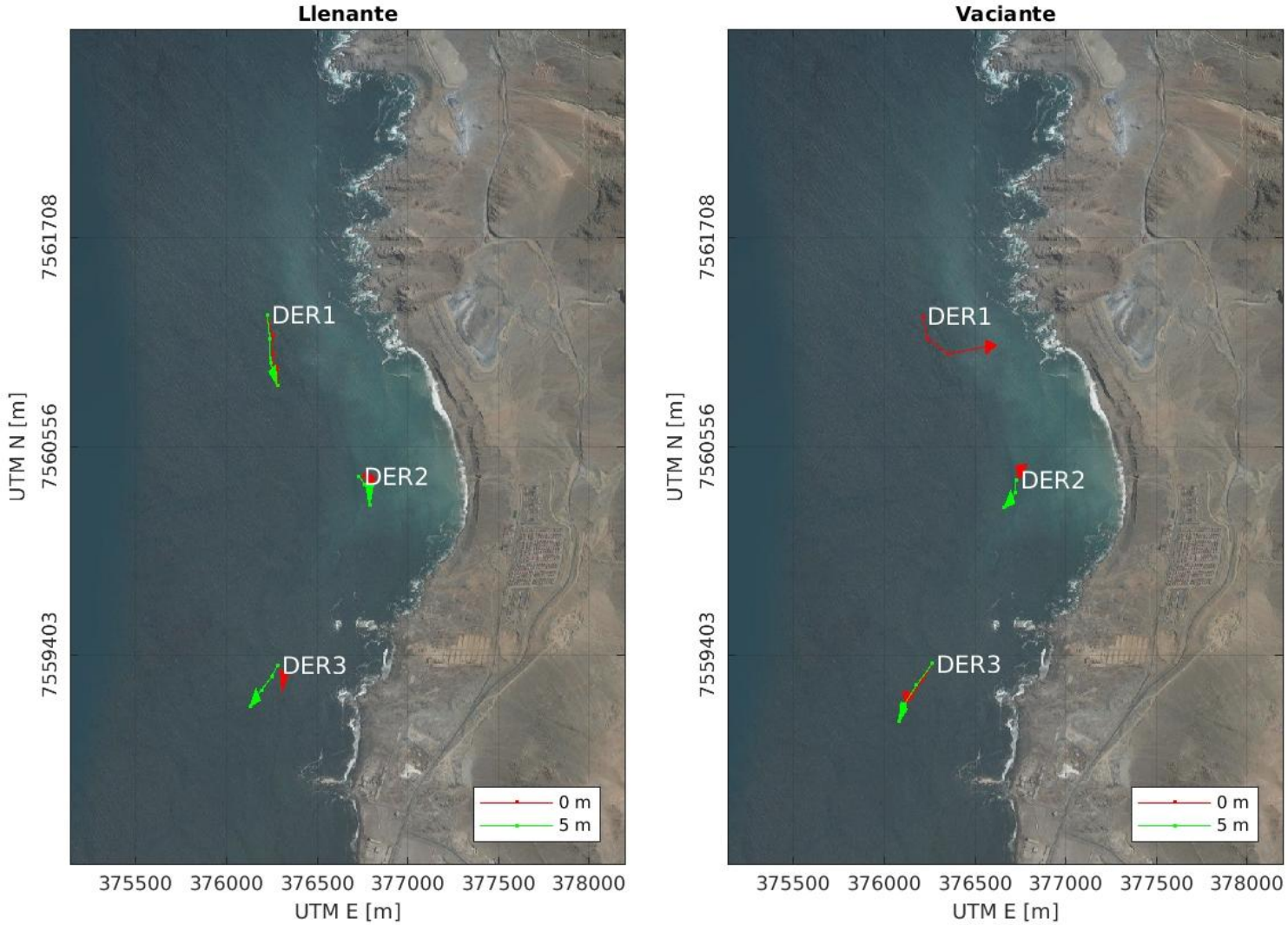


Figura 4.2-228: Trayectoria de derivadores DER1, DER2 y DEER3 en sicigia para fase llenante y vaciante, campaña de invierno 2018.

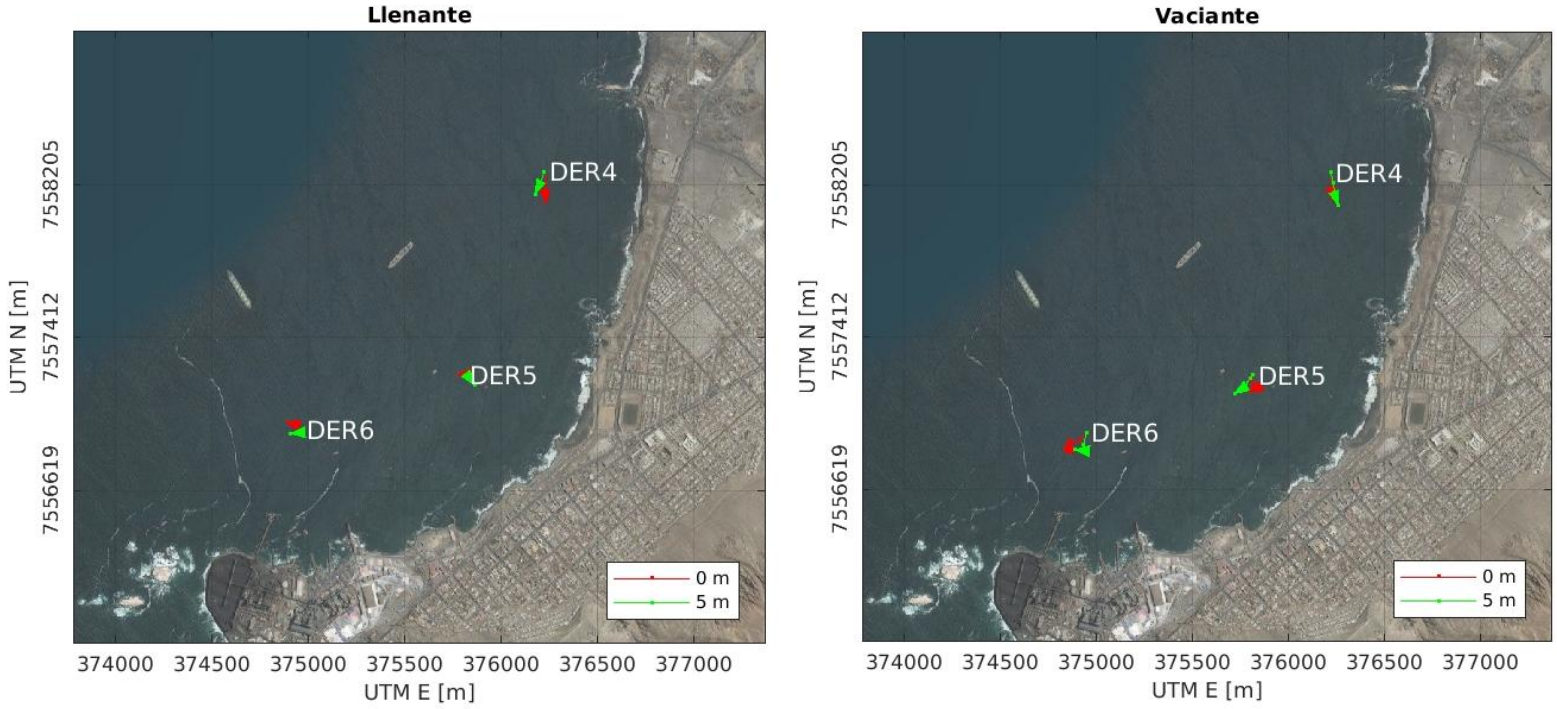


Figura 4.2-229: Trayectoria de derivadores DER4, DER5 y DERR6 en sicigia para fase llenante y vaciante, campaña de invierno 2018.

Tabla 4.2-72: Desplazamientos de los derivadores lanzados en Bahía Algodonales, en campaña de invierno 2018.

PtoDer	UTM E	UTM N	Estrato (m)	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER1	376256.16	7561278.09	0	04-08-2018	14:52:12	Cuadratura	Llenante
DER1	376240.25	7561647.52	0	04-08-2018	15:17:59	Cuadratura	Llenante
DER1	376183.60	7562078.29	0	04-08-2018	15:45:20	Cuadratura	Llenante
DER1	376089.86	7562568.11	0	04-08-2018	16:17:26	Cuadratura	Llenante
DER1	376237.27	7561290.22	0	04-08-2018	13:19:00	Cuadratura	Vaciante
DER1	376319.09	7562346.27	0	04-08-2018	14:25:27	Cuadratura	Vaciante
DER1	376249.48	7561851.73	0	04-08-2018	13:55:58	Cuadratura	Vaciante
DER1	376256.16	7561278.09	5	04-08-2018	14:52:12	Cuadratura	Llenante
DER1	376230.55	7561594.74	5	04-08-2018	15:17:36	Cuadratura	Llenante
DER1	376147.52	7561942.94	5	04-08-2018	15:44:21	Cuadratura	Llenante
DER1	376041.01	7562361.69	5	04-08-2018	16:15:37	Cuadratura	Llenante
DER1	376237.27	7561290.22	5	04-08-2018	13:19:00	Cuadratura	Vaciante
DER1	376211.37	7562196.85	5	04-08-2018	14:23:51	Cuadratura	Vaciante
DER1	376213.56	7561694.13	5	04-08-2018	13:54:28	Cuadratura	Vaciante
DER2	376757.33	7560382.70	0	04-08-2018	14:59:02	Cuadratura	Llenante
DER2	376807.25	7560518.39	0	04-08-2018	15:25:40	Cuadratura	Llenante
DER2	376832.38	7560617.45	0	04-08-2018	15:54:44	Cuadratura	Llenante
DER2	376843.84	7560708.99	0	04-08-2018	16:30:05	Cuadratura	Llenante
DER2	376714.52	7560380.49	0	04-08-2018	13:27:44	Cuadratura	Vaciante
DER2	376884.45	7560965.49	0	04-08-2018	14:34:15	Cuadratura	Vaciante
DER2	376834.04	7560747.44	0	04-08-2018	14:03:34	Cuadratura	Vaciante
DER2	376757.33	7560382.70	5	04-08-2018	14:59:02	Cuadratura	Llenante
DER2	376768.98	7560529.16	5	04-08-2018	15:25:18	Cuadratura	Llenante
DER2	376753.91	7560635.33	5	04-08-2018	15:54:08	Cuadratura	Llenante
DER2	376736.05	7560754.20	5	04-08-2018	16:28:38	Cuadratura	Llenante
DER2	376714.52	7560380.49	5	04-08-2018	13:27:44	Cuadratura	Vaciante
DER2	376842.57	7560924.20	5	04-08-2018	14:35:11	Cuadratura	Vaciante
DER2	376834.76	7560721.31	5	04-08-2018	14:03:53	Cuadratura	Vaciante
DER3	376279.56	7559364.18	0	04-08-2018	15:05:52	Cuadratura	Llenante
DER3	376320.91	7559591.57	0	04-08-2018	15:31:52	Cuadratura	Llenante
DER3	376381.82	7559838.17	0	04-08-2018	16:01:20	Cuadratura	Llenante
DER3	376413.45	7560107.88	0	04-08-2018	16:35:18	Cuadratura	Llenante
DER3	376285.47	7559373.53	0	04-08-2018	13:35:56	Cuadratura	Vaciante
DER3	376400.20	7560020.76	0	04-08-2018	14:42:18	Cuadratura	Vaciante
DER3	376354.17	7559719.60	0	04-08-2018	14:10:57	Cuadratura	Vaciante
DER3	376279.56	7559364.18	5	04-08-2018	15:05:52	Cuadratura	Llenante
DER3	376356.99	7559661.28	5	04-08-2018	15:31:14	Cuadratura	Llenante
DER3	376462.93	7559957.59	5	04-08-2018	16:00:08	Cuadratura	Llenante
DER3	376547.44	7560352.17	5	04-08-2018	16:38:08	Cuadratura	Llenante
DER3	376285.47	7559373.53	5	04-08-2018	13:35:56	Cuadratura	Vaciante
DER3	376510.86	7560174.74	5	04-08-2018	14:40:35	Cuadratura	Vaciante
DER3	376407.73	7559798.18	5	04-08-2018	14:10:07	Cuadratura	Vaciante
DER4	376225.00	7558278.00	0	04-08-2018	13:53:36	Cuadratura	Llenante

PtoDer	UTM E	UTM N	Estrato (m)	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER4	376299.00	7558469.00	0	04-08-2018	14:18:33	Cuadratura	Llenante
DER4	376308.00	7558605.00	0	04-08-2018	14:36:15	Cuadratura	Llenante
DER4	376218.00	7558268.00	0	04-08-2018	14:39:09	Cuadratura	Vaciante
DER4	376229.00	7558396.00	0	04-08-2018	15:01:12	Cuadratura	Vaciante
DER4	376239.00	7558508.00	0	04-08-2018	15:17:17	Cuadratura	Vaciante
DER4	376231.00	7558604.00	0	04-08-2018	15:35:03	Cuadratura	Vaciante
DER4	376225.00	7558271.00	5	04-08-2018	13:53:16	Cuadratura	Llenante
DER4	376277.00	7558450.00	5	04-08-2018	14:18:20	Cuadratura	Llenante
DER4	376280.00	7558569.00	5	04-08-2018	14:35:30	Cuadratura	Llenante
DER4	376232.00	7558256.00	5	04-08-2018	14:39:27	Cuadratura	Vaciante
DER4	376229.00	7558361.00	5	04-08-2018	15:00:58	Cuadratura	Vaciante
DER4	376230.00	7558450.00	5	04-08-2018	15:17:04	Cuadratura	Vaciante
DER4	376218.00	7558550.00	5	04-08-2018	15:34:23	Cuadratura	Vaciante
DER5	375833.00	7557192.00	0	04-08-2018	14:00:29	Cuadratura	Llenante
DER5	375852.00	7557321.00	0	04-08-2018	14:24:04	Cuadratura	Llenante
DER5	375856.00	7557341.00	0	04-08-2018	14:31:07	Cuadratura	Llenante
DER5	375866.00	7557400.00	0	04-08-2018	14:45:01	Cuadratura	Llenante
DER5	375842.00	7557205.00	0	04-08-2018	14:46:41	Cuadratura	Vaciante
DER5	375846.00	7557203.00	0	04-08-2018	14:46:47	Cuadratura	Vaciante
DER5	375862.00	7557287.00	0	04-08-2018	15:06:25	Cuadratura	Vaciante
DER5	375896.00	7557351.00	0	04-08-2018	15:22:02	Cuadratura	Vaciante
DER5	375929.00	7557464.00	0	04-08-2018	15:43:32	Cuadratura	Vaciante
DER5	375830.00	7557205.00	5	04-08-2018	13:59:50	Cuadratura	Llenante
DER5	375851.00	7557279.00	5	04-08-2018	14:23:44	Cuadratura	Llenante
DER5	375854.00	7557290.00	5	04-08-2018	14:30:54	Cuadratura	Llenante
DER5	375873.00	7557328.00	5	04-08-2018	14:44:06	Cuadratura	Llenante
DER5	375838.00	7557212.00	5	04-08-2018	14:46:33	Cuadratura	Vaciante
DER5	375842.00	7557271.00	5	04-08-2018	15:06:07	Cuadratura	Vaciante
DER5	375855.00	7557310.00	5	04-08-2018	15:21:43	Cuadratura	Vaciante
DER5	375883.00	7557331.00	5	04-08-2018	15:42:20	Cuadratura	Vaciante
DER6	374987.00	7556930.00	0	04-08-2018	14:05:31	Cuadratura	Llenante
DER6	375002.00	7557023.00	0	04-08-2018	14:27:51	Cuadratura	Llenante
DER6	375050.00	7557135.00	0	04-08-2018	14:51:31	Cuadratura	Llenante
DER6	374936.00	7556877.00	0	04-08-2018	14:53:42	Cuadratura	Vaciante
DER6	374967.00	7556953.00	0	04-08-2018	15:10:26	Cuadratura	Vaciante
DER6	374960.00	7557013.00	0	04-08-2018	15:26:42	Cuadratura	Vaciante
DER6	374956.00	7557113.00	0	04-08-2018	15:49:44	Cuadratura	Vaciante
DER6	374984.00	7556928.00	5	04-08-2018	14:05:35	Cuadratura	Llenante
DER6	375010.00	7556977.00	5	04-08-2018	14:27:29	Cuadratura	Llenante
DER6	375043.00	7556997.00	5	04-08-2018	14:50:35	Cuadratura	Llenante
DER6	374933.00	7556889.00	5	04-08-2018	14:53:30	Cuadratura	Vaciante
DER6	374958.00	7556904.00	5	04-08-2018	15:10:13	Cuadratura	Vaciante
DER6	374959.00	7556915.00	5	04-08-2018	15:26:02	Cuadratura	Vaciante
DER6	374947.00	7556937.00	5	04-08-2018	15:48:37	Cuadratura	Vaciante
DER1	376228.00	7561284.00	0	08-12-2018	10:35:00	Sicigia	Llenante
DER1	376258.00	7561167.00	0	08-12-2018	10:56:00	Sicigia	Llenante
DER1	376258.00	7561060.00	0	08-12-2018	11:21:00	Sicigia	Llenante

PtoDer	UTM E	UTM N	Estrato (m)	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER1	376284.00	7560891.00	0	08-12-2018	11:47:00	Sicigia	Llenante
DER1	376216.00	7561275.00	0	08-12-2018	11:54:00	Sicigia	Vaciante
DER1	376242.00	7561152.00	0	08-12-2018	12:20:00	Sicigia	Vaciante
DER1	376356.00	7561067.00	0	08-12-2018	12:45:00	Sicigia	Vaciante
DER1	376620.00	7561116.00	0	08-12-2018	13:12:00	Sicigia	Vaciante
DER1	376228.00	7561284.00	5	08-12-2018	10:35:00	Sicigia	Llenante
DER1	376243.00	7561147.00	5	08-12-2018	10:58:00	Sicigia	Llenante
DER1	376246.00	7561019.00	5	08-12-2018	11:22:00	Sicigia	Llenante
DER1	376284.00	7560891.00	5	08-12-2018	11:47:00	Sicigia	Llenante
DER2	376735.00	7560390.00	0	08-12-2018	10:29:00	Sicigia	Llenante
DER2	376765.00	7560394.00	0	08-12-2018	10:52:00	Sicigia	Llenante
DER2	376812.00	7560378.00	0	08-12-2018	11:16:00	Sicigia	Llenante
DER2	376829.00	7560380.00	0	08-12-2018	11:42:00	Sicigia	Llenante
DER2	376730.00	7560373.00	0	08-12-2018	11:46:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376749.00	7560391.00	0	08-12-2018	12:15:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376744.00	7560417.00	0	08-12-2018	12:40:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376790.00	7560458.00	0	08-12-2018	13:07:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376735.00	7560390.00	5	08-12-2018	10:29:00	Sicigia	Llenante
DER2	376766.00	7560344.00	5	08-12-2018	10:51:00	Sicigia	Llenante
DER2	376792.00	7560292.00	5	08-12-2018	11:15:00	Sicigia	Llenante
DER2	376792.00	7560230.00	5	08-12-2018	11:42:00	Sicigia	Llenante
DER2	376730.00	7560373.00	5	08-12-2018	11:46:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376725.00	7560302.00	5	08-12-2018	12:14:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376704.00	7560266.00	5	08-12-2018	12:39:00	Sicigia	Vaciante
DER2	376663.00	7560218.00	5	08-12-2018	13:05:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376286.00	7559348.00	0	08-12-2018	10:24:00	Sicigia	Llenante
DER3	376334.00	7559298.00	0	08-12-2018	10:45:00	Sicigia	Llenante
DER3	376316.00	7559262.00	0	08-12-2018	11:05:00	Sicigia	Llenante
DER3	376311.00	7559203.00	0	08-12-2018	11:30:00	Sicigia	Llenante
DER3	376269.00	7559357.00	0	08-12-2018	11:33:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376210.00	7559260.00	0	08-12-2018	12:06:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376155.00	7559181.00	0	08-12-2018	12:31:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376170.00	7559186.00	0	08-12-2018	12:55:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376286.00	7559348.00	5	08-12-2018	10:24:00	Sicigia	Llenante
DER3	376252.00	7559284.00	5	08-12-2018	10:44:00	Sicigia	Llenante
DER3	376196.00	7559211.00	5	08-12-2018	11:06:00	Sicigia	Llenante
DER3	376133.00	7559121.00	5	08-12-2018	11:32:00	Sicigia	Llenante
DER3	376269.00	7559357.00	5	08-12-2018	11:33:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376181.00	7559237.00	5	08-12-2018	12:08:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376116.00	7559134.00	5	08-12-2018	12:32:00	Sicigia	Vaciante
DER3	376084.00	7559036.00	5	08-12-2018	12:56:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376230.00	7558269.00	0	08-12-2018	10:31:00	Sicigia	Llenante
DER4	376232.00	7558205.00	0	08-12-2018	10:47:00	Sicigia	Llenante
DER4	376237.00	7558100.00	0	08-12-2018	11:03:00	Sicigia	Llenante
DER4	376226.00	7558264.00	0	08-12-2018	11:28:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376234.00	7558225.00	0	08-12-2018	11:42:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376245.00	7558175.00	0	08-12-2018	11:55:00	Sicigia	Vaciante

PtoDer	UTM E	UTM N	Estrato (m)	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER4	376232.00	7558151.00	0	08-12-2018	12:10:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376239.00	7558116.00	0	08-12-2018	12:29:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376230.00	7558269.00	5	08-12-2018	10:31:00	Sicigia	Llenante
DER4	376211.00	7558213.00	5	08-12-2018	10:47:00	Sicigia	Llenante
DER4	376181.00	7558151.00	5	08-12-2018	11:04:00	Sicigia	Llenante
DER4	376226.00	7558264.00	5	08-12-2018	11:28:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376237.00	7558211.00	5	08-12-2018	11:43:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376247.00	7558161.00	5	08-12-2018	11:55:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376252.00	7558131.00	5	08-12-2018	12:10:00	Sicigia	Vaciante
DER4	376264.00	7558093.00	5	08-12-2018	12:27:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375820.00	7557213.00	0	08-12-2018	10:24:00	Sicigia	Llenante
DER5	375809.00	7557217.00	0	08-12-2018	10:42:00	Sicigia	Llenante
DER5	375779.00	7557216.00	0	08-12-2018	10:57:00	Sicigia	Llenante
DER5	375822.00	7557211.00	0	08-12-2018	11:21:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375815.00	7557179.00	0	08-12-2018	11:38:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375822.00	7557157.00	0	08-12-2018	11:51:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375833.00	7557136.00	0	08-12-2018	12:05:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375800.00	7557119.00	0	08-12-2018	12:22:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375820.00	7557213.00	5	08-12-2018	10:24:00	Sicigia	Llenante
DER5	375851.00	7557184.00	5	08-12-2018	10:43:00	Sicigia	Llenante
DER5	375867.00	7557163.00	5	08-12-2018	10:58:00	Sicigia	Llenante
DER5	375822.00	7557211.00	5	08-12-2018	11:21:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375805.00	7557192.00	5	08-12-2018	11:39:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375780.00	7557156.00	5	08-12-2018	11:52:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375766.00	7557139.00	5	08-12-2018	12:05:00	Sicigia	Vaciante
DER5	375725.00	7557113.00	5	08-12-2018	12:20:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374972.00	7556928.00	0	08-12-2018	10:18:00	Sicigia	Llenante
DER6	374924.00	7556961.00	0	08-12-2018	10:37:00	Sicigia	Llenante
DER6	374889.00	7556970.00	0	08-12-2018	10:53:00	Sicigia	Llenante
DER6	374954.00	7556911.00	0	08-12-2018	11:14:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374921.00	7556873.00	0	08-12-2018	11:34:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374897.00	7556858.00	0	08-12-2018	11:48:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374866.00	7556868.00	0	08-12-2018	12:01:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374867.00	7556880.00	0	08-12-2018	12:16:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374972.00	7556928.00	5	08-12-2018	10:18:00	Sicigia	Llenante
DER6	374951.00	7556913.00	5	08-12-2018	10:38:00	Sicigia	Llenante
DER6	374915.00	7556910.00	5	08-12-2018	10:54:00	Sicigia	Llenante
DER6	374954.00	7556911.00	5	08-12-2018	11:14:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374939.00	7556845.00	5	08-12-2018	11:35:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374932.00	7556817.00	5	08-12-2018	11:49:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374916.00	7556819.00	5	08-12-2018	12:01:00	Sicigia	Vaciante
DER6	374896.00	7556821.00	5	08-12-2018	12:17:00	Sicigia	Vaciante

4.2.2.2 Campaña verano 2019

4.2.2.2.1 Corrientes Eulerianas

En la Figura 4.2-230 se presenta la información registrada por el ADCP, de manera integrada para toda la columna de agua. La Figura presenta los componentes ortogonales (Este y Norte) en profundidad. Se aprecia que las mayores magnitudes de corriente fueron obtenidas en la capa superficial. A diferencia de la campaña de invierno, donde se observó un comportamiento general en el periodo de tiempo de estudio, se destacan eventos de mayor velocidad en la vertical, alcanzado valores similares a los superficiales en las capas media y de fondo.

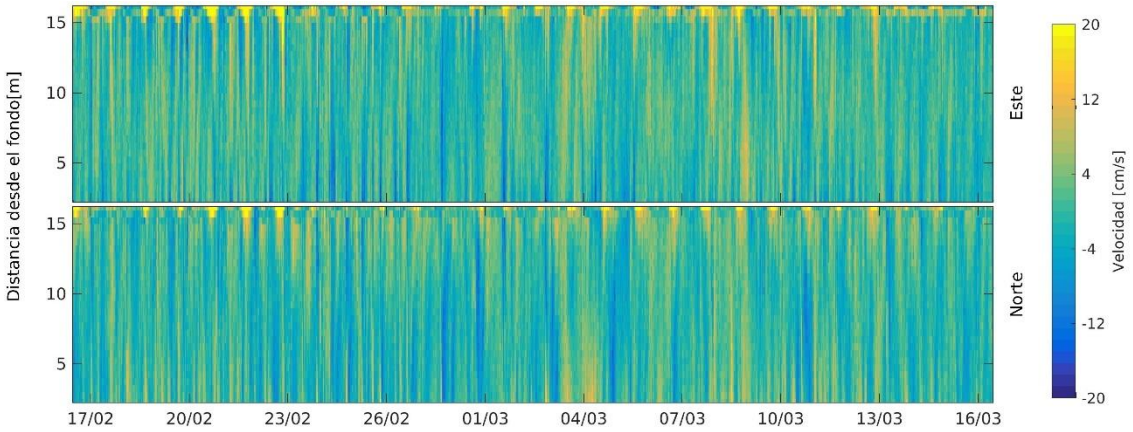


Figura 4.2-230: Registros de velocidades Eulerianas, componentes este y norte, febrero 2019.

A modo de representar el ciclo diario de corrientes y su estructura vertical, se efectúo un promedio diario de todo el perfil de corrientes, en dirección Este y Norte. Este resultado se presenta en la Figura 4.2-231, donde se aprecia una corriente NE entre los 12,5 m y 16,0 m desde el fondo, una corriente SE entre los 5,5 y 12,5 m desde el fondo, y una corriente SW en la capa de fondo. Con respecto a los resultados obtenidos en la campaña de invierno, se observa un cambio significativo en la capa superficial al haber un cambio de sentido en la componente este entre los 12,0 y 14,0 m desde el fondo.

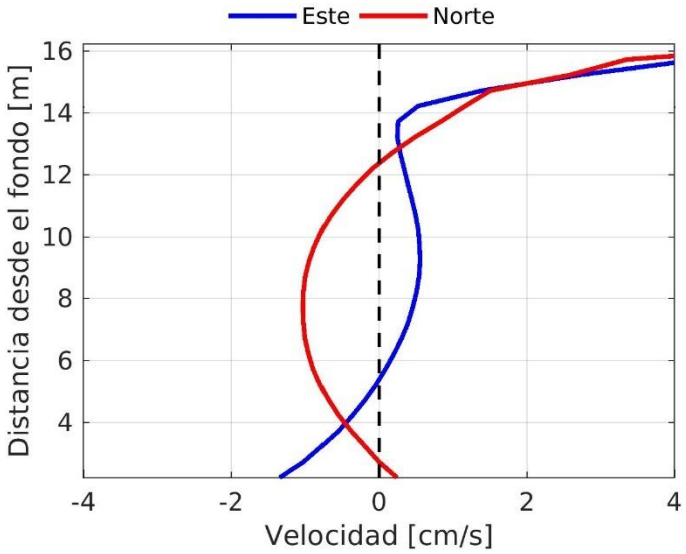


Figura 4.2-231: Estructura vertical de componentes ortogonales, ciclo diario de marea, septiembre 2019.

Adicionalmente, en la Figura 4.2-232 se presentan los registros de velocidad y dirección de corrientes según las 3 capas definidas, representados como “chascones”, donde los resultados fueron suavizados para facilitar su interpretación. Al igual que en la campaña de invierno 2018, para las tres capas en estudio, se observa que se producen cambios en el sentido de la velocidad, pasando desde valores positivos a negativos y viceversa. En el caso de la capa superficial, dentro del mes de medición de las corrientes se mantienen mayormente valores positivos, con tendencia al NE. Para la capa intermedia en cambio, se aprecia mayor preferencia hacia valores negativos S. Finalmente, en la capa de fondo se observa cambios similares a los de la capa intermedia, pero con mayores magnitudes de velocidad en los vectores con dirección N.

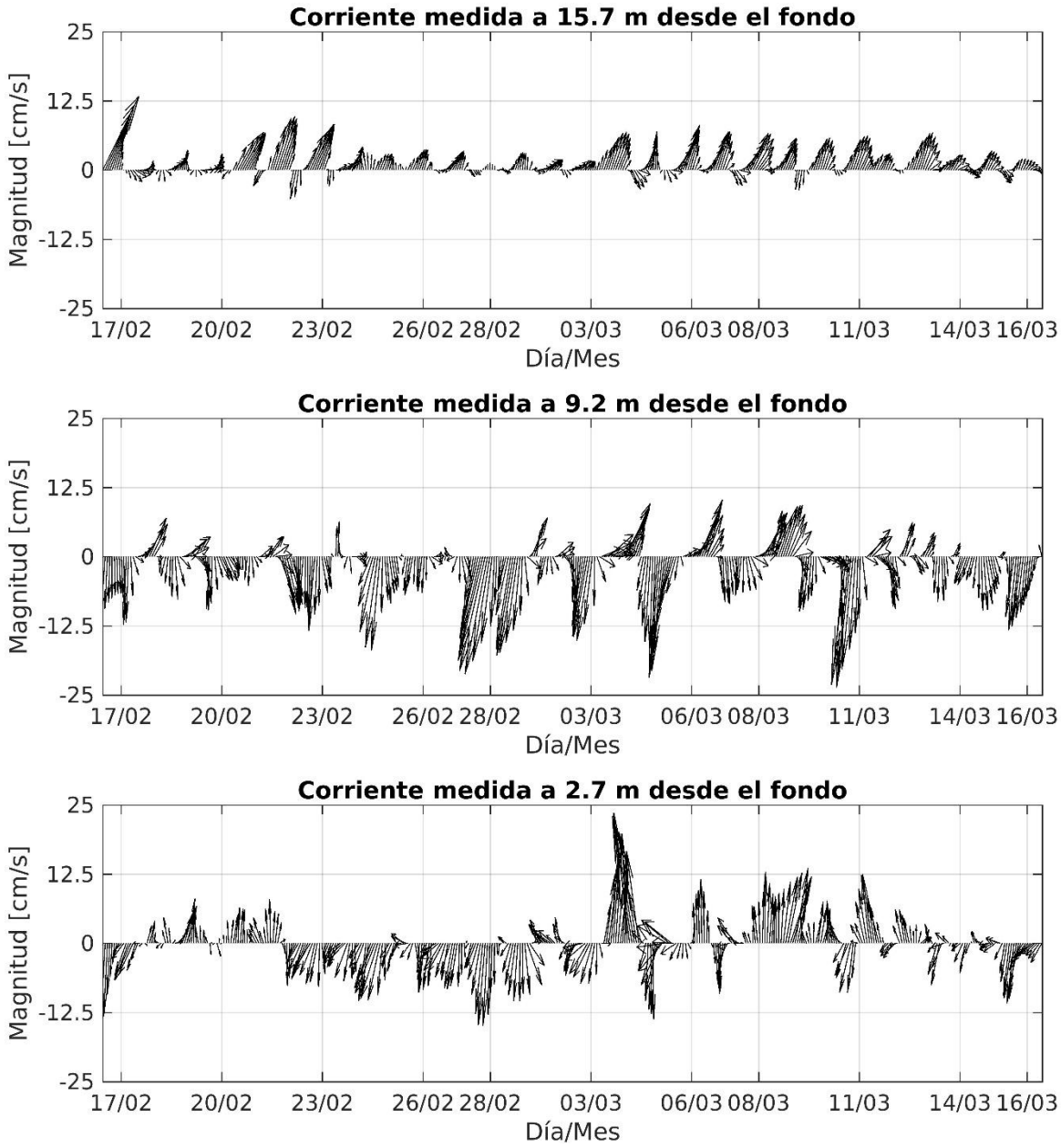


Figura 4.2-232: Registro de velocidad y dirección de corrientes según las capas definidas. Periodo de septiembre de 2019. *Nota: las series de tiempo han sido suavizadas para facilitar su visualización.*

xvii. Capa superficial

A continuación, se presentan los resultados a nivel superficial de la columna de agua. La Tabla 4.2-73 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-74 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-233 se presentan los histogramas de magnitud y dirección. En la Figura 4.2-234 y en la Figura 4.2-235 se adjuntan el diagrama de vector progresivo y la rosa de corrientes, respectivamente.

La capa superficial muestra una predominancia hacia las direcciones E y NE, con un 28,81% y 26,61% de las preferencias, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 6,48 cm/s, con un máximo de 43,10 cm/s, asociado a la dirección NE (Tabla 4.2-73, Figura 4.2-233, Figura 4.2-235). Estas preferencias se aprecian también en el diagrama de vector progresivo (Figura 4.2-234), donde la partícula siguió una trayectoria homogénea con tendencia ENE.

Tabla 4.2-73: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa superficial, campaña de verano 2019.

	Frecuencia según dirección y rango de magnitud de corriente (%). Capa superficial.								
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.22	0.45	0.27	0.32	0.27	0.17	0.35	0.22	2.28
]1,4]	2.75	3.60	4.71	4.34	2.23	1.31	1.69	2.33	22.96
]4,7]	3.50	5.16	7.86	5.43	1.41	0.79	2.01	2.58	28.74
]7,10]	2.80	4.46	6.42	2.63	0.45	0.67	0.87	1.17	19.46
]10,13]	0.94	3.22	3.99	1.26	0.05	0.30	0.15	0.27	10.19
]13,20]	0.15	5.46	4.88	0.45	0.02	0.20	0.15	0.10	11.41
]20,30]	0.00	3.05	0.67	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	3.74
]30,50]	0.00	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22
]50, ∞ [	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	10.36	26.61	28.81	14.46	4.44	3.45	5.21	6.67	100.00
Máximo(cm/s)	17.60	43.10	25.80	20.60	13.30	17.60	18.50	16.80	43.10
Promedio(cm/s)	5.95	11.94	8.55	5.72	3.94	5.52	5.03	5.15	6.48

Tabla 4.2-74: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa superficial, campaña de verano 2019.

	Frecuencia según dirección y excedencia de corriente (%), capa superficial								
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22
>20	0.00	4.17	0.64	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	4.84
>13	0.15	9.55	5.48	0.42	0.02	0.20	0.12	0.10	16.04
>10	1.07	12.79	9.47	1.69	0.07	0.50	0.30	0.35	26.23
>7	3.79	17.23	15.67	4.22	0.52	1.12	1.14	1.49	45.18
>4	7.12	22.42	23.73	9.52	1.79	1.93	3.10	3.99	73.59
>1	9.97	26.06	28.47	14.01	4.09	3.27	4.84	6.35	97.05

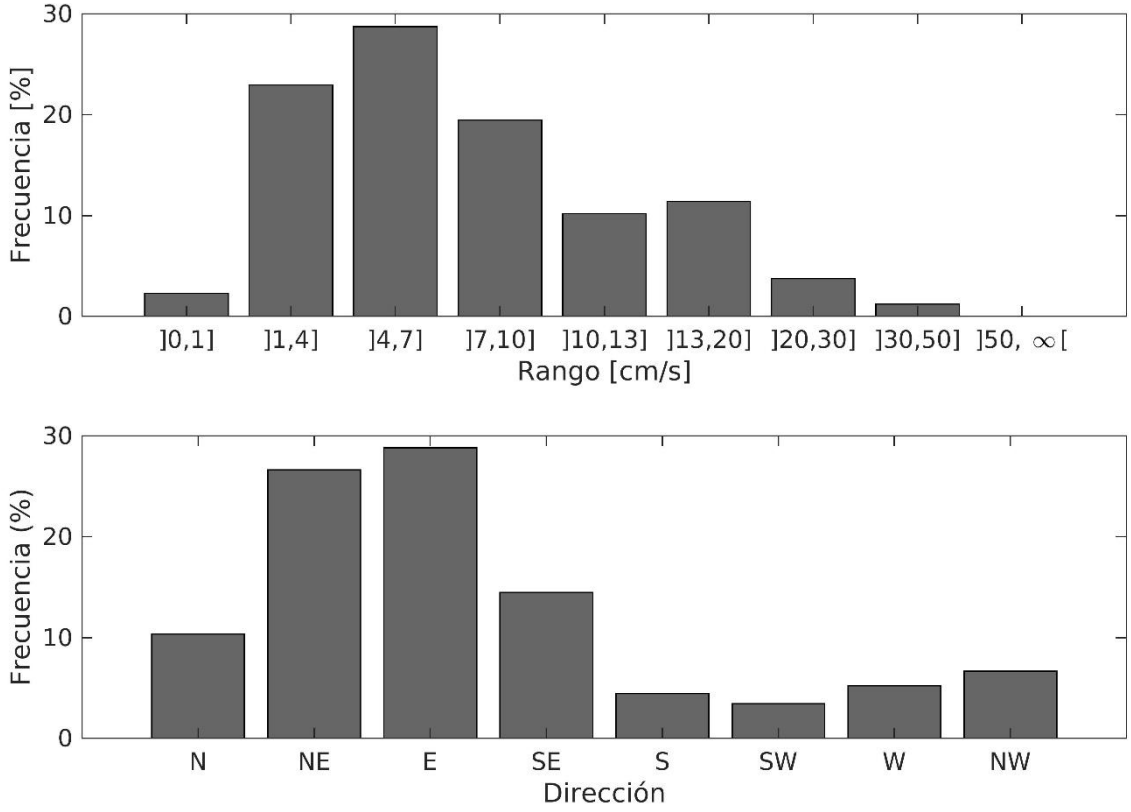


Figura 4.2-233: Histogramas de magnitud y dirección, capa superficial, campaña de verano 2019.

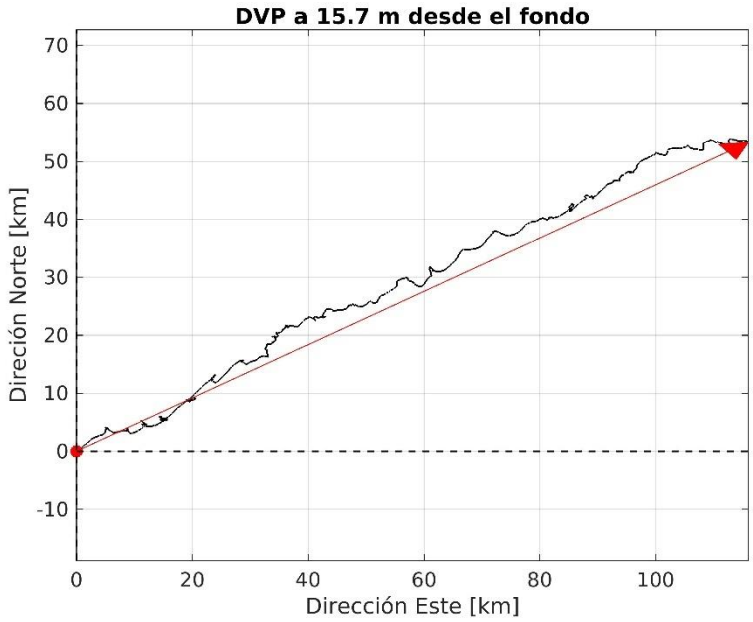


Figura 4.2-234: Diagrama de vector progresivo para capa superficial, campaña de verano 2019.

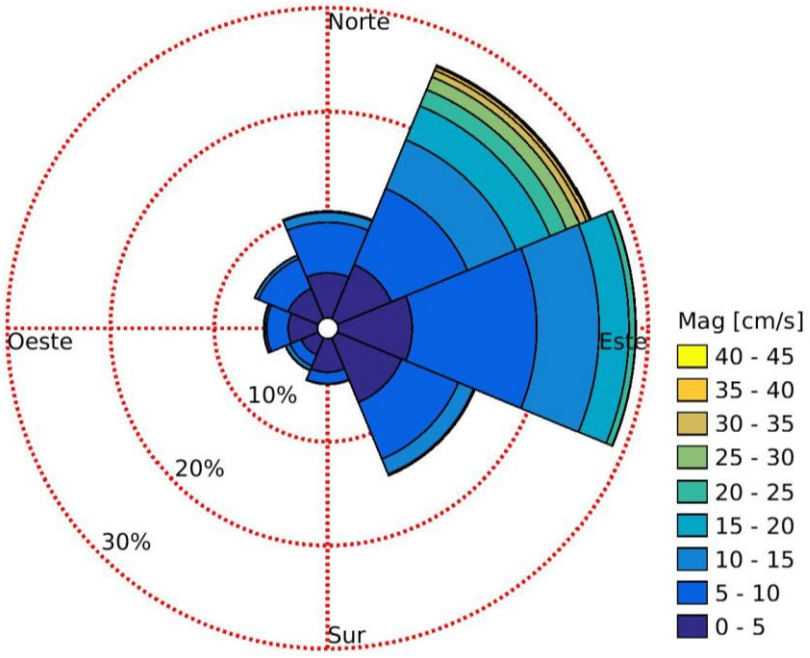


Figura 4.2-235: Rosa de corrientes para las capas superficiales, campaña de verano 2019.

xviii. Capa intermedia

La Tabla 4.2-75 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-76 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-236 se presentan los histogramas de magnitud y dirección. En la Figura 4.2-237 y en la Figura 4.2-238 se adjuntan el diagrama de vector progresivo y la rosa de corrientes, respectivamente.

Tabla 4.2-75: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña de verano 2019

	Frecuencia según dirección y rango de magnitud de corriente (%), capa intermedia								
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.62	0.74	0.87	0.74	0.62	0.55	0.89	0.55	5.58
]1,4]	3.84	7.27	7.86	7.36	9.55	7.17	3.69	3.37	50.11
]4,7]	2.38	5.55	5.13	3.35	7.54	5.80	1.88	0.74	32.38
]7,10]	0.25	1.71	1.61	0.47	2.08	1.93	0.30	0.02	8.38
]10,13]	0.05	0.57	0.30	0.12	0.69	0.92	0.25	0.00	2.90
]13,20]	0.02	0.07	0.07	0.00	0.15	0.27	0.05	0.00	0.64
]20,30]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]30,50]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]50, ∞ [	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	7.17	15.92	15.84	12.05	20.63	16.64	7.07	4.69	100.00
Máximo(cm/s)	16.40	15.90	14.80	12.60	18.00	16.70	15.90	7.10	18.00
Promedio(cm/s)	3.53	4.30	4.05	3.42	4.42	4.75	3.49	2.61	3.82

Tabla 4.2-76: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa intermedia, campaña de verano 2019

	Frecuencia según dirección y excedencia de corriente (%), capa intermedia								
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>13	0.02	0.07	0.07	0.00	0.12	0.27	0.02	0.00	0.60
>10	0.07	0.60	0.35	0.12	0.79	1.09	0.25	0.00	3.27
>7	0.30	2.23	1.88	0.57	2.85	3.03	0.60	0.02	11.48
>4	2.53	7.61	6.94	3.55	10.09	8.78	2.43	0.62	42.55
>1	6.42	15.08	14.83	11.31	19.86	15.94	6.12	4.04	93.60

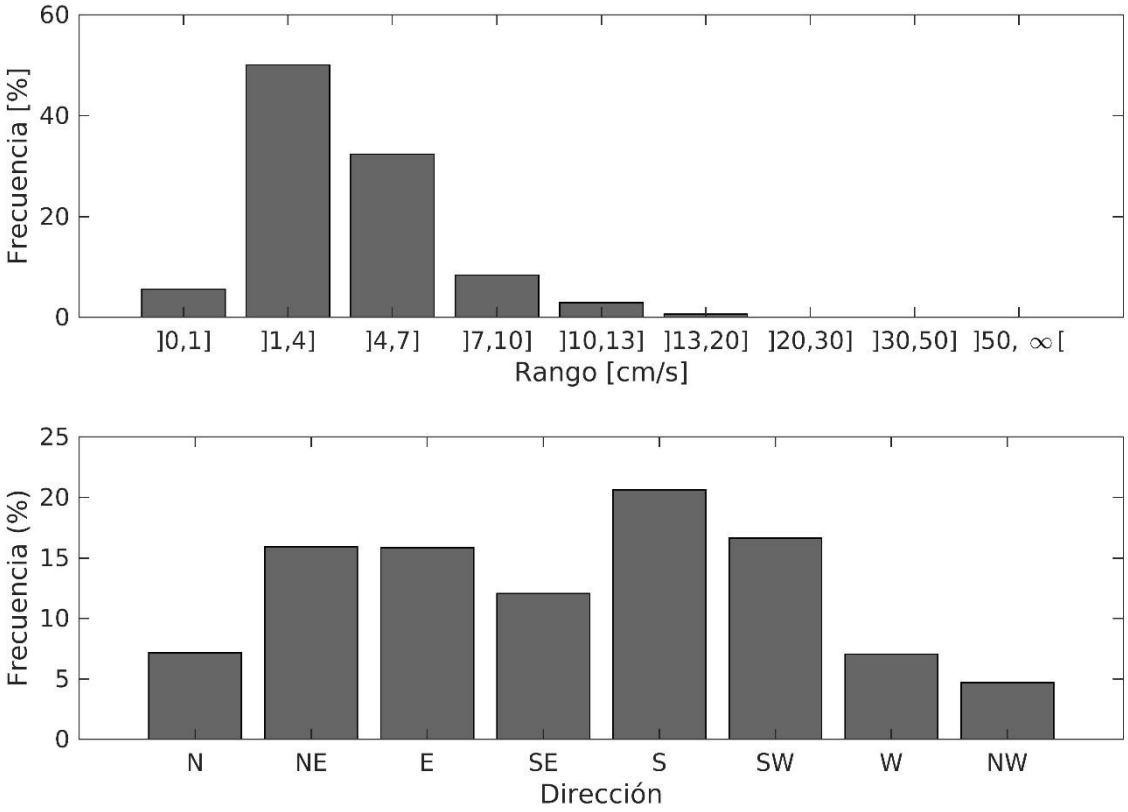


Figura 4.2-236: Histogramas de magnitud y dirección, capa intermedia, campaña de verano 2019.

La capa intermedia muestra una predominancia hacia las direcciones S y SW, con un 20,63% y 16,64% de las preferencias, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 3,82 cm/s, con un máximo de 18,00 cm/s, asociado a la dirección S (Tabla 4.2-75, Figura 4.2-236, Figura 4.2-238). Estas preferencias se aprecian también en el diagrama de vector progresivo (Figura 4.2-237), donde la partícula siguió una trayectoria S sostenida con oscilaciones E-W.

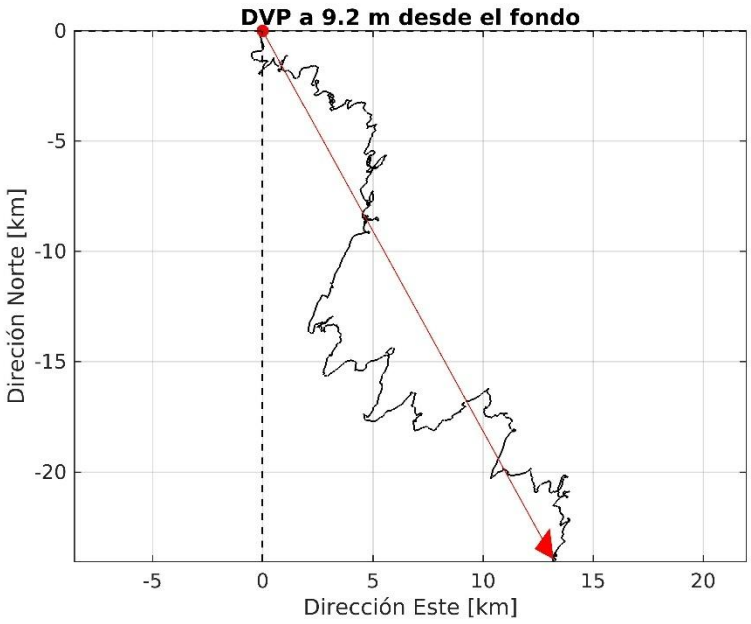


Figura 4.2-237: Diagrama de vector progresivo para capa intermedia, campaña de verano 2019

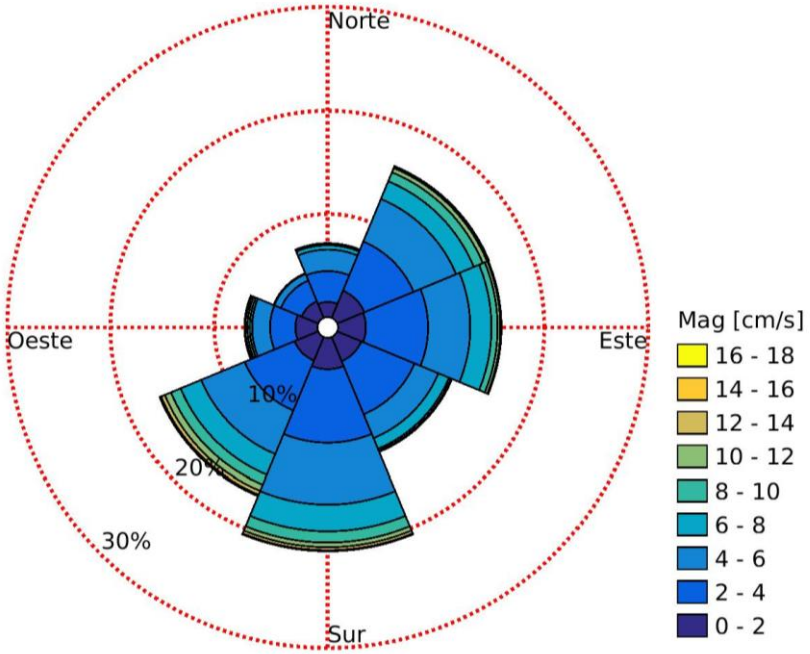


Figura 4.2-238: Diagrama de vector progresivo para capa intermedia, campaña de verano 2019

xix. Capa de fondo

La Tabla 4.2-77 presenta las frecuencias de incidencia según rango de magnitud, para cada dirección, y la Tabla 4.2-78 presenta las frecuencias de excedencia. Adicionalmente, en la Figura 4.2-239 se presentan los histogramas de magnitud y dirección. En la Figura 4.2-240 y

en la Figura 4.2-241 se adjuntan el diagrama de vector progresivo y la rosa de corrientes, respectivamente.

Tabla 4.2-77: Frecuencia de incidencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña de verano 2019

	Frecuencia según dirección y rango de magnitud de corriente (%), capa de fondo								
Rango(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
]0,1]	0.32	0.27	0.30	0.22	0.45	0.37	0.32	0.22	2.48
]1,4]	2.93	3.03	3.97	4.66	5.36	3.47	3.92	4.88	32.21
]4,7]	3.55	2.50	3.30	6.94	7.93	3.30	4.12	5.58	37.22
]7,10]	2.36	0.64	0.77	2.85	3.27	1.34	2.43	5.26	18.92
]10,13]	0.69	0.20	0.15	0.32	0.94	0.45	1.29	2.06	6.10
]13,20]	0.25	0.02	0.00	0.00	0.07	0.30	0.40	1.71	2.75
]20,30]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.32
]30,50]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
]50, ∞ [	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	10.09	6.67	8.48	15.00	18.03	9.22	12.47	20.03	100.00
Máximo(cm/s)	16.90	14.20	11.40	12.20	14.10	16.70	15.70	24.90	24.90
Promedio(cm/s)	5.70	4.35	4.21	5.10	5.35	5.15	5.83	7.16	5.36

Tabla 4.2-78: Frecuencia de excedencia de datos de corriente, capa de fondo, campaña de verano 2019

	Frecuencia según dirección y excedencia de corriente (%), capa de fondo								
Magnitud(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
>50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.32
>13	0.25	0.02	0.00	0.00	0.05	0.30	0.40	1.96	2.98
>10	0.89	0.20	0.15	0.32	0.99	0.72	1.66	3.99	8.93
>7	3.22	0.84	0.87	3.10	4.19	1.98	3.99	9.25	27.45
>4	6.77	3.20	3.99	9.89	11.93	5.26	8.11	14.73	63.87
>1	9.72	6.40	8.13	14.75	17.58	8.83	11.98	19.76	97.15

La capa de fondo muestra una predominancia hacia las direcciones NW y S, con un 20,03% y 18,03% de las preferencias, respectivamente. Las magnitudes de la capa superficial presentaron un valor promedio de 5,36 cm/s, con un máximo de 24,90 cm/s, asociado a la dirección NW (Tabla 4.2-77, Figura 4.2-239, Figura 4.2-241). Estas preferencias se aprecian también en el diagrama de vector progresivo (Figura 4.2-240), donde la partícula siguió una clara trayectoria SW por 11 km en el eje horizontal, para dar luego a una trayectoria N con oscilaciones E-W. Finalmente el desplazamiento neto en el periodo de estudio resultó en 25 km eh la horizontal y -1,7 km en la vertical.

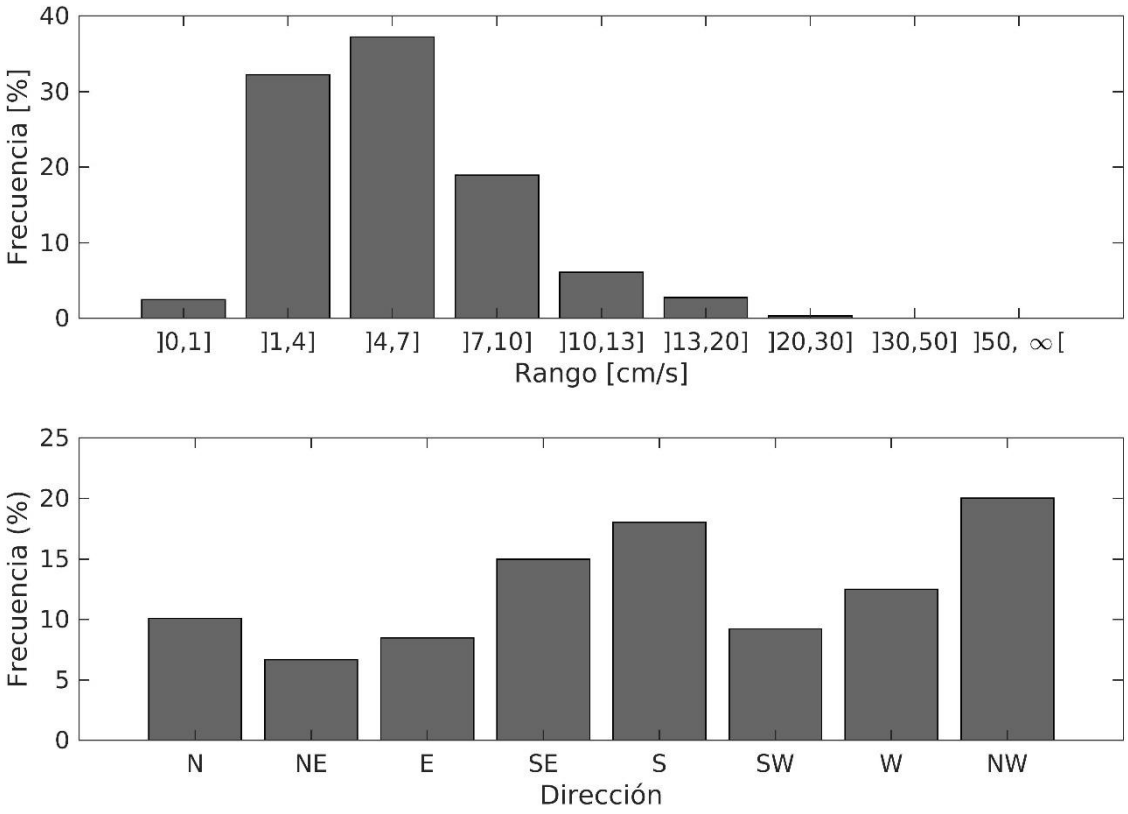


Figura 4.2-239: Histogramas de magnitud y dirección, capa de fondo, campaña de verano 2019.

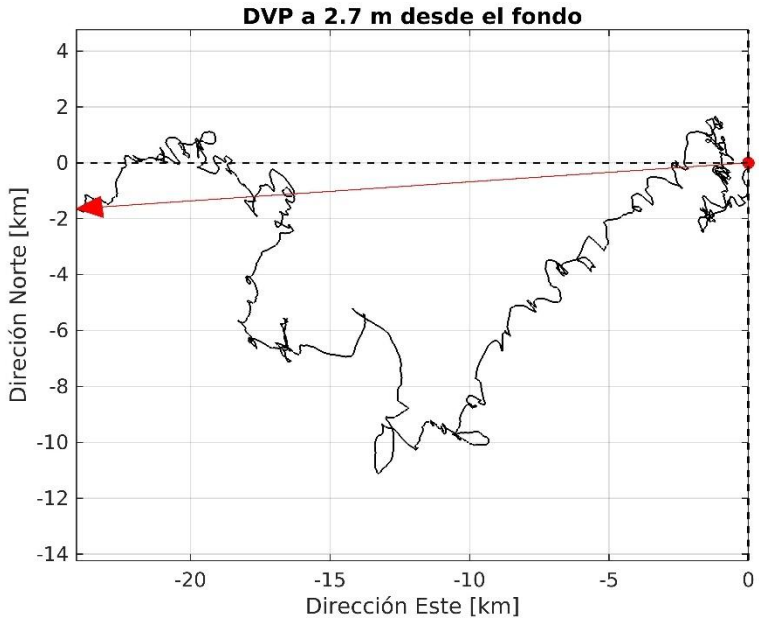


Figura 4.2-240: Diagrama de vector progresivo para capa de fondo, campaña de verano 2019

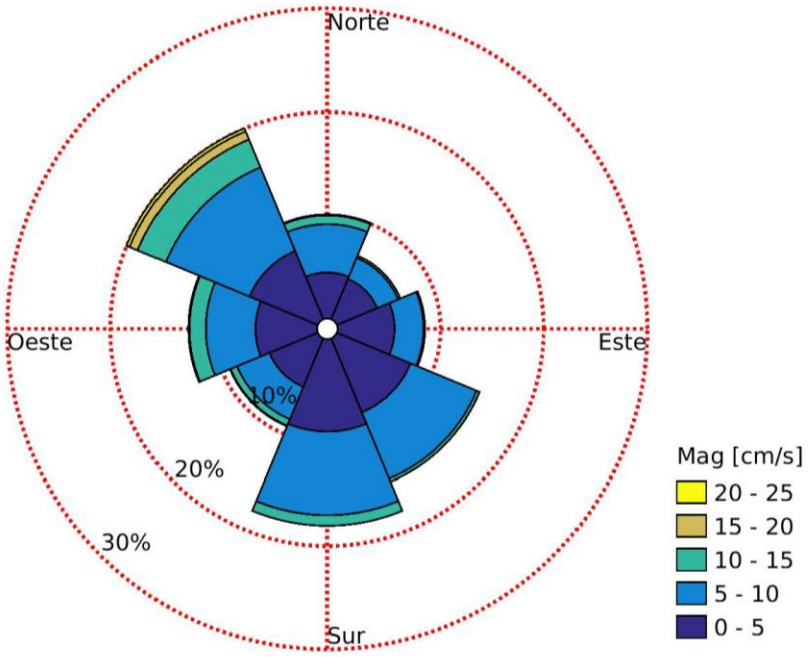


Figura 4.2-241: Diagrama de vector progresivo para capa de fondo, campaña de verano 2019

xx. Armónicos de corrientes

Para los armónicos de corrientes, se identificaron los armónicos principales a partir de las amplitudes identificadas en la marea. De la Figura 4.2-242, se puede apreciar que los armónicos principales corresponden a 5 (M2, S2, K1, N2 y O1).

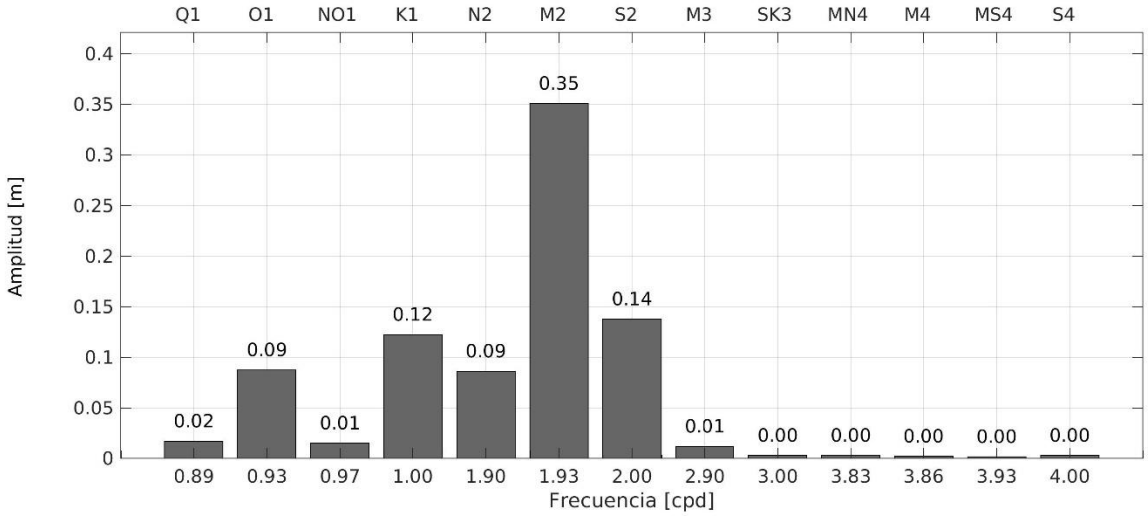


Figura 4.2-242: Frecuencia de armónicos, campaña de verano 2019.

En la Figura 4.2-243 se presentan las elipses de los componentes principales (armónicos) en distintas profundidades de la columna de agua. Dichos componentes indican el comportamiento de las corrientes. Los componentes más relevantes corresponden a M2 (semidiurno) y K1 (diurno). En la componente M2 se observa una mayor amplitud de la

elipse en la capa superficial en relación con las más profundas, mientras que en la componente K1 se observa una gran amplitud en la capa superficial que dista del comportamiento del resto de la columna de agua, donde se ve un aumento de la amplitud en función de la profundidad.

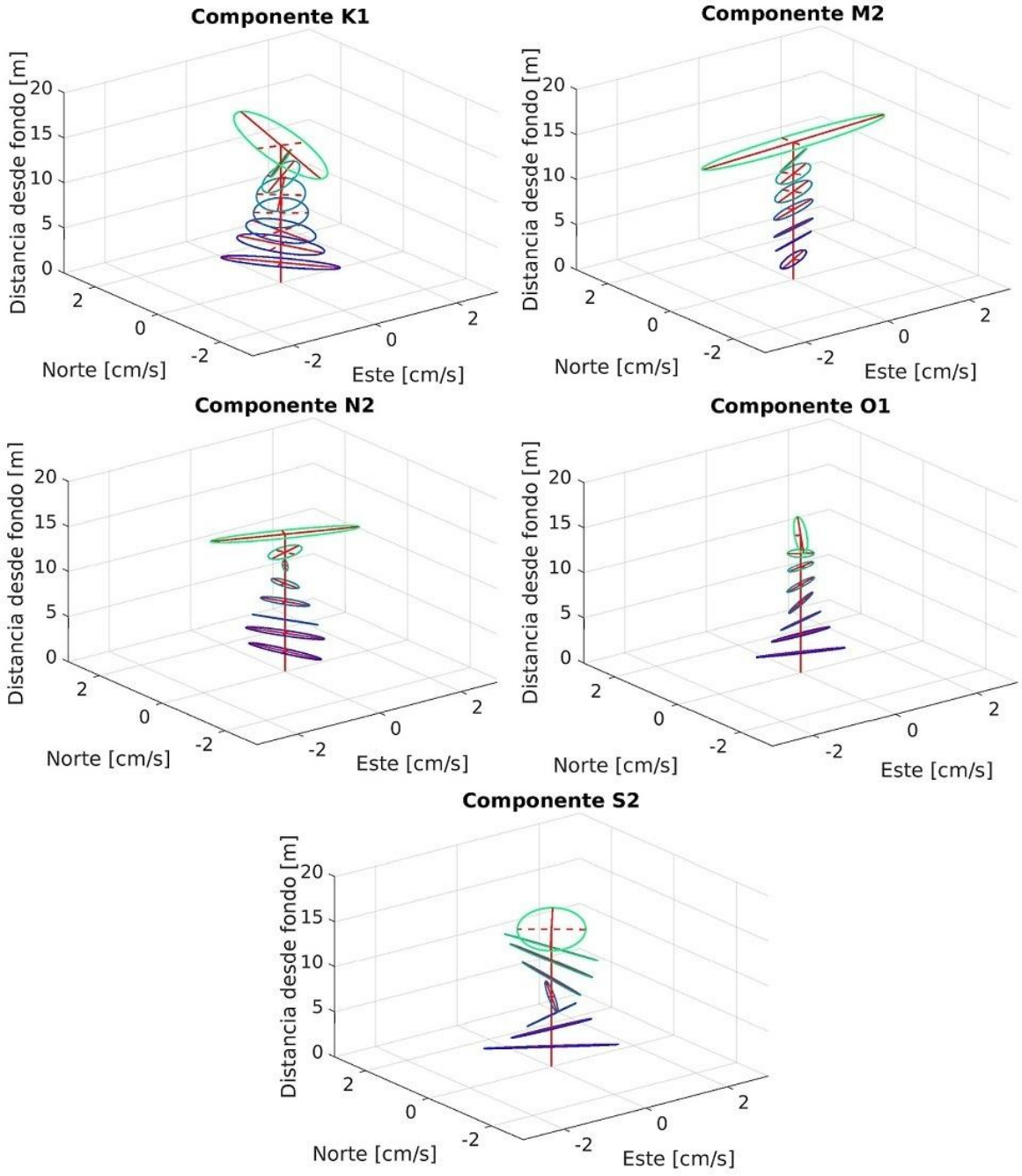


Figura 4.2-243: Elipses de corrientes de los componentes principales de marea en la columna de agua, campaña de verano 2019.

4.2.2.2.2 Corrientes Lagrangianas

La dinámica del campo de velocidades se evalúo a partir de los derivadores utilizados en terreno. Las Figura 4.2-244 y Figura 4.2-245, dan cuenta de la trayectoria de los derivadores utilizados, a niveles de 0 m y 5 m de profundidad, para las condiciones de cuadratura y sicigia llenante y vaciante para los derivadores DER1, DER2 y DER3. Del mismo modo, las Figura 4.2-246 y Figura 4.2-247 dan cuenta de la trayectoria de los derivadores a niveles 0 y 5 m de profundidad, para las mismas condiciones en los derivadores DER4, DER5 y DER6. Las Figuras son respaldadas con la Tabla 4.2-79 , donde se presentan las distintas posiciones de los derivadores para distintos instantes de tiempo, y condiciones de mar.

De las trayectorias obtenidas, se observa que, para los derivadores DER1, DER2 y DER3, se tiene una corriente predominante norte, tanto en la condición de llenante como de vaciante. Del mismo modo, en la condición de vaciante se observa una componente W marcada que tiende a alejar las masas de agua de la costa. En cuanto a los resultados obtenidos por profundidad, se destaca un comportamiento similar entre ambos estratos estudiados. Referente a los resultados entre derivadores, para el mismo lapso de estudio, se observa que el movimiento de DER2 es inferior al presentado por DER1 y DER3, por lo que las corrientes en ese sector son de menor intensidad. Por otro lado, de la Figura 4.2-246 se destaca una corriente E en DER5, una corriente W-SW en DER6 y una corriente N en DER4 para la fase de cuadratura llenante. Para la fase de cuadratura vaciante se observa un comportamiento similar entre derivadores, con una corriente con una fuerte componente W. En la fase de sicigia (Figura 4.2-247), se destaca una corriente E-NE en DER4, una corriente S en DER5 y una corriente E-NE en DER6 para la fase de llenante, mientras que para la fase de vaciante nuevamente aparece una corriente con una fuerte componente E, a excepción del derivador DER4, donde se tiene una corriente N. En cuanto al comportamiento por estrato (0 y 5 m), nuevamente se tiene un comportamiento similar entre ambos.

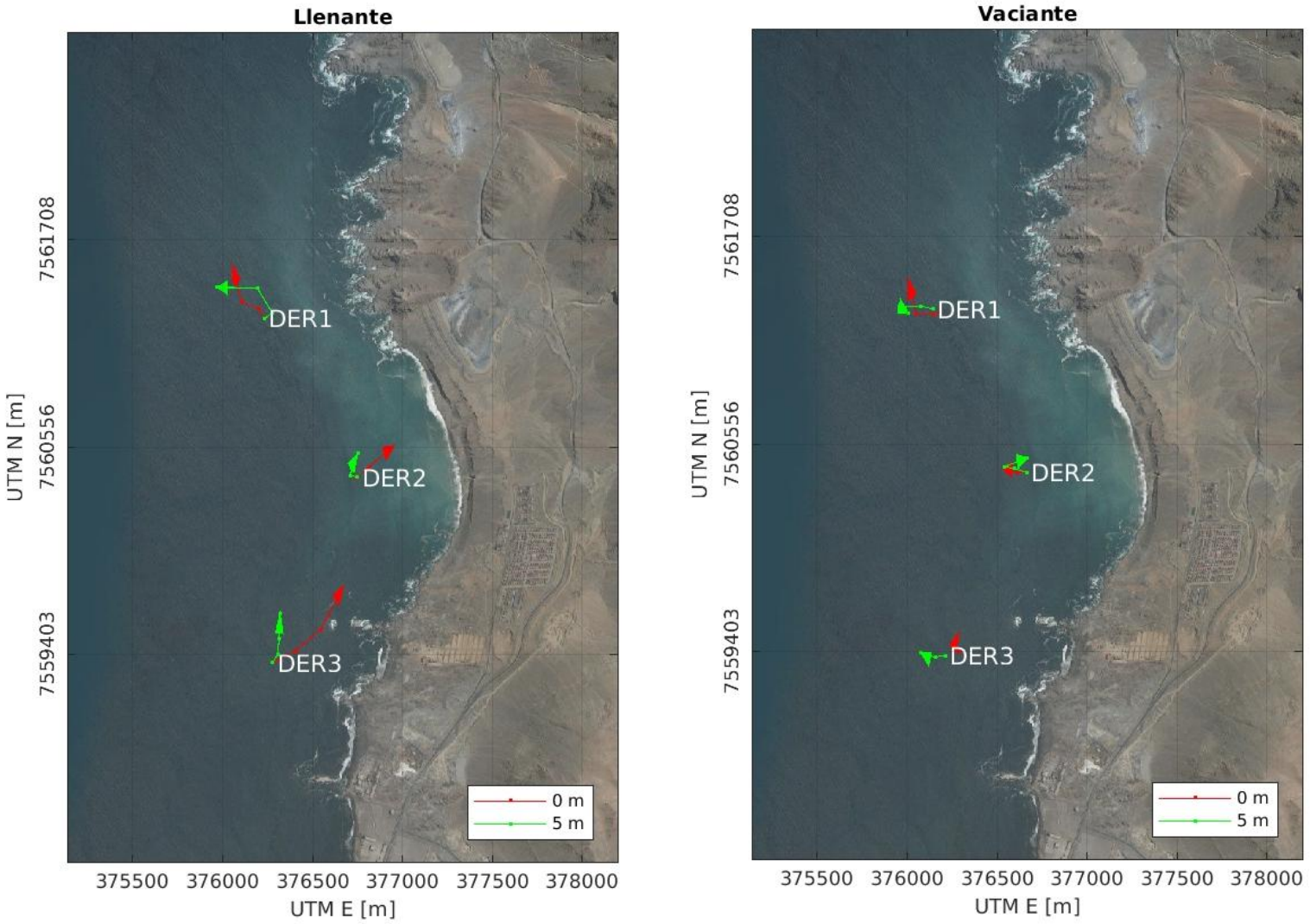


Figura 4.2-244: Trayectorias de derivadores DER1, DER2, y DER3 en cuadratura para fases de llenante y vaciante, campaña de verano 2019.

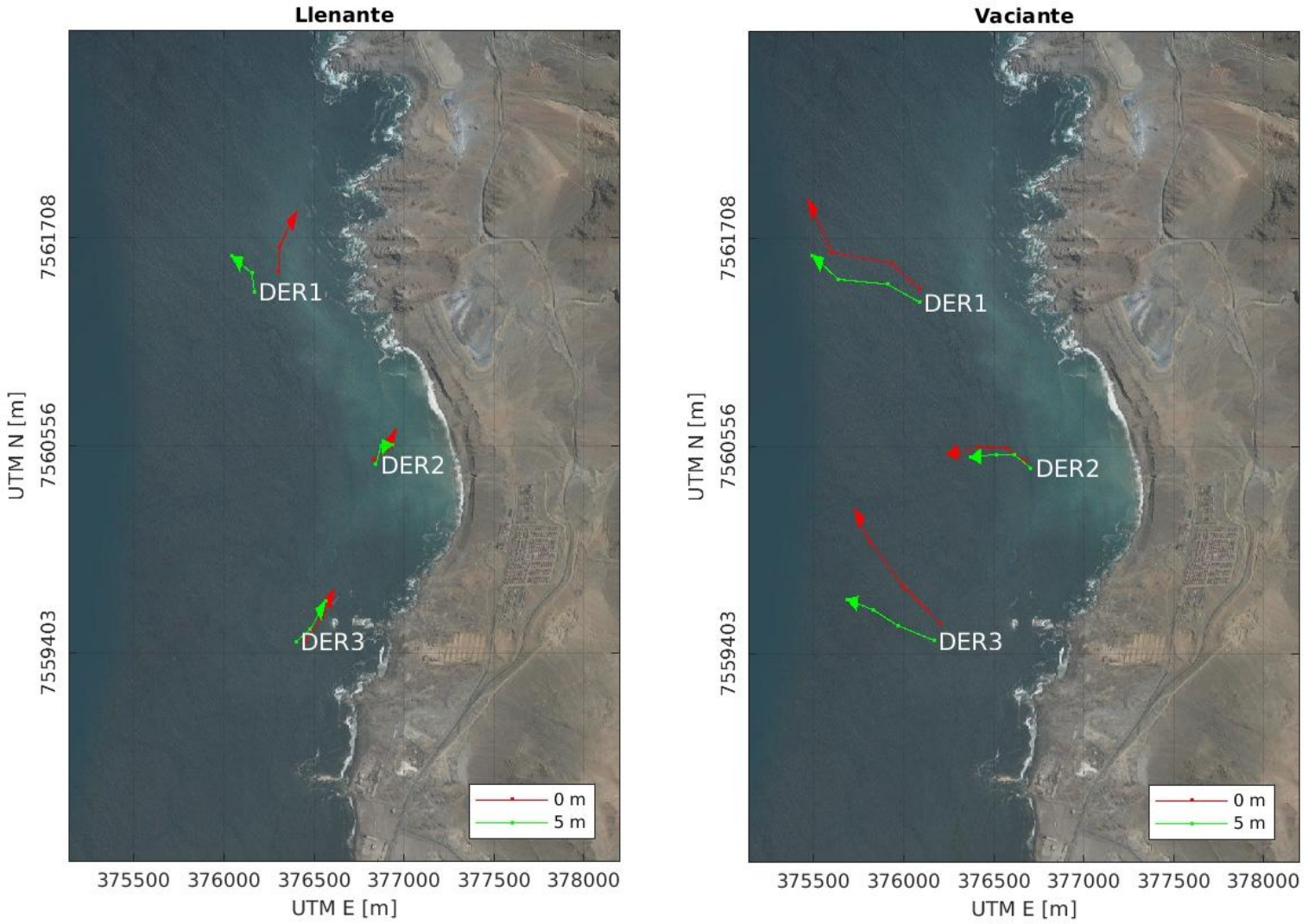


Figura 4.2-245: Trayectorias de derivadores DER1, DER2, y DER3 en sicigia para fases de llenante y vaciante, campaña de verano 2019.

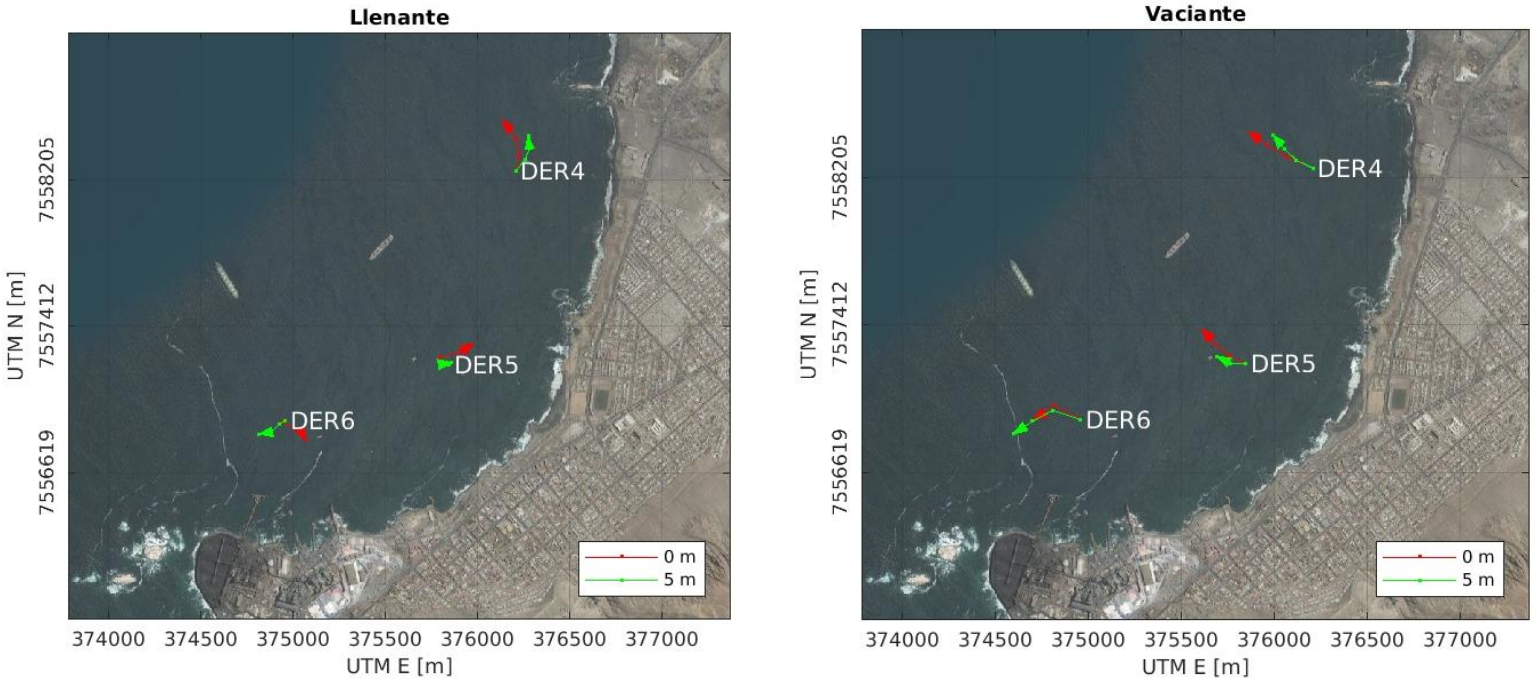


Figura 4.2-246: Trayectorias de derivadores DER4, DER5, y DER6 en cuadratura para fases de llenante y vaciante, campaña de verano 2019.

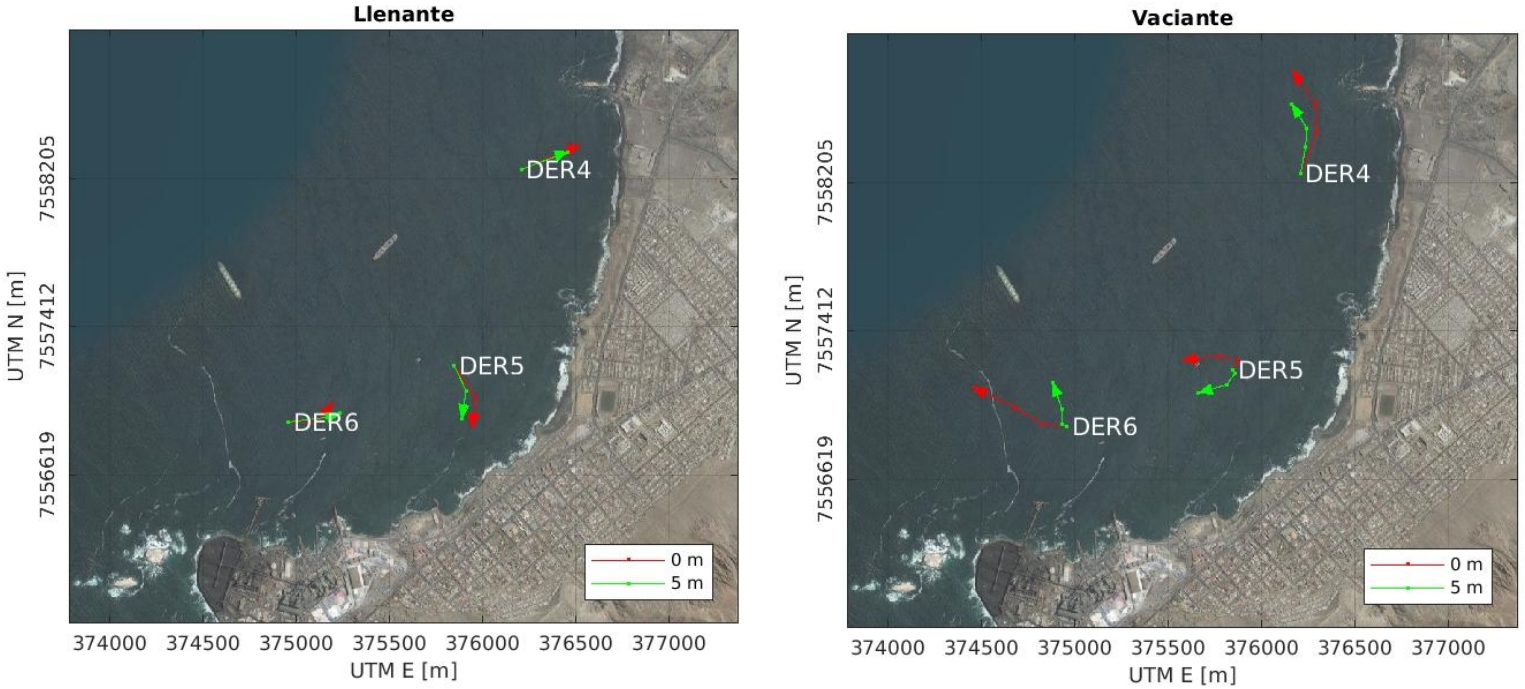


Figura 4.2-247: Trayectorias de derivadores DER4, DER5, y DER6 en sicigia para fases de llenante y vaciante, campaña de verano 2019.

Tabla 4.2-79: Desplazamientos de los derivadores lanzados en Bahía Algodonales, en campaña de verano 2019.

PtoDer	Estrato(m)	UTME	UTMN	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER1	0	376238	7561270	15-02-2019	11:46	Cuadratura	Llenante
DER1	0	376204	7561323	15-02-2019	12:09	Cuadratura	Llenante
DER1	0	376110	7561361	15-02-2019	12:34	Cuadratura	Llenante
DER1	0	376059	7561566	15-02-2019	13:09	Cuadratura	Llenante
DER1	0	376186	7561286	15-02-2019	10:22	Cuadratura	Vaciante
DER1	0	376147	7561273	15-02-2019	10:47	Cuadratura	Vaciante
DER1	0	376054	7561273	15-02-2019	11:10	Cuadratura	Vaciante
DER1	0	376010	7561471	15-02-2019	11:40	Cuadratura	Vaciante
DER1	0	376308	7561518	19-02-2019	9:40	Sicigia	Llenante
DER1	0	376312	7561659	19-02-2019	10:00	Sicigia	Llenante
DER1	0	376408	7561855	19-02-2019	10:29	Sicigia	Llenante
DER1	0	376089	7561430	19-02-2019	11:03	Sicigia	Vaciante
DER1	0	375932	7561573	19-02-2019	11:29	Sicigia	Vaciante
DER1	0	375602	7561634	19-02-2019	12:00	Sicigia	Vaciante
DER1	0	375471	7561929	19-02-2019	12:38	Sicigia	Vaciante
DER1	5	376238	7561270	15-02-2019	11:46	Cuadratura	Llenante
DER1	5	376279	7561301	15-02-2019	12:09	Cuadratura	Llenante
DER1	5	376196	7561440	15-02-2019	12:34	Cuadratura	Llenante
DER1	5	375975	7561442	15-02-2019	13:09	Cuadratura	Llenante
DER1	5	376147	7561304	15-02-2019	10:22	Cuadratura	Vaciante
DER1	5	376082	7561321	15-02-2019	10:47	Cuadratura	Vaciante
DER1	5	375960	7561320	15-02-2019	11:10	Cuadratura	Vaciante
DER1	5	376012	7561284	15-02-2019	11:40	Cuadratura	Vaciante
DER1	5	376173	7561409	19-02-2019	9:40	Sicigia	Llenante
DER1	5	376158	7561511	19-02-2019	10:00	Sicigia	Llenante
DER1	5	376048	7561607	19-02-2019	10:29	Sicigia	Llenante
DER1	5	376091	7561356	19-02-2019	11:03	Sicigia	Vaciante
DER1	5	375913	7561455	19-02-2019	11:29	Sicigia	Vaciante
DER1	5	375640	7561483	19-02-2019	12:00	Sicigia	Vaciante
DER1	5	375497	7561615	19-02-2019	12:38	Sicigia	Vaciante
DER2	0	376754	7560389	15-02-2019	11:52	Cuadratura	Llenante
DER2	0	376747	7560381	15-02-2019	12:15	Cuadratura	Llenante
DER2	0	376821	7560449	15-02-2019	12:41	Cuadratura	Llenante
DER2	0	376955	7560563	15-02-2019	13:19	Cuadratura	Llenante
DER2	0	376670	7560397	15-02-2019	10:13	Cuadratura	Vaciante
DER2	0	376620	7560393	15-02-2019	10:40	Cuadratura	Vaciante
DER2	0	376567	7560414	15-02-2019	11:05	Cuadratura	Vaciante
DER2	0	376529	7560422	15-02-2019	11:30	Cuadratura	Vaciante
DER2	0	376830	7560478	19-02-2019	9:33	Sicigia	Llenante
DER2	0	376910	7560529	19-02-2019	9:55	Sicigia	Llenante
DER2	0	376959	7560647	19-02-2019	10:19	Sicigia	Llenante
DER2	0	376683	7560474	19-02-2019	11:10	Sicigia	Vaciante
DER2	0	376575	7560548	19-02-2019	11:41	Sicigia	Vaciante
DER2	0	376422	7560551	19-02-2019	12:11	Sicigia	Vaciante
DER2	0	376247	7560510	19-02-2019	12:44	Sicigia	Vaciante

PtoDer	Estrato(m)	UTME	UTMN	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER2	5	376754	7560389	15-02-2019	11:52	Cuadratura	Llenante
DER2	5	376715	7560398	15-02-2019	12:15	Cuadratura	Llenante
DER2	5	376719	7560441	15-02-2019	12:41	Cuadratura	Llenante
DER2	5	376755	7560521	15-02-2019	13:19	Cuadratura	Llenante
DER2	5	376670	7560397	15-02-2019	10:13	Cuadratura	Vaciante
DER2	5	376599	7560418	15-02-2019	10:40	Cuadratura	Vaciante
DER2	5	376545	7560430	15-02-2019	11:05	Cuadratura	Vaciante
DER2	5	376671	7560478	15-02-2019	11:30	Cuadratura	Vaciante
DER2	5	376848	7560450	19-02-2019	9:33	Sicigia	Llenante
DER2	5	376875	7560551	19-02-2019	9:55	Sicigia	Llenante
DER2	5	376938	7560560	19-02-2019	10:19	Sicigia	Llenante
DER2	5	376710	7560435	19-02-2019	11:10	Sicigia	Vaciante
DER2	5	376619	7560507	19-02-2019	11:41	Sicigia	Vaciante
DER2	5	376521	7560511	19-02-2019	12:11	Sicigia	Vaciante
DER2	5	376374	7560494	19-02-2019	12:44	Sicigia	Vaciante
DER3	0	376283	7559357	15-02-2019	11:58	Cuadratura	Llenante
DER3	0	376412	7559425	15-02-2019	12:21	Cuadratura	Llenante
DER3	0	376548	7559542	15-02-2019	12:48	Cuadratura	Llenante
DER3	0	376675	7559782	15-02-2019	13:26	Cuadratura	Llenante
DER3	0	376290	7559405	15-02-2019	10:08	Cuadratura	Vaciante
DER3	0	376267	7559425	15-02-2019	10:32	Cuadratura	Vaciante
DER3	0	376277	7559470	15-02-2019	10:57	Cuadratura	Vaciante
DER3	0	376290	7559507	15-02-2019	11:22	Cuadratura	Vaciante
DER3	0	376456	7559469	19-02-2019	9:26	Sicigia	Llenante
DER3	0	376550	7559605	19-02-2019	9:50	Sicigia	Llenante
DER3	0	376615	7559758	19-02-2019	10:12	Sicigia	Llenante
DER3	0	376205	7559574	19-02-2019	11:16	Sicigia	Vaciante
DER3	0	376000	7559781	19-02-2019	11:48	Sicigia	Vaciante
DER3	0	375816	7560027	19-02-2019	12:18	Sicigia	Vaciante
DER3	0	375731	7560211	19-02-2019	12:50	Sicigia	Vaciante
DER3	5	376283	7559357	15-02-2019	11:58	Cuadratura	Llenante
DER3	5	376309	7559404	15-02-2019	12:21	Cuadratura	Llenante
DER3	5	376318	7559492	15-02-2019	12:48	Cuadratura	Llenante
DER3	5	376323	7559630	15-02-2019	13:26	Cuadratura	Llenante
DER3	5	376219	7559381	15-02-2019	10:08	Cuadratura	Vaciante
DER3	5	376159	7559373	15-02-2019	10:32	Cuadratura	Vaciante
DER3	5	376103	7559382	15-02-2019	10:57	Cuadratura	Vaciante
DER3	5	376078	7559400	15-02-2019	11:22	Cuadratura	Vaciante
DER3	5	376403	7559467	19-02-2019	9:26	Sicigia	Llenante
DER3	5	376483	7559534	19-02-2019	9:50	Sicigia	Llenante
DER3	5	376569	7559695	19-02-2019	10:12	Sicigia	Llenante
DER3	5	376172	7559478	19-02-2019	11:16	Sicigia	Vaciante
DER3	5	375971	7559561	19-02-2019	11:48	Sicigia	Vaciante
DER3	5	375837	7559646	19-02-2019	12:18	Sicigia	Vaciante
DER3	5	375690	7559707	19-02-2019	12:50	Sicigia	Vaciante
DER4	0	376214	7558249	15-02-2019	11:54	Cuadratura	Llenante
DER4	0	376231	7558334	15-02-2019	12:15	Cuadratura	Llenante

PtoDer	Estrato(m)	UTME	UTMN	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER4	0	376213	7558422	15-02-2019	12:40	Cuadratura	Llenante
DER4	0	376142	7558527	15-02-2019	13:08	Cuadratura	Llenante
DER4	0	376214	7558249	15-02-2019	9:40	Cuadratura	Vaciante
DER4	0	376070	7558311	15-02-2019	10:15	Cuadratura	Vaciante
DER4	0	375970	7558371	15-02-2019	10:37	Cuadratura	Vaciante
DER4	0	375868	7558444	15-02-2019	11:10	Cuadratura	Vaciante
DER4	0	376214	7558249	19-02-2019	9:10	Sicigia	Llenante
DER4	0	376528	7558379	19-02-2019	9:45	Sicigia	Llenante
DER4	0	376214	7558249	19-02-2019	10:17	Sicigia	Vaciante
DER4	0	376301	7558467	19-02-2019	10:38	Sicigia	Vaciante
DER4	0	376292	7558620	19-02-2019	11:06	Sicigia	Vaciante
DER4	0	376171	7558799	19-02-2019	11:44	Sicigia	Vaciante
DER4	5	376214	7558249	15-02-2019	11:54	Cuadratura	Llenante
DER4	5	376262	7558308	15-02-2019	12:16	Cuadratura	Llenante
DER4	5	376287	7558370	15-02-2019	12:39	Cuadratura	Llenante
DER4	5	376280	7558440	15-02-2019	13:11	Cuadratura	Llenante
DER4	5	376214	7558249	15-02-2019	9:40	Cuadratura	Vaciante
DER4	5	376125	7558291	15-02-2019	10:13	Cuadratura	Vaciante
DER4	5	376060	7558353	15-02-2019	10:39	Cuadratura	Vaciante
DER4	5	375999	7558427	15-02-2019	11:13	Cuadratura	Vaciante
DER4	5	376214	7558249	19-02-2019	9:10	Sicigia	Llenante
DER4	5	376461	7558343	19-02-2019	9:46	Sicigia	Llenante
DER4	5	376214	7558249	19-02-2019	10:17	Sicigia	Vaciante
DER4	5	376241	7558391	19-02-2019	10:36	Sicigia	Vaciante
DER4	5	376247	7558490	19-02-2019	11:04	Sicigia	Vaciante
DER4	5	376166	7558620	19-02-2019	11:40	Sicigia	Vaciante
DER5	0	375853	7557201	15-02-2019	12:00	Cuadratura	Llenante
DER5	0	375799	7557241	15-02-2019	12:23	Cuadratura	Llenante
DER5	0	375908	7557266	15-02-2019	12:48	Cuadratura	Llenante
DER5	0	375985	7557315	15-02-2019	13:17	Cuadratura	Llenante
DER5	0	375853	7557201	15-02-2019	9:52	Cuadratura	Vaciante
DER5	0	375761	7557245	15-02-2019	10:21	Cuadratura	Vaciante
DER5	0	375690	7557301	15-02-2019	10:47	Cuadratura	Vaciante
DER5	0	375616	7557386	15-02-2019	11:20	Cuadratura	Vaciante
DER5	0	375853	7557201	19-02-2019	9:00	Sicigia	Llenante
DER5	0	375965	7557030	19-02-2019	9:36	Sicigia	Llenante
DER5	0	375952	7556866	19-02-2019	10:06	Sicigia	Llenante
DER5	0	375853	7557201	19-02-2019	10:32	Sicigia	Vaciante
DER5	0	375882	7557251	19-02-2019	11:00	Sicigia	Vaciante
DER5	0	375778	7557274	19-02-2019	11:30	Sicigia	Vaciante
DER5	0	375584	7557251	19-02-2019	12:16	Sicigia	Vaciante
DER5	5	375853	7557201	15-02-2019	12:00	Cuadratura	Llenante
DER5	5	375802	7557201	15-02-2019	12:22	Cuadratura	Llenante
DER5	5	375823	7557205	15-02-2019	12:49	Cuadratura	Llenante
DER5	5	375866	7557210	15-02-2019	13:20	Cuadratura	Llenante
DER5	5	375853	7557201	15-02-2019	9:52	Cuadratura	Vaciante
DER5	5	375771	7557201	15-02-2019	10:20	Cuadratura	Vaciante

PtoDer	Estrato(m)	UTME	UTMN	Fecha	Hora	C/S	V/LL
DER5	5	375729	7557222	15-02-2019	10:45	Cuadratura	Vaciante
DER5	5	375697	7557238	15-02-2019	11:19	Cuadratura	Vaciante
DER5	5	375853	7557201	19-02-2019	9:00	Sicigia	Llenante
DER5	5	375916	7557065	19-02-2019	9:36	Sicigia	Llenante
DER5	5	375894	7556916	19-02-2019	10:04	Sicigia	Llenante
DER5	5	375853	7557201	19-02-2019	10:32	Sicigia	Vaciante
DER5	5	375863	7557181	19-02-2019	10:58	Sicigia	Vaciante
DER5	5	375817	7557120	19-02-2019	11:28	Sicigia	Vaciante
DER5	5	375667	7557075	19-02-2019	12:20	Sicigia	Vaciante
DER6	0	374965	7556898	15-02-2019	12:06	Cuadratura	Llenante
DER6	0	374952	7556892	15-02-2019	12:30	Cuadratura	Llenante
DER6	0	375058	7556822	15-02-2019	12:55	Cuadratura	Llenante
DER6	0	375077	7556787	15-02-2019	13:55	Cuadratura	Llenante
DER6	0	374965	7556898	15-02-2019	10:00	Cuadratura	Vaciante
DER6	0	374823	7556975	15-02-2019	10:27	Cuadratura	Vaciante
DER6	0	374752	7556924	15-02-2019	11:03	Cuadratura	Vaciante
DER6	0	374708	7556900	15-02-2019	11:36	Cuadratura	Vaciante
DER6	0	374965	7556898	19-02-2019	8:45	Sicigia	Llenante
DER6	0	375130	7556903	19-02-2019	9:28	Sicigia	Llenante
DER6	0	375205	7557003	19-02-2019	10:00	Sicigia	Llenante
DER6	0	374965	7556898	19-02-2019	10:25	Sicigia	Vaciante
DER6	0	374832	7556911	19-02-2019	10:50	Sicigia	Vaciante
DER6	0	374693	7556998	19-02-2019	11:20	Sicigia	Vaciante
DER6	0	374461	7557106	19-02-2019	12:04	Sicigia	Vaciante
DER6	5	374965	7556898	15-02-2019	12:06	Cuadratura	Llenante
DER6	5	374931	7556878	15-02-2019	12:30	Cuadratura	Llenante
DER6	5	374890	7556836	15-02-2019	12:57	Cuadratura	Llenante
DER6	5	374822	7556824	15-02-2019	13:42	Cuadratura	Llenante
DER6	5	374965	7556898	15-02-2019	10:00	Cuadratura	Vaciante
DER6	5	374814	7556948	15-02-2019	10:27	Cuadratura	Vaciante
DER6	5	374706	7556888	15-02-2019	11:00	Cuadratura	Vaciante
DER6	5	374605	7556822	15-02-2019	11:34	Cuadratura	Vaciante
DER6	5	374965	7556898	19-02-2019	8:45	Sicigia	Llenante
DER6	5	375169	7556922	19-02-2019	9:28	Sicigia	Llenante
DER6	5	375242	7556945	19-02-2019	9:58	Sicigia	Llenante
DER6	5	374965	7556898	19-02-2019	10:25	Sicigia	Vaciante
DER6	5	374937	7556910	19-02-2019	10:48	Sicigia	Vaciante
DER6	5	374938	7556989	19-02-2019	11:19	Sicigia	Vaciante
DER6	5	374887	7557133	19-02-2019	12:06	Sicigia	Vaciante

4.2.3 Batimetría

Una de las condiciones relevantes en el funcionamiento de la bahía, corresponde a la batimetría del sistema, por lo cual se realiza una recopilación y generación de información específica para la batimetría del sector.

Así, la zona de bahía Algodonales cuenta con información de alto detalle, correspondiente a la base batimétrica desarrollada por el Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile (SHOA) en sus cartas náuticas. En particular, las Cartas SHOA 1311 y 2000 abarcan el área en estudio. Estas cartas se encuentran en el sistema de referencia WGS84 y cuentan con una resolución según la escala especificada en la Tabla 4.2-80.

Tabla 4.2-80 Cartas SHOA que abarcan el área de estudio

Nombre	Carta	Celda	Escala
Puerto Tocopilla	1311	CL5AN005	1:10.000
Bahía Mejillones del Sur a Puerto Caldera	2000	CL2AN020	1:500.000

La ubicación de estas cartas, según el “Catálogo de cartas y publicaciones náuticas” del SHOA, es mostrada en las Figura 4.2-248 y Figura 4.2-249 a continuación.

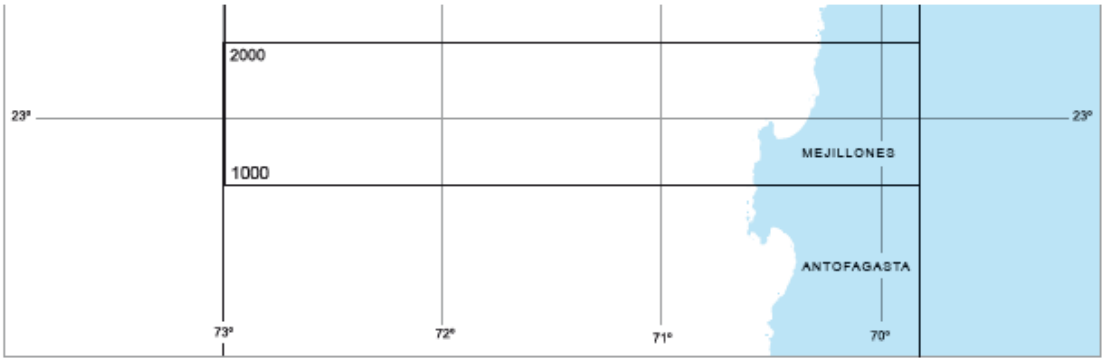


Figura 4.2-248 Ubicación carta SHOA N°2000. (Fuente: Catálogo de cartas y publicaciones náuticas, SHOA).

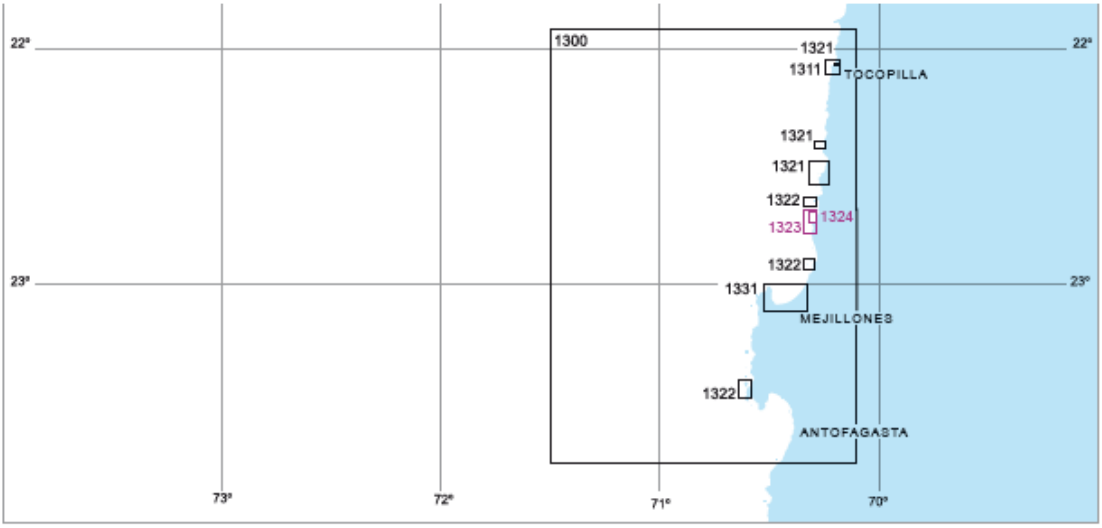


Figura 4.2-249 Ubicación cartas SHOA N°1311. (Fuente: Catálogo de cartas y publicaciones náuticas, SHOA).

En la Figura 4.2-250 se muestra la carta N°1331, que corresponde a la de escala más fina, en donde se puede observar el alto detalle que posee, con resolución (distanciamiento entre los puntos) de medición que oscila entre los 50 y los 800 metros aproximadamente. La zona más somera cuenta con la mejor resolución (puntos más cercanos).

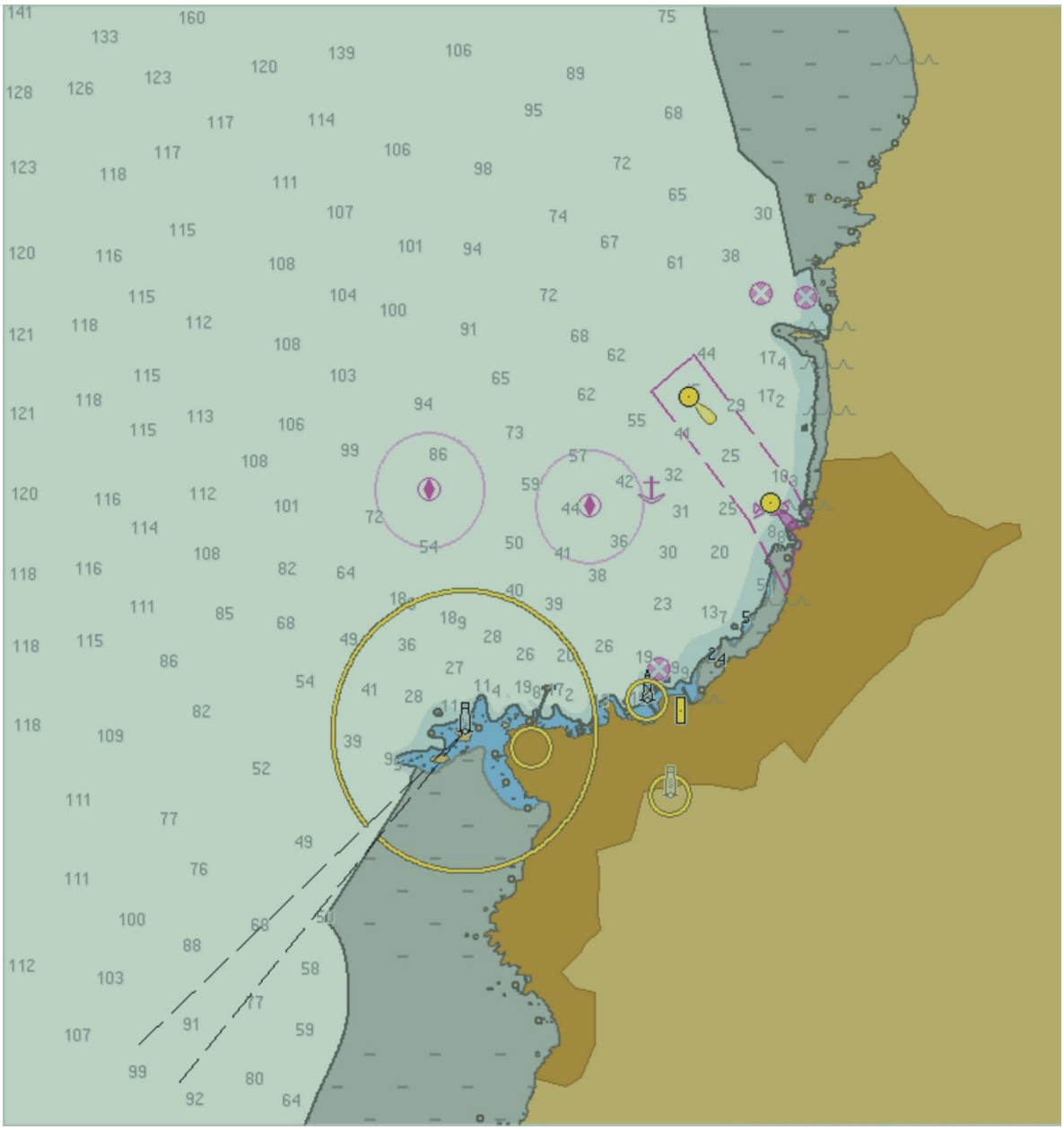


Figura 4.2-250 Carta SHOA N°1311. (Fuente: SHOA).

A continuación, considerando la información recopilada de las cartas SHOAS mencionadas anteriormente, se observó la ausencia de información en las cercanías de la costa en la zona norte y sur del área de estudio, es decir, entre Caleta Duendes y los Cenizales en el norte, y entre LIPESED y Punta Algodonales por el sur. Así, el día 12-04-2019 se llevó a cabo una medición de batimetría mediante la utilización de un dispositivo Garmin 420S (Figura 4.2-251), con una frecuencia de muestreo de 0,2 Hz, en las áreas mencionadas.

Figura 4.2-251: Dispositivo Garmin 420s utilizado para la adquisición de datos batimétricos.

Posteriormente, con la información de cartas SHOA y la batimetría realizada, se realizó la construcción de un modelo digital de elevación (DEM) de la bahía. El DEM es obtenido mediante la interpolación de la información equiespaciada con el método de vecino natural, de la carta SHOA sobre una malla, la cual cuenta con un tamaño de celda de 10 m x 10 m. El modelo de elevación conseguido se muestra en la Figura 4.2-252, además de la representación de la información SHOA (puntos rojos) y los puntos batimétricos medidos (puntos cyan), y es entregado en formato digital en anexos digitales (“ANEXOS_DIGITALES/03_OE2/02_Batimetria”).

A partir del modelo digital de elevación, se generaron curvas de nivel cada 5 metros, obteniendo así un archivo shape. Este archivo se adjunta en formato digital en anexos digitales en la ruta “ANEXOS_DIGITALES/03_OE2/02_Batimetria/Isobatas_5m.shp”, además de una figura en formato A0.

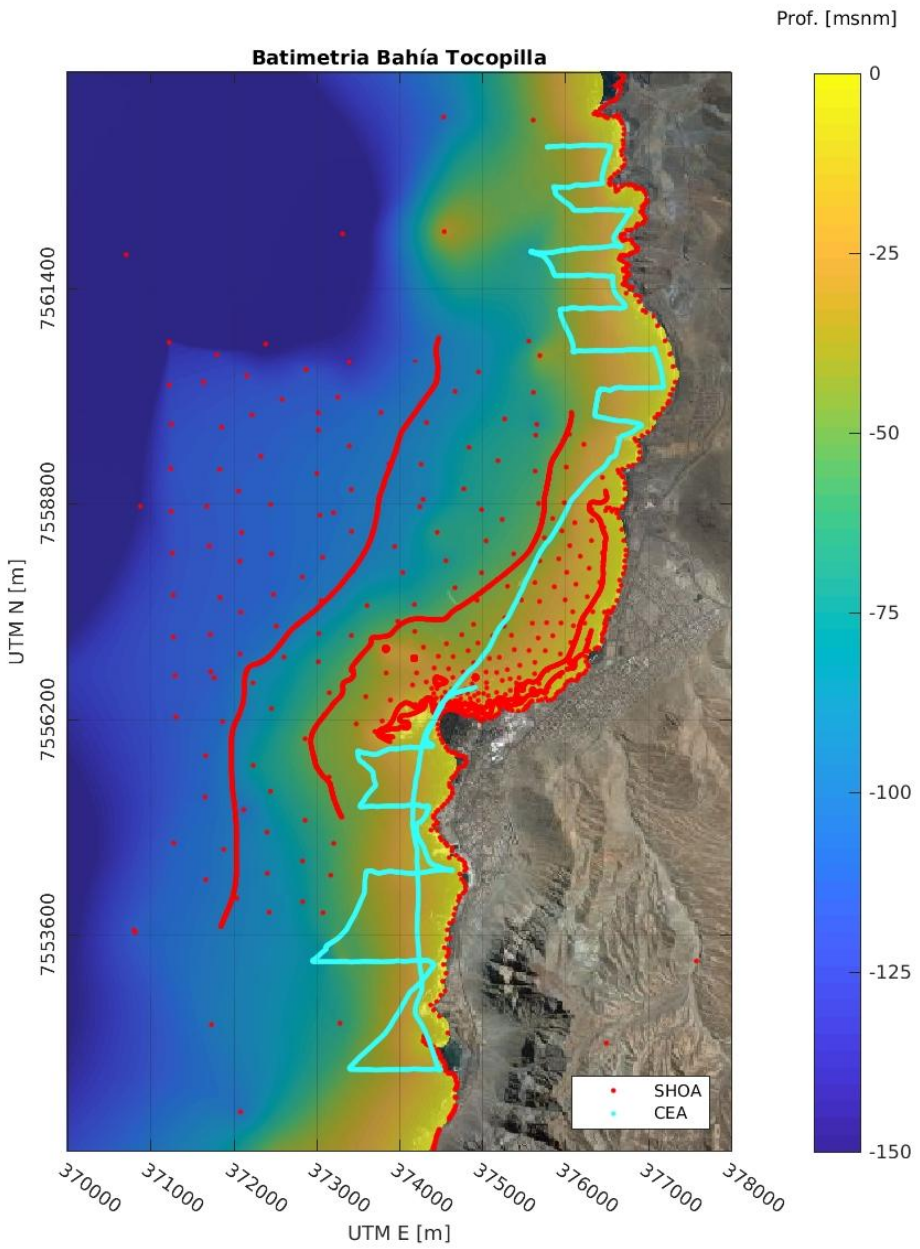


Figura 4.2-252 Modelo de elevación de bahía Mejillones (vista 2D). El modelo digital de elevación (DEM) es obtenido mediante interpolación de la información de las cartas SHOA y mediciones de batimetría CEA sobre una malla con un tamaño de celda de 10 m x 10 m. Fuente: Elaboración propia, CEA 2019.

4.2.4 Discusión y conclusión

En cuanto a los resultados de calidad química en las matrices de agua y sedimentos, en todas las campañas, las aguas de la bahía Algodonales presentaron un pH moderadamente alcalino (Hounslow, 1995) en todos los sectores y estratos. Los niveles de oxígeno disuelto fueron mayores en la superficie y disminuyeron proporcional a la profundidad. Los valores de potencial redox indican procesos que favorecen las reacciones de oxidación y las temperaturas variaron de acuerdo con la estacionalidad climática. Respecto a los metales, las mayores concentraciones correspondieron al vanadio y molibdeno, durante invierno 2018, de arsénico, zinc, hierro y molibdeno para verano 2019, cobre, molibdeno y zinc para invierno 2019, y arsénico, hierro, molibdeno y zinc para verano 2020. Cabe destacar los bajos valores de concentración general de metales encontrados en la bahía.

El vanadio es un metal ampliamente distribuido tanto en la naturaleza como en los sistemas biológicos y es uno de los elementos traza presente en los combustibles de tipo fósil. Por esta razón, la combustión de estos materiales es la fuente más importante de vanadio en el ambiente (Rodriguez et.al, 2006). Los niveles en el ambiente dependen de las condiciones climáticas, la posición geográfica y las condiciones de urbanización, entre otros factores. Las concentraciones en agua de mar están en un rango de 1 a 3 µg/L, con valores máximos de 7 µg/L (Miramand y Fowler 1998 en Rodriguez *et.al*, 2006), si comparamos estos valores con lo observado en bahía Algodonales, en la campaña de invierno de 2018 se obtuvieron concentraciones entre <8 µg/L y 436,3 µg/L y en verano 2019 entre <8 µg/L y 230 µg/L, valores que fueron mayores a los citados. Por el contrario, en la campaña de verano 2020 los valores de concentración estuvieron bajo el límite de detección. Los valores sobre 3 µg/L podrían generar algún grado de impacto, sin embargo, la toxicidad del vanadio, al igual que la de otros metales, depende de la estructura química del compuesto, de la solubilidad, del estado de oxidación y de la biotransformación que ocurra por el metabolismo (Rodriguez et.al, 2006). Por otra parte, la normativa aplicada no estable criterio para exposición crónica ni aguda (EPA,2009) para la biota acuática.

De los resultados del análisis químico de sedimentos en Bahía Algodonales se observaron altas concentraciones de hierro, cobre, molibdeno, arsénico y vanadio, principalmente en los puntos de muestreo cercanos a caleta duendes, playa camping y norgener. La granulometría en estos sectores fue arena fina a muy fina, indicando un menor flujo de energía en comparación al resto de los puntos de monitoreo y que implica condiciones que favorecen la depositación y acumulación de partículas de menor tamaño. Por otro lado, los procesos por los cuales se fijan estos elementos al sedimento pueden ser variados, tales como adsorción y coprecipitación por hidróxidos y óxidos de hierro y manganeso, adsorción en arcillas minerales, precipitación con materia orgánica, reacciones hidrolíticas tanto de iones como de complejos disueltos y por otros mecanismos naturales relacionados con las características fisicoquímicas de los sedimentos (BruderHubscher et al. 2002, Sutherland y Tack 2002 en García *et.al*, 2004). Lo importante es considerar que, una vez fijados en el sedimento, estos elementos pueden ser potencialmente tóxicos y dependiendo de la forma química y física de los metales, estos pueden movilizarse y ser transportados a través de las

membranas biológicas de las diferentes especies marinas (De Gregori et al. 1996, Kong et al. 1998 en García *et.al*, 2004). Además, ya sean biológicamente esenciales o no, son potencialmente tóxicos para los organismos a un umbral de concentración determinado.

El contenido de metales pesados en los sedimentos no siempre refleja la cantidad disponible en la biota (biodisponibilidad), debido a que el potencial impacto no puede ser evaluado sólo a partir de su contenido total, pues las diferentes fases del sedimento son las que condicionan la mayor o menor movilidad de estos. La fracción residual del sedimento contiene lo metales litogénicos que son inertes y se encuentran dentro de la red cristalina de silicatos, por lo que las condiciones ambientales no afectan sus enlaces químicos (Tessier et al. 1979, Giordano et al. 1992 en García *et.al*, 2004) siendo estables y de poca movilidad. Al contrario, la fracción no litogénica resulta potencialmente biodisponible (Mat et al. 1994, González et al. 1998 en García *et.al*, 2004). La movilidad y el enriquecimiento de los metales en esta fracción es favorecida por ligeros cambios fisicoquímicos en el ambiente (De Gregori et al. 1996 García *et.al*, 2004) representando un riesgo potencial para los organismos marinos, especialmente en la etapa larvaria. Debido a lo anterior, es importante conocer en qué fase se encuentra el metal y los procesos que condicionan un mayor riesgo de exposición para la biota y salud humana debido al incremento de su biodisponibilidad en el medio, modulada entre otros por el pH y el potencial redox.

De los resultados de Corrientes Eulerianas se desprende la presencia de una corriente predominante NE en la capa superficial de agua (primeros 2 m), que toma una dirección predominante S en las capas medias y de fondo de la columna de agua. La componente E tiene variaciones W-E desde los 2 m desde la capa superficial hacia el fondo marino. Así, se destaca un flujo S en dirección hacia las descargas de las Centrales Nueva Tocopilla y Tocopilla. Del mismo modo, tanto en la capa media como de fondo, no se ve un cambio de corrientes significativo entre las fases de cuadratura y sicigia, viéndose el comportamiento descrito anteriormente. En cuanto a la capa superficial, se observa un cambio de dirección con periodos de aproximadamente 7 días, que tienen una duración entre 1 y 2 días, por lo que la mayoría del tiempo se tiene una corriente en dirección norte.

Los resultados del análisis realizado de corrientes lagrangianas en cuadratura concuerdan con lo descrito anteriormente, mostrando que los derivadores a 0 m y 5 m de profundidad (capa superficial) toman una trayectoria Sur-Norte tanto en vaciante como llenante. Para la componente de sicigia se tiene un comportamiento distinto al presentar una corriente superficial S-W que sigue la forma de la bahía Algodonales.

En cuanto a los diagramas de vector progresivo, en la capa superficial se ve que una partícula tendría una trayectoria tal que tocaría tierra al seguir la trayectoria trazada por las magnitudes de velocidad registradas por el ADCP. En la capa media se tiene una trayectoria con una magnitud mayor Sur, por lo que una partícula a los 9,2 m desde el fondo debiese tender hacia la línea de costa, al igual que para el caso de la capa superficial. La capa de fondo presentó un comportamiento con una componente W más fuerte que la S, sin

embargo, dada la geomorfología de la bahía algodonales, una partícula que está a 2,7 m desde el fondo debiese tocar tierra en el sector de punta algodonales.

En el análisis cualitativo de fitoplancton se registró la presencia de un total de 59taxa en la campaña de invierno, 32 taxa en la campaña de verano 2019, 36 taxa en la campaña de invierno 2019 y 71 taxa en la campaña de verano 2020. En términos cuantitativos, las mayores abundancias durante la campaña estival correspondieron a representantes del grupo de dinoflagelados en los 2 estratos de profundidad prospectados (Tripos fusus), mientras que en la campaña invernal las mayores densidades fueron alcanzadas por representantes del grupo de las diatomeas en ambos estratos (Chaetoceros sp.).

La caracterización del ensamble de zooplancton se realizó en función de las características del ciclo de vida de los taxa identificados; i) Meroplancton, compuesto por organismos que desarrollan sólo una parte su ciclo de vida en el plancton y ii) Holoplancton, compuesto por organismos que desarrollan su ciclo de vida completo en el plancton. El Meroplancton en verano 2019 registró 22 taxa, la composición de taxa indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios y poliquetos en el área de estudio. El Meroplancton en invierno 2019 registró 25 taxa compuesto principalmente por estados ontogénicos tempranos de cirripedios, gastrópodos y poliquetos. La composición en la campaña de verano 2020 fue similar con 57 taxa de Meroplancton. El Holoplancton registró 16 taxa en invierno 2018, 15 taxa en verano 2019, 16 taxa en invierno 2019 y 58 en verano 2020, compuesto principalmente por Copépodos.

El ictioplancton registró una riqueza total de 8 taxa en invierno 2018, 2 taxa en verano 2019 y de 7 taxa en invierno2019. En la campaña de verano 2020 el registro fue muy escaso en esta componente. Sin embargo, se registraron mayoritariamente huevos; destacando la presencia de las especies Anchoveta, el Baúnco y el Mote, en al menos una de las 4 campañas ejecutadas.

Los ensambles de macroinfauna submareal prospectados estuvieron constituidos en total por 19 grupos taxonómicos en invierno 2018, 28 grupos taxonómicos en verano 2019, de 17 grupos taxonómicos en invierno 2019 y 54 taxa en verano 2020. Salvo excepciones puntuales, se observó que en general, el sector centro – sur del área de interés presentó los valores más altos de las variables de estado consideradas (riqueza, abundancia y biomasa) durante las campañas ejecutadas. El grupo dominante desde el punto de vista de sus abundancias relativas correspondió al de los gusanos poliquetos, los que tuvieron una presencia destacada tanto en la campaña estival como en las invernales.

Los ensambles de macroinfauna intermareal estuvieron constituidos en total por 8 grupos taxonómicos en invierno 2018, 6 grupos taxonómicos en verano 2019 y 45 taxa en verano 2020, reconociéndose ensambles discretos o ausencia de invertebrados bentónicos en los distintos estratos muestreados en los diferentes transectos establecidos.

Todos los grupos taxonómicos de macroinfauna submareal e intermareal reconocidos en ambas campañas corresponden a representantes típicos de ambientes de sustrato fino y de

arena, respectivamente. Todos ellos tienen amplios rangos de distribución tanto en el contexto nacional, como regional.

4.3 Objetivo Específico 3 (OE-3)

OE-3: Realizar una evaluación de riesgo para la salud de las personas,

El puerto de Tocopilla, al igual que el de Mejillones, ha presentado un sostenido crecimiento industrial en la última década con la instalación de un nutrido parque industrial, lo que ha provocado un impacto sobre el entorno, que requiere atención por parte de las autoridades ambientales. Por lo mismo, el Gobierno Regional de Antofagasta y la Seremi de Medio Ambiente de la Región de Antofagasta, han solicitado un estudio de "Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía de algodonales Tocopilla", código BIP 30130937-0, que comprende una evaluación de riesgo para la salud de la población. Para tal efecto se propuse llevar a cabo un diagnóstico de situación de salud y una evaluación de riesgo de la exposición constatada en los habitantes de la comuna, respecto de la Bahía de algodonales Tocopilla.

Un diagnóstico de Situación de Salud de una comuna permite conocer el nivel de salud de sus habitantes, compararlo con otras localidades y/o el promedio del país, de modo de identificar los problemas de salud prevenibles prioritarios que la aquejan. Bajo esta premisa, tienen mucha utilidad para la planificación de intervenciones en Salud Pública. En esta oportunidad, se establecerá para obtener los datos de contexto requeridos para poder interpretar los resultados de la evaluación de la exposición y del riesgo que se realizó en el marco del estudio de Evaluación de Riesgo Ecológico de la Bahía de algodonales de Tocopilla.

La búsqueda sistemática de información científica sobre los efectos de los contaminantes encontrados en la Bahía de algodonales de Tocopilla permite establecer la evaluación del Peligro (primera etapa de la evaluación de riesgo) e identificar información para determinar las relaciones de dosis-exposición (segunda etapa de la evaluación de riesgo).

En este acápite se entregan resultados de la evaluación realizada a la salud de la población de la comuna de Tocopilla. En él, se resumen los resultados del diagnóstico de situación de salud de la población y una búsqueda sistemática de información en revistas científicas con comité editorial, respecto de los efectos de la exposición a los principales contaminantes identificados en la bahía de Algodonales Tocopilla. Además, se entregan resultados de la Identificación del peligro para la salud pública al adjuntar información general sobre los efectos, establecidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud), para los compuestos en estudio en la bahía Algodonales Tocopilla. En cuanto a los factores de exposición, se definió el Marco Conceptual de la exposición de la bahía, además de obtener los primeros avances en la Evaluación de la Exposición Total. Posteriormente y sobre la base de los datos actuales de exposición, se realizó la Estimación de Dosis de Exposición, además de la Caracterización y evaluación del riesgo para la Salud Humana y el Análisis de Incertidumbre de los resultados.

4.3.1 Metodología

4.3.1.1 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. En esta oportunidad se establece para obtener los datos de contexto requeridos para poder interpretar los resultados de la evaluación de la exposición y del riesgo que se realizará en el marco del estudio de Evaluación de Riesgo Ecológico de la Bahía de algodonales de Tocopilla.

Se realizó una evaluación de la situación de salud de Tocopilla, por medio del análisis estadístico de información pública proveniente del Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud.

Se revisaron las siguientes bases de datos del sitio público www.deis.cl, pertenecientes al Ministerio de Salud:

- Base de datos de Población para los años 1999-2012: esta base de datos contiene información compartida con el Instituto Nacional de Estadística sobre distribución y tamaño poblacional. Se revisó la base de datos Actualización Población INE 2002-2012 y proyección 2013-2020, y base actualizada CENSO 2017.
- Base de datos de Mortalidad 2000-2016: esta base contiene información sobre defunciones. Se analizó la base Defunciones y mortalidad general y por grupos de edad para los años más recientes que son 2014 a 2016.
- Base de datos de Egresos Hospitalarios 2013-2017: la base de datos reporta las causas de hospitalizaciones por día de inicio de la hospitalización.
- Base de datos de Atenciones de Urgencia: Reporte de Atenciones de urgencia por día, se revisaron los datos de los años 2014-2018.
- Base de datos de Enfermedades de Notificación Obligatoria del 2010 al 2014 (última fecha publicada).

Con esta información se construyeron indicadores de morbilidad (atenciones de urgencia y hospitalizaciones) y mortalidad por principales causas, incluyendo enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cánceres.

Además, se analizaron resultados de la Encuesta CASEN 2015, atingentes a la comuna de Tocopilla.

Con toda esta información se elaboró una “radiografía actual” de la situación de salud de la Comuna.

Esta imagen de la situación de salud de la comuna de Tocopilla permitió contrastar el análisis de riesgo que es eminentemente especulativo y que en su metodología propuesta por EPA sólo permite establecer la necesidad de remediación de un sitio contaminado, con

la situación observada respecto de factores de riesgo y daños en salud de la población que responde a la pregunta de la licitación que consulta por el impacto o daño potencial a la salud pública que la bahía puede producir en los habitantes de Tocopilla, siguiendo modelo de ATSDR.

En otras palabras: "Los reguladores utilizan la evaluación cuantitativa del riesgo (modelo EPA) como parte de las investigaciones correctivas de un sitio contaminado para determinar en qué medida se necesita una acción correctiva del sitio (por ejemplo, limpieza). La evaluación de riesgos proporciona una estimación **numérica del riesgo o peligro teórico**, suponiendo que no se realice una limpieza. Se enfoca en exposiciones actuales y potenciales futuras y considera todos los medios contaminados independientemente de si las exposiciones están ocurriendo o es probable que ocurran. Por diseño, generalmente utiliza supuestos de exposición protectora estándar (por defecto) al evaluar el riesgo del sitio.

La ATSDR utiliza la **evaluación de salud pública** para identificar posibles exposiciones dañinas y recomendar acciones necesarias para proteger la salud pública. La ATSDR considera los mismos datos ambientales que la EPA, pero se enfoca más de cerca en las condiciones de exposición específicas del sitio (encuestas de exposición, como es el caso), las preocupaciones específicas de salud de la comunidad y los datos de resultados de salud disponibles para proporcionar una evaluación más cualitativa (situación de salud de la población) y menos teórica de los posibles riesgos para la salud pública. Considera exposiciones pasadas además de exposiciones futuras actuales y potenciales" (ATSDR, 2005).

Una revisión más profunda de las diferencias entre Evaluación de Riesgo tipo EPA y evaluación de salud pública se encuentra en el Manual de Evaluación de Impacto a la Salud, que esa agencia dispone[1].

Respecto a la revisión sistemática de la información científica recientemente publicada, se enfocó en dos aspectos:

a) Levantamiento de valores de referencia para la evaluación del riesgo (funciones de dosis-exposición) en literatura gris de EPA/ATSDR y países señalados por el DS N°40/2012 que establece el Reglamento del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental.

b) Búsqueda sistemática en PubMed de los últimos tres años.

Luego, los contaminantes revisados son los señalados por el estudio ecológico:

- Análisis de metales y PAH en tejido animal

[1] https://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/toc.html

- Parámetros de la columna de agua (Tabla 4.3-1)

Tabla 4.3-1: Parámetros evaluados en columna de agua de mar, bahía Algodonales, Tocopilla.

Oxígeno disuelto	Arsénico total	Plomo disuelto
pH	Cadmio disuelto	Plomo total
Temperatura	Cadmio total	Selenio total
DBO5	Cobre disuelto	Vanadio disuelto
Sólidos Suspendidos	Cobre total	Vanadio total
Sólidos Disueltos	Cromo disuelto	Zinc disuelto
Turbidez	Cromo total	Zinc total
Aceites y Grasas	Hierro disuelto	Nitratos
Cloruro Libre	Hierro total	Fósforo total
NH3	Mercurio disuelto	Coliformes totales
Hidrocarburos totales	Mercurio total	Coliformes fecales
HAT	Níquel disuelto	
Arsénico disuelto	Níquel total	

Fuente: CIAMA Ltda.

Con la información levantada de la revisión de la literatura gris y la sistemática de publicaciones científicas, se elaboraron tablas que describen el peligro (efecto de los contaminantes), diferenciándolos en efectos sistémicos cancerígenos, y la descripción de las dosis de referencia encontradas.

4.3.1.2 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 Tocopilla se llevó a cabo mediante un análisis cualitativo, a través 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 hizo 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:

a) Los contaminantes de interés para la salud pública que serán objeto de la evaluación de riesgo.
b) Especificar los efectos a la salud de los contaminantes antes mencionados, particularmente identificando si se trata de contaminantes químicos no cancerígenos o cancerígenos.

4.3.1.3 Factores de exposición

Se estableció 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 utilizaron las concentraciones encontradas en los medios ambientales (agua, suelo/sedimento) y en los alimentos.

El escenario de exposición que se analizó corresponde a contacto directo, en actividad recreativa, que corresponde a baño en el litoral. También se evaluó la vía digestiva, contemplando una ingesta periódica de alimentos del mar.

En forma precautoria, se usaron los máximos niveles observados de contaminantes en la columna de agua y en la biota.

Para el análisis e 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"[2].

La evaluación del literal a) tiene 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 realizó 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 estudio.

[2] Servicio de Evaluación Ambiental Guía del artículo 11 de la Ley de Bases 19300 letra a) Riesgo para la Salud de la Población, 2012.

Para evaluar los literales d) y e), s estimó 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= Concentración[3] 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)
- DE= Duración de la exposición (años)
- P_c= Peso corporal (Kg)
- TP= Período sobre el cual se promedia la exposición en días (DE x 365 días).

Por otro lado, para evaluar el riesgo de la alimentación, se calculó la ingesta diaria estimada mediante la siguiente formula:

$$IDE = \frac{TI \cdot C \cdot FE \cdot DE}{P_{cp} \cdot TP}$$

En donde:

- IDE= Ingesta diaria estimada $(\mathrm{mg/kg\ peso/\ día})$
- TI= tasa de ingesta de pescado (gr/día)
- C= Concentración del arsénico, cadmio, plomo y mercurio en el pescado (mg/gr peso seco)
- P_{cp} = peso corporal promedio (kg)

Se asumió que los metales se absorben completamente y que la técnica de cocina no altera la concentración del metal en los alimentos. Tampoco se calculó el peso seco del alimento consumido. También se asume para el cálculo del incremento de riesgo cancerígeno (ILCR)

[3] Se usará la concentración máxima observada en la columna de agua

que el 3% del arsénico total medido en pescados y mariscos correspondió a arsénico inorgánico[4567].

La Dosis Total corresponde a la suma de la exposición por contacto agua más la ingesta diaria estimada por la alimentación, 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*[8] 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 Tocopilla, donde **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.

Dentro de la encuesta realizada a la población de Tocopilla, en las opciones de consumo se pusieron opciones de alimentos enlatados y no enlatados, seleccionando todos aquellos que tienen un consumo regular dentro de la dieta de los encuestados. Luego, se 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:

[4] 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.

[5] https://www.cfs.gov.hk/english/multimedia/multimedia_pub/multimedia_pub_fsf_17_02.html

[6] 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

[7] 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.

[8] EPA IRIS cancer slope factor of 1,5 mg/kg/day.

$\overline{p_{nt}}$: 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.

4.3.1.4 Caracterización y evaluación de la exposición

La caracterización del riesgo tiene por finalidad responder la pregunta de investigación planteada por las autoridades de la Región de Antofagasta, que solicitaron evaluar el nivel de riesgo que la exposición a la bahía de Tocopilla le puede producir a la población de residentes en la comuna.

Para responder esta pregunta, se realizó un cálculo de la exposición sitio-específica, es decir, contemplando valores de concentraciones observadas en la columna de agua y en la biota comestible de la bahía. Además, se estimaron factores de exposición medidos a partir de una encuesta poblacional.

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 Tocopilla. La muestra consistió en un grupo de 376 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 mayo y noviembre-diciembre de 2019, se realizó la encuesta poblacional en la Bahía de Algodonales de Tocopilla. Con una población total de 25.186 habitantes[9] 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 379 hogares por encuestar, realizado el terreno se logró obtener una muestra de 377 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:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N-1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

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 = precisión (5%).

Al desconocer la proporción esperada se utilizó el 50%, lo que maximiza el tamaño muestral (n).

[9] Instituto nacional de Estadística Censo de Población y vivienda 2002 y 2017.

Tabla 4.3-2: Población y tamaño de la muestra, Tocopilla.

Muestra	Población (2017)	Tamaño muestral
Requerida	25.186	379
Lograda		377

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 y un programa de encuestas llamado SurveyMonkey a 377 adultos residentes por más de un año en Tocopilla.

2) Encuesta Escolares (Anexo)

Durante los meses de noviembre y diciembre de 2019, se realizó la encuesta poblacional en la Bahía Algodonales, Tocopilla, en donde se incluyó la encuesta a niños reportada por un apoderado o padre del menor. Con una población total de 6.033 habitantes (base a población de entre 0 y 14 años según Censo 2017) [10] como universo, se determinó un número total de 67 menores a incluir mediante el reporte de un representante, realizado el terreno se logró obtener una muestra de 17 participantes, quienes libremente firmaron consentimiento informado y accedieron a participar. Debido a las condiciones imperantes en el país posterior al 18 de octubre del año 2019, no se pudieron realizar encuestas en colegios, que hubieran permitido completar el número esperado de escolares.

4.3.1.5 Análisis de incertidumbre

Se analizó 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 fueron 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.

[10] Instituto nacional de Estadística Censo de Población y vivienda 2002 y 2017.

4.3.2 Resultados

4.3.2.1 Caracterización de la bahía

El diagnóstico de salud de la comuna, que contempla obtener información de los principales antecedentes de la comuna, como lo son la demografía, clima, determinantes sociales estructurales, sistema de salud, entorno ambiental, análisis de mortalidad, egresos hospitalarios, entre otros, se adjunta en el anexo del presente capítulo (4.3.4).

A continuación, se describe la búsqueda sistemática de información y los peligros de los parámetros potencialmente contaminantes asociados a metales e hidrocarburos.

4.3.2.1.1 Búsqueda sistemática de información

La presencia de contaminantes en el agua de mar de la Bahía Algodonales de Tocopilla tiene importancia para la salud pública, pues la población puede verse expuesta a ellos en distintos escenarios de exposición.

Dependiendo de la frecuencia y duración de algunas actividades el contacto del agua de mar puede ocurrir por conductas tales como:

- Recreacional, al bañarse en las aguas
- Recreacional al exponerse a los aerosoles marinos al caminar por la playa y el borde marino
- Alimentarse con productos de mar (peces y algas)

Las vías de exposición teóricas por lo tanto son las siguientes:

- Dérmica
- Ingestión de agua
- Ingestión de alimentos directos, o contaminación cruzada (por ejemplo, consumir una fruta que se ha expuesto a los aerosoles marinos y estos tengan presencia de coliformes fecales y/o virus).

El peligro de este tipo de exposición depende del tipo de contaminante presente en el agua de mar, en las algas comestibles y en los peces y moluscos comestibles.

En el presente estudio se evaluaron los siguientes grupos de contaminantes, que tienen efectos distintos:

- Efectos de la exposición a metales
- Efectos de la exposición a hidrocarburos

Respecto de la presencia de contaminantes biológicos como son los coliformes fecales, la información es amplia y conocida, se presenta un resumen proveniente de la última revisión de la guía de calidad del agua de la Organización Mundial de la Salud[11].

I. Peligro asociado a contaminantes estudiados

La Tabla 4.3-3 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 disponible[12].

[11] WHOhttp://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chapters/en/

[12] Organización Mundial de la Saludhttp://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chap12.pdf?ua=1

Tabla 4.3-3: Compuestos estudiados en bahía Algodonales 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	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
		Cancerígeno	
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	Sistémico	Es un micronutriente que a altas dosis puede producir alteración del sabor de agua y alimentos (cambios organolépticos) e irritación gástrica. En algunas personas que tienen una deficiencia enzimática en su excreción, enfermedad de Wilson, puede provocar daño hepático.
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

Compuestos y parámetro (*)	Medio	Tipo de efecto	Peligro
			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.
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.
Selenio		Sistémico	Micronutriente, en altas dosis puede producir alteración a la piel, con caída del pelo.
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.

II. Revisión Sistemática de la Literatura científica

Efectos de contaminantes en agua de mar y peces

La revisión sistemática llevada a cabo en PubMed dio como resultado 14 publicaciones sobre los efectos en la salud humana de la presencia de metales y/o hidrocarburos en el agua de mar. La Tabla 4.3-4 resume los hallazgos.

En general se estudió la presencia de metales y se estimó el riesgo para la población.

Tabla 4.3-4: Publicaciones científicas sobre los efectos de metales e hidrocarburos en agua de mar.

Autor	Efecto estudiado	Resultados
Yang-Guang Gu[13]	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[14]	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.
Salgueiro-González[15]	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

[13] 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

[14] 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

[15]Salgueiro-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

Autor	Efecto estudiado	Resultados
		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 lg 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[16]	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[17]	Evaluación de Riesgo	Propone un bioensayo para evaluar la eco toxicidad de los hidrocarburos provenientes de los derrames de petróleo en el mar.
GermanCano-Sancho[18]	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

[16] Helena A.Kehrig, Selenium and mercury in widely consumed seafood from South Atlantic Ocean. Ecotoxicology and Environmental Safety 93(2013)156–162

[17] Chiraz Ben Naceur, Oyster's cells regulatory volume decrease: A new tool for evaluating the toxicity of low concentration hydrocarbons in marine waters.EcotoxicologyandEnvironmentalSafety133(2016)327–333

[18]German Cano-Sancho, Oral bioaccessibility of arsenic, mercury and methylmercury in marine species commercialized in Catalonia (Spain)and health risks for the consumers. FoodandChemicalToxicology86(2015)34–40

Autor	Efecto estudiado	Resultados
		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[19],	Riesgo	Se determinaron las concentraciones de metales pesados en organismos comestibles del área central de Fishery Resource Reserve de Daya Bay, Mar de China Meridional. Se recolectaron y analizaron muestras de 14 especies de crustáceos, peces y mariscos. Las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn fueron 0.18-1.16, 0.002-0.919,0.40-2.85, 0.07-4.10, 0.004-0.055, 0.14-1.19, 0.014-0.070 y 4.57- 15,94 µg / g de peso húmedo, respectivamente. Las concentraciones de As fueron más altas que los niveles máximos permisibles chinos en todas las especies de peces y mariscos y dos especies de crustáceos, lo que indica que el consumo de estas especies silvestres por parte de los humanos puede presentar riesgos para la salud. Sin embargo, los cálculos de los riesgos para la salud planteados a los seres humanos indican que no se asociarían efectos adversos significativos para la salud con el consumo de estas especies.
Alina Mohamad[20]	Efecto neuroconductual	El objetivo de este estudio fue determinar el nivel de exposición a bifenilos policlorados (PCB) y seleccionar metales pesados entre los pescadores a través de la ingesta dietética de pescado y otros mariscos de la costa oriental a lo largo del Estrecho de Malacca. Este estudio determinó el comportamiento neuroconductual (basado en una batería de pruebas neuroconductuales) de los pescadores y evaluó las correlaciones entre los puntajes de la batería de pruebas nucleares neuroconductuales y factores de exposición. Noventa pescadores participaron en el estudio. El consumo total de pescado de los pescadores era medido utilizando un conjunto de cuestionarios de frecuencia de alimentos. Los contenidos de PCB en las muestras de mariscos oscilaron entre 0.2 y 0.6 pg / g de muestra fresca. Las concentraciones de mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en las

[19]SeaYang-Guang Gu, Concentrations and human health implications of heavy metals in wild aquatic organisms captured from the core area of Daya Bay'sFishery Resource Reserve, South China SeaYang- Environmental Toxicology and Pharmacology 45 (2016) 90–94.

[20] 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
		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
Gu Y et al[21].	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 × 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.

[21]Gu 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[22]	Riesgo	Se midieron concentraciones de 13 metales pesados (Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, V, As, Cd, Hg, Pb) en 360 sedimentos de superficie de arrecife (0-5 cm) y muestras de agua de mar costera de diez corales de islas en el Golfo Pérsico. Se aplicaron diferentes índices de calidad del sedimento para evaluar la calidad del sedimento superficial. Las concentraciones medias de metales en los sedimentos estudiados siguieron el orden: Al> Fe> Ni> V> Mn> Zn> Cu> Cr> Co> As> Cd> Pb> As. El promedio de Cd y Hg superó los niveles de fondo costeros en la mayoría de los sitios de muestreo. Con la excepción de As, las concentraciones de metales pesados disminuyeron progresivamente de oeste a este del Golfo Pérsico. Basado en el Factor de Enriquecimiento (EF) y el Índice de Riesgo Ecológico Potencial (IR), las concentraciones de V, Ni, Hg y Cd indican una contaminación moderada y son motivo de preocupación. Los valores medios de las unidades tóxicas de metales pesados (TU) se calcularon en el siguiente orden: Hg (0.75)> Cr (0.41)> Cd (0.27)> As (0.23)> Cu (0.12)> Zn (0.05)> Pb (0.009). Además, las proporciones medias de contribución de seis metales pesados a los valores del Índice de Riesgo Tóxico (TRI) fueron 79% para Hg, 11.48% para Cd, 6.16% para Cr, 3.27% para Cu, 0.07% para Zn y 0.01% para Pb. Los valores calculados del factor de riesgo ecológico potencial, revelaron que el riesgo de los metales pesados siguió el orden Cd> Pb> Ni> Cr> V> Cu> Zn. Los resultados reflejaron que el nivel de metales pesados, especialmente Hg y Cd, está en aumento debido a la exploración de petróleo emergente, el desarrollo industrial y las refinerías de petróleo en todo el Golfo. Las concentraciones de Fe, Mn, Cu, Zn, V y Ni en el agua de mar fueron significativamente más altas ($p < 0.05$) que los otros metales pesados disueltos detectados en los sitios de muestreo. La evaluación de riesgo para la salud utilizando el índice de cociente de peligro (HQ) recomendado por la USEPA sugiere que no hay efectos. adversos para la salud a través de la exposición dérmica, y que no hay daños carcinogénicos ni no cancerígenos para la salud humana.

[22] 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[23] et al.	Riesgo	Se midió el contenido de mercurio y ácidos grasos en los músculos de Perca fluviatilis L. (perca europea), Leuciscus idus L. (ide), Cyprinus carpio L. (carpa común o europea), Oncorhynchus mykiss Walb. (trucha arcoiris), Platichthys flesus L. (lenguado europeo). y Clupea harengus 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[24]	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 = 16.8μgL-1) y Cu (media = 3.4μgL-1) fueron altas en el agua de mar. Los sedimentos estaban contaminados principalmente por Zn (media = 120.8mgkg-1) y Cr (media = 81.7mgkg-1). Los niveles más altos de Cu y Zn se observaron en Ostreidae con las concentraciones de 84.3 y 99.0 mg kg-1, respectivamente. La prueba de Kendall indicó que solo As, Cu, Cd y Hg mostraron tendencias decrecientes en el agua de mar con el tiempo y no se identificaron tendencias temporales 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

[23] 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

[24] 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
		use en el desarrollo de regulaciones razonables y científicas sobre la seguridad ecológica y alimentaria de esta área.
Ke C[25]	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[26].	Riesgo	Este estudio investigó la fuente y los niveles de contaminación de elementos tóxicos (Cd, Cr, As, Pb, Ni y Hg) presentes en un entorno costero, el centro industrial Paradip-an de la costa este de la India. Los índices de evaluación de riesgo ecológico y los modelos de exposición humana se utilizaron para evaluar el estado de contaminación. El factor de enriquecimiento indicó que todos los metales (loid) que se encuentran en el sedimento se derivan principalmente de la fuente antropogénica. De acuerdo con el cociente de calidad de los sedimentos, el 8.33% de los sedimentos han cruzado el límite ERM para Ni, que puede ser fatal para la biota. Mientras tanto, 66,66, 41,66 y 8,33% de los sedimentos han excedido el rango PEL para Cr, Ni y As, respectivamente, que pueden registrar 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,

[25]Ke 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.

[26] 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
		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 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.

Elaboración propia

III. 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. En la Tabla 4.3-5 se adjuntan dichos valores para compuestos de interés del presente estudio.

Tabla 4.3-5: Niveles de referencia de sustancias de interés estudiadas en bahía Algodonales, Tocopila.

Compuestos	Duración de la exposición	MRL/Rfd	Fuente
Arsénico	Aguda Crónica	0,005 mg/Kg/día 0,0003 mg/Kg/día	ATSDR ATSDR
Cadmio	Intermedia Crónica	0,0005 mg/Kg/día 0,0001 mg/Kg/día	ATSDR ATSDR
Cobre	Aguda	0,01 mg/Kg/día	ATSDR
Cianuros	Intermedia	0,05 mg/Kg/día	ATSDR
Cromo hexavalente (Cr (VI))	Intermedia Crónica	0,005 mg/Kg/día 0,0009 mg/Kg/día	ATSDR ATSDR
Hidrocarburos (Fluoreno)	Crónico	0,4 mg/Kg/día	ATSDR
Hierro	Crónico	0,8 mg/Kg/día	JECFA/WHO
Mercurio	Crónica	0,002 mg/kg/day	WHO/WQG
Molibdeno	Agudo Intermedia	0,05 mg/Kg/día 0,008 mg/Kg/día	ATSDR ATSDR
Níquel	Crónica	0,00009 mg/m3	WHO/WQG
Plomo	Crónico	0,01 mg/l	WHO/WQG
Selenio	Crónica	0,005 mg/kg/día	ATSDR
Vanadio	Intermedia	0,01 mg/Kg/día	ATSDR
Zinc	Intermedia Crónica	0,3 mg/Kg/día 0,3 mg/Kg/día	ATSDR ATSDR

Fuente: CIAMA Ltda.

4.3.2.2 Identificación del peligro

La Tabla 4.3-3 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 disponible[27].

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 **cromo 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 insulina[28].

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 Poli cíclico (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 contienen HAPs son otras

[27] Organización Mundial de la Saludhttp://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chap12.pdf?ua=1

[28] 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

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 níquel[29].

[29] ASDR https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts15.html

Algunas personas que trabajan en refinerías de níquel o plantas que procesan níquel han sufrido bronquitis crónica y alteraciones del pulmón. Estas personas inhalaron 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 espermatozoides[30].

4.3.2.3 Factores de Exposición

4.3.2.3.1 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).

[30] ATSDR https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html

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*"[31].

La Figura 4.3-1 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.

Debido a que el Modelo Conceptual debe tener en consideración los datos disponibles para su cuantificación, en la Figura 4.3-2 se adjunta el MC que será utilizado en el presente estudio, donde se considera como puntos de contacto el baño en la playa y la alimentación de productos del mar, con rutas de exposición solamente orales. Tanto la inhalación como el contacto dérmico no se consideraron como puntos de contacto debido a que no se posee información de concentración de contaminantes en el aire y los metales que se analizan en el presente informe no presentan factor de penetración dérmica. Además, las principales vías de exposición corresponden a la ingesta de alimentos y a la ingesta de agua cuando se está nadando.

Respecto de la exposición dérmica, no configura una ruta relevante aún en situaciones de derrames importantes de petróleo en las playas[32]. Y, esto se debe a que en "*los océanos, la turbulencia costera causa una rápida dispersión, y la advección puede verse afectada por los vientos y las corrientes oceánicas. En la plataforma del continente, los tiempos de residencia de los contaminantes en fase acuosa son del orden de cientos de días. El sedimento es una preocupación menor porque las cargas de sedimentos en alta mar son usualmente bajas, y las concentraciones de contaminantes que se encuentran en fase acuosa, en especial metales, generalmente es baja en agua salada. Los contaminantes generalmente están* ***disponibles solo a través de las vías de la cadena alimentaria***".[33]

[31] EFTA Guía de Análisis de Riesgos para la Salud Humana y los Ecosistemas, 2004.

[32] http://weboma.webs.uvigo.es/document/human-health-ERIKA.pdf

[33] Fjeld R, Eisenberg N y Compton K Quantitative Environmental Risk Analysis for Human Health Ed. Wiley Chap. 5 Surface Water Transport Oceans.

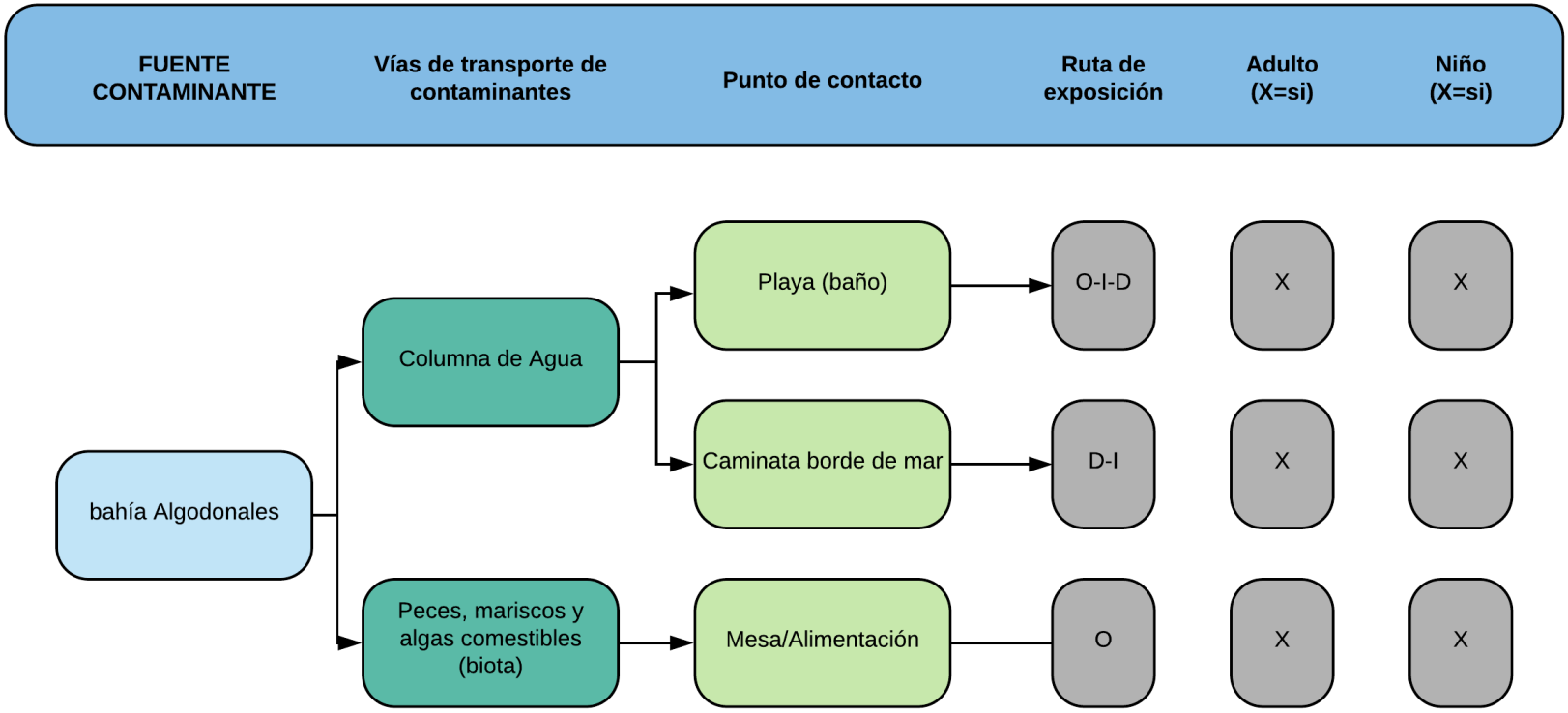


Figura 4.3-1: Modelo Conceptual teórico de exposición en bahía Algodonales (*O=Oral, I=Inhalación, D=Dérmico*).

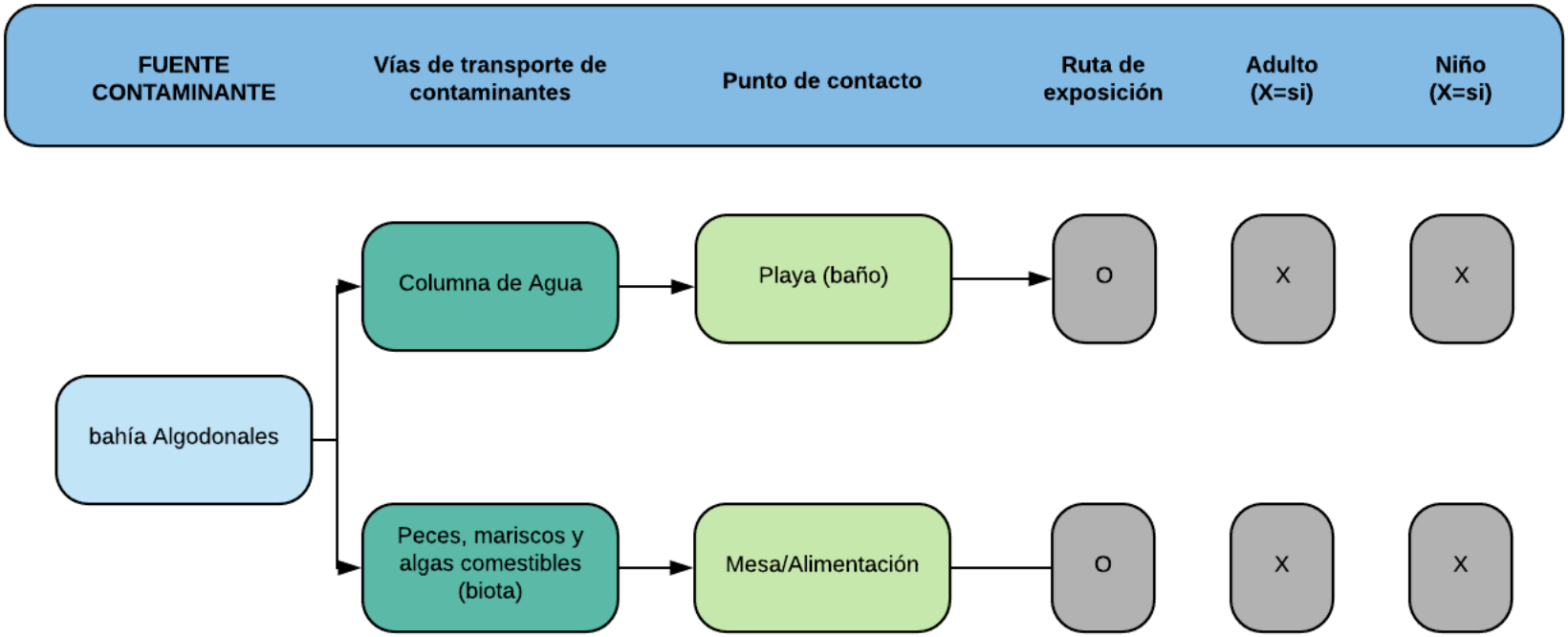


Figura 4.3-2: Modelo Conceptual de exposición utilizado en bahía Algodonales (*O=Oral, I=Inhalación, D=Dérmico*).

A continuación, se describen los distintos componentes de la cadena de riesgo, resumida en el MC propuesto para el análisis.

IV. Fuente de contaminantes ambientales

La fuente estudiada es la bahía Algodonales, Tocopilla propiamente tal. 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 ríos y quebradas. También esta Bahía sufre el impacto de descargas antropogénicas, descritas en Informe en el Objetivo Específico 1 de este estudio.

V. Mecanismos de liberación y transporte ambiental de los contaminantes

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 y la bioacumulación.

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 estadio (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).

VI. 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 4.3-1) varías 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.
- Pesca y venta de peces – mariscos y algas comestibles provenientes de la bahía de Algodonales a los habitantes de la bahía.

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. **En este caso los puntos de contacto estudiados son la playa (baño) y las mesas de las casas en donde se consumen alimentos del mar provenientes de la Bahía**.

VII. 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 a 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 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. En este estudio no está contemplado medir biomarcadores de exposición.

Escenarios de exposición ambiental

En el presente informe se evaluó un escenario hipotético relacionado con los receptores de interés, los que incluyen a la población de residentes de la zona y sus tasas de exposición.

- **Exposición de adultos:** Considera una exposición sin equipo de protección y considera vía digestiva, tragar agua.

Escenario de Ingesta Alimentaria

Se identificaron dos escenarios base posibles de ingesta uno entregado por la ENCA (2016), que indicó que la población general en Chile consume 7,9 gr/día (15,8- 28,5) pescados y mariscos, con diferencia importante entre adultos y escolares. Los adultos consumen alrededor de 18,0 gr/día (9-33) y los escolares 11,8 gr/día (6-23)[34].

El otro escenario de ingesta de pescado proviene de un estudio realizado por el Departamento de Nutrición de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, respecto de los patrones de consumo de productos del mar en población mayor a 2 años en Huasco.

[34] Universidad de Chile Encuesta Nacional de Consumo Alimentario, 2016 http://www.minsal.cl/sites/default/files/ENCA-INFORME_FINAL.pdf

Alrededor de 96% de la muestra consumió pescados, mariscos o algas el mes anterior a la entrevista, con una mediana de consumo de 28,7 g/persona, y si se considera el percentil 90 de este consumo (107,4 g diarios) la ingesta mensual alcanzaría a los 3,2 kg, levemente superiores en varones adultos. Los escolares algo menos con una mediana de 23.6 g/día.

Sin embargo, en este estudio se utilizaron los valores de exposición resultantes de la encuesta poblacional realizada.

4.3.2.3.2 Evaluación de la exposición total

VIII. Niveles ambientales actuales

El estudio comprendió la realización por parte del Centro de Ecología Ambiental de una serie de muestras ambientales (Figura 4.3-3). En esta sección analizaremos 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 la biota, como indicador de lo que pudiera suceder en los alimentos de consumo humano producidos por la bahía de Tocopilla.

En la columna de agua de Bahía Algodonales se registraron parámetros in-situ (pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y potencial redox), se analizaron parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales, sólidos totales suspendidos y turbidez); nutrientes (amonio, fósforo total y nitrato); parámetros biológicos (clorofila a, coliformes totales y fecales, demanda bioquímica de oxígeno); metales disueltos (arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio, vanadio y zinc); y otros parámetros de importancia ambiental (cloro libre residual, aceites y grasas, hidrocarburos alifáticos totales e hidrocarburos totales).

En la campaña invierno 2018, de los trece metales disueltos analizados, ocho presentaron concentraciones bajo el límite de detección (cadmio, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc), mientras que el arsénico y cobre registraron un solo valor cuantificable en TOC-5 fondo (Norgener) y TOC-4 superficial (Playa/camping), respectivamente. El resto de los puntos registró para estos 2 metales concentraciones bajo el límite de detección.

En la campaña verano 2019, de los trece metales disueltos analizados, seis presentaron concentraciones bajo el límite de detección (cadmio, cromo, manganeso, mercurio, níquel y plomo), el resto se detalla a continuación.

La concentración de arsénico disuelto en el estrato superficial varió entre <0,005 mg/L a 0,044 mg/L, en el punto TOC- 2 (caleta duendes), mientras que en el estrato profundo la variación fue de <0,005 mg/L a 0,072 mg/L, en TOC-4 (playa/camping). El cobre disuelto superficial varió entre <0,003 mg/L a 0,007 mg/L, y en el estrato profundo entre <0,003 mg/L a 0,012 mg/L, en TOC-2 (caleta duende) y TOC-4 (playa/camping), respectivamente. La concentración de vanadio disuelto en el estrato superficial varió entre <0,008 mg/L a 0,022 mg/L, mientras que en el fondo varió entre <0,008 mg/L a 0,023 mg/L. La

concentración de zinc superficial varió entre <0,002 mg/L a 0,031 mg/L, y entre 0,006 mg/L a 0,033 mg/L en el estrato profundo.

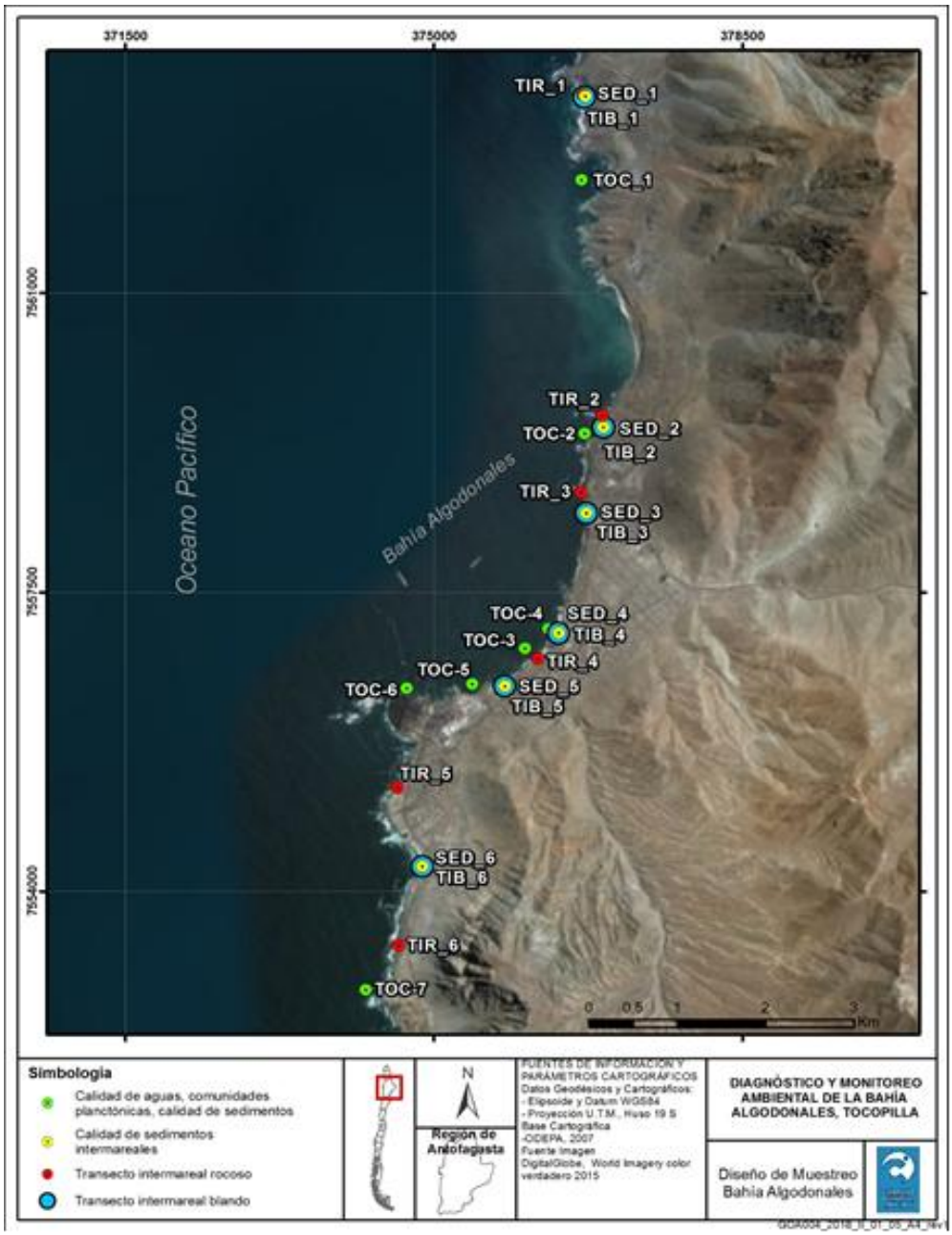


Figura 4.3-3: Muestreo ambiental, bahía Algodonales, Tocopilla, 2018.

En la campaña invierno 2019, de los trece metales disueltos analizados, solo el cobre presentó concentraciones sobre los criterios EPA (2009)[35], teniendo el resto concentraciones menores que incluso se encontraron bajo el límite de detección. La concentración de arsénico disuelto en el estrato superficial y de fondo fue de <0,005 mg/L.

[35] Criterios para potección de la vida acuática.

El mismo comportamiento se observó para el vanadio, donde las concentraciones en superficie y fondo no superaron el límite de detección de 0,008 mg/l. El cobre disuelto superficial varió entre <0,003 mg/l a 0,0201 mg/l, y en el estrato profundo entre <0,003 mg/L a 0,0173 mg/L, en TOC-2 (caleta duende), TOC-3 y TOC-4 (playa/camping), respectivamente. La concentración de zinc superficial varió entre <0,002 mg/L a 0,045 mg/L, y entre <0,002 mg/L a 0,067 mg/L en el estrato profundo. Todas las concentraciones fueron menores a los criterios de la EPA,2009.

En la campaña de verano 2020, de los trece metales disueltos analizados, solo el arsénico, el hierro, el molibdeno y el zinc presentaron concentraciones sobre el límite de detección.

Tomando en consideración los hallazgos encontrados en todas las campañas el único metal que se evaluará en agua será el arsénico (Tabla 4.3-6). Si bien la presencia de coliformes fecales en el agua implican riesgo, las concentraciones registradas fueron bajas en comparación a lo establecido en el DS144/2009, haciendo poco probable la exposición, y consiguientemente un riesgo aceptable.

Resumiendo, los resultados de contaminantes de interés en biota de consumo local que se encontraron por sobre los límites del Reglamento Sanitario de los Alimentos fueron: arsénico, fluoreno, selenio, cobre y plomo (ver tablas 4.2-36 y tabla 4.2-37).

Tabla 4.3-6 Resultados Calidad de Agua, parámetros seleccionados, bahía de Tocopilla, 2018-2019. En rojo los valores por sobre el límite de detección.

Año	Campaña	Parámetro	LD	N	Min	Máx
2018	Invierno	Arsénico disuelto	0,005	14	<0,005	0,012
2018	Invierno	Cadmio disuelto	0,001	14	<0,001	<0,001
2018	Invierno	Coliformes fecales	1,8	14	<1,8	240
2018	Invierno	Cromo disuelto	0,002	14	<0,002	<0,002
2018	Invierno	Hidrocarburos totales	1	14	<1	<1
2018	Invierno	Níquel disuelto	0,003	14	<0,003	<0,003
2018	Invierno	Plomo disuelto	0,008	14	<0,008	<0,008
2019	verano	Arsénico disuelto	0,005	14	<0,005	0,072
2019	verano	Cadmio disuelto	0,001	14	<0,001	<0,001
2019	verano	Coliformes fecales	1,8	14	<1,8	<1,8
2019	verano	Cromo disuelto	0,002	14	<0,002	<0,002
2019	verano	Hidrocarburos totales	1	14	<1	<1
2019	verano	Níquel disuelto	0,003	14	<0,003	0,008
2019	verano	Plomo disuelto	0,008	14	<0,008	<0,008
2019	Invierno	Arsénico disuelto	0,005	14	<0,005	<0,005
2019	Invierno	Cadmio disuelto	0,001	14	<0,001	<0,001
2019	Invierno	Coliformes fecales	1,8	14	<1,8	49,0
2019	Invierno	Cromo disuelto	0,002	14	<0,002	<0,002
2019	Invierno	Hidrocarburos totales	1	14	<1	<1

Año	Campaña	Parámetro	LD	N	Min	Máx
2019	Invierno	Níquel disuelto	0,003	14	<0,003	<0,003
2019	Invierno	Plomo disuelto	0,008	14	<0,008	<0,008
2020	verano	Arsénico disuelto	0,005	14	<0,005	0,005
2020	verano	Cadmio disuelto	0,001	14	<0,001	<0,001
2020	verano	Coliformes fecales	1,8	14	<1,8	17,0
2020	verano	Cromo disuelto	0,002	14	<0,002	<0,002
2020	verano	Hidrocarburos totales	1	14	<1	<1
2020	verano	Níquel disuelto	0,003	14	<0,003	<0,003
2020	verano	Plomo disuelto	0,008	14	<0,008	<0,008

Tabla 4.3-7: Especies recolectadas y número de muestras logradas para análisis de concentración de metales e hidrocarburos en biota.

Nombre común	Especie	N° muestras logradas Metales	N° muestras Logradas Hidrocarburos	Sector de captura
Bilagay	*Cheilodactylus variegatus*	3	1	Cenizales
Erizo rojo	*Loxechinus albus*	3	3	Cenizales, Muelle Electroandina
Huiro Palo	*Lessonia trabeculata*	3	3	Cenizales
Jaiba	*Cancer setosus*	3	-	Muelle Electroandina
Lapa	*Fissurella sp.*	3	-	Cenizales, Muelle Electroandina
Lenguado	*Paralichthys adspersus*	1	-	Muelle Electroandina
Loco	*Concholepas concholepas*	3	-	Cenizales, Muelle Electroandina
Pejerrey	*Odontesthes regia*	3	-	Muelle Pescadores
Piure	*Pyura sp.*	3	1	Muelle Electroandina
Pulpo	*Octopus sp.*	3	3	Muelle Electroandina

(-): No aplica

Tabla 4.3-8: Máximos valores de concentración de metales en biota para cada especie muestreada. Se destacan en rojo los valores de concentración por sobre lo establecido en el DS 977/96.

Parámetro	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Arsénico (As) (mg/kg wwt)	0,83	3,74	7,69	24,7	1,74	1,3	4,7	0,8	1,85	5,56
Cadmio (Cd) (mg/kg wwt)	0,038	0,25	0,27	0,33	0,333	0,001	1,05	0,016	0,519	0,2
Cobre (Cu) (mg/kg wwt)	0,614	2,3	7,21	23,7	176	0,131	24,8	1	6	10,4
Cromo (Cr) (mg/kg wwt)	0,07	0,171	0,125	0,043	0,257	0,01	0,041	0,023	0,357	0,059
Hierro (Fe) (mg/kg wwt)	36,1	119	100	21	210	1,92	69,6	15	309	43,2
Mercurio (Hg) (mg/kg wwt)	0,221	0,002	0,001	0,0393	0,0051	0,0434	0,0165	0,0083	0,0076	0,0283
Molibdeno (Mo) (mg/kg wwt)	0,0444	0,284	0,131	0,091	1,28	0,004	0,328	0,0088	0,375	0,127
Níquel (Ni) (mg/kg wwt)	0,04	0,202	0,126	0,048	0,097	0,04	0,04	0,04	0,316	0,04
Plomo (Pb) (mg/kg wwt)	0,27	0,0938	0,49	0,029	0,447	0,0052	0,064	0,156	0,157	1,3
Selenio (Se) (mg/kg wwt)	0,282	0,175	0,023	0,869	0,195	0,47	0,27	0,421	0,91	0,172
Vanadio (V) (mg/kg wwt)	0,025	0,806	0,344	0,08	0,298	0,02	0,084	0,026	1,79	0,09
Zinc (Zn) (mg/kg wwt)	5,15	19,6	4,78	108	12,1	2,73	15,6	18	15,1	16,5

Tabla 4.3-9: Resultado contenido hidrocarburos en peces, moluscos y algas (en µg/Kg), en rojo ejemplares con contenido sobre límite de detección, Tocopilla 2018-2019.

Parámetro	Bilagay	Bilagay	Bilagay	Erizo Rojo	Erizo Rojo	Erizo Rojo	Piure	Pulpo	Pulpo	Pulpo	Huiro Palo	Huiro Palo	Huiro Palo
Naftaleno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
2 Metilnaftaleno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Acenaftileno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Acenafteno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Dibenzofurano	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Fluoreno	<5.0	<4.9	4,9	<5.0	<5.0	<4.8	11	5,6	<4.8	5,3	<4.9	<5.0	<4.7
Fenantreno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Antraceno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7

Fluoranteno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Pireno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzeno (a) antraceno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Criseno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzo (b) fluoranteno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzo (k) fluoranteno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzo (a) pireno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Indeno (123-cd) pireno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Dibenzo (a,h) antraceno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7
Benzo (g,h,i) perileno	<5.0	<4.9	<4.9	<5.0	<5.0	<4.8	<9.7	<4.9	<4.8	<5.0	<4.9	<5.0	<4.7

IX. Normativa nacional

Tabla 4.3-10: 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 4.3-11: 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

Teniendo en consideración los antecedentes anteriores:

- Se descarta el agua como componente de riesgo pues los parámetros detectados (arsénico, níquel y coliformes fecales), en su mayor valor observado, se encuentran dentro de los limites aceptados por el DS 144/2009 que define los límites para el contacto directo con agua de mar en playas y balnearios.
- Respecto de los contaminantes en biota, se analiza el riesgo para los mayores valores observados, aún si estos se encuentran dentro de los valores aceptados por el Reglamento Sanitario de los Alimentos (DS 977/96).

X. Resultados evaluación ambiental

Durante el mes de mayo del año 2019, se realizó la encuesta poblacional en la bahía de Algodonales, Tocopilla. Con una población total de 25.186 habitantes[36] como universo, se calculó un tamaño de la muestra considerando un 90% de nivel de confianza y un error del 10%, determinando un número total de 68 hogares por encuestar. Una vez realizado el terreno, se logró obtener una muestra de 79 participantes, quienes libremente firmaron el consentimiento informado y accedieron a participar.

En julio del año 2019, a la luz de los resultados y observaciones levantadas en el estudio FNDR "Diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía Mejillones del Sur", Código Bip 30126368, la contraparte técnica elevó el requerimiento de que el estudio debería tener un nivel de confianza de 95%. Debido al esfuerzo técnico y a un nuevo presupuesto por parte de CIAMA Ltda, se planificó realizar las encuestas a partir del día 28 de octubre del año 2019. Debido al estallido social y al acontecer nacional que, a la fecha de entrega de presente informe, aún significa eventos de violencia en distintas localidades del país, se postergó el inicio hasta el día 27 de noviembre del año 2019.

Debido a la baja asistencia y a la baja recepción de la comunidad con las encuestas en niños, con la contraparte técnica se decidió no considerar en el estudio a la población infantil de Tocopilla en reunión realizada el día 11-11-2019, considerando además los resultados para niños obtenidos en el estudio FNDR "Diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía Mejillones del Sur", los cuales arrojaron que la población menor de edad no está sujeta a peligro ante los contaminantes en estudio, pues los efectos tienden a ser crónicos en la población adulta.

Así, el día 12 de diciembre del año 2019, se terminó el proceso de encuestar a la población de Tocopilla al validar las encuestas realizadas, resultando en 377 participantes, quienes libremente firmaron el consentimiento informado y accedieron a participar.

Estimación de la exposición en la población adulta de Tocopilla

La Tabla 4.3-12 muestra las características etarias, tiempo de residencia en la comuna y en el hogar de la muestra poblacional evaluada, determinando un promedio de 47,6 años, un tiempo medio de 39,2 años de residencia en la comuna de Tocopilla y 15,9 años en la vivienda actual.

Tabla 4.3-12: Características de edad y tiempo de residencia de la muestra evaluada (n=376), Tocopilla, 2019.

Variable	Media	Desviación Estándar
Edad	47,6	±16,1
Tiempo de residencia en Tocopilla (en años)	39,2	±19,71
Tiempo de residencia vivienda actual	15,9	±16,1

[36] Censo 2017, http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R02

Al analizar la participación de los evaluados según grupo etario, se determinó que el mayor porcentaje, un 25,07% correspondía al tramo de 60 años o más, lo sigue el grupo entre 50 y 59 años con un 22,13% y de 30 a 39 años un 18,4% (Tabla 4.3-38).

Tabla 4.3-10: Evaluados según grupo etario en años(n=375).

Grupo etario en años	Frecuencia absoluta	Porcentaje
18-20	8	2,13%
21-29	54	14,40%
30-39	69	18,40%
40-49	67	17,87%
50-59	83	22,13%
60 o más	94	25,07%
total	375	100%

En cuanto a los años de residencia en la localidad de Tocopilla, se adjunta la Tabla 4.3-11 con los estadísticos de la muestra, donde se destaca que las personas encuestadas declararon llevar entre 1 y 84 años de residencia en el sector, con un valor promedio de 39,18 años. El valor P90 registrado correspondió a un valor de 65 años de residencia, utilizado como Duración de Exposición en la Estimación de la Dosis de Exposición, para adulto.

Tabla 4.3-11: Estadísticos de Duración de Exposición (DE) de encuesta realizada en Tocopilla, respecto a los años de residencia en el sector.

Estadístico	DE (años)
Promedio	39,18
Mediana	39
Desviación estándar	19,6
Mínimo	1
Máximo	84
P90	65

Respecto al consumo de pescados y crustáceos, en relación con cada tipo destacan el 63,9% de “otro tipo”, que hace referencia principalmente a pescados tales como la reineta, que no son de origen local. También el consumo de “atún en conserva” en donde un 55,7% declaró consumirlo, lo siguen el “jurel en conserva” con un 25,7% y el “jurel fresco” con un 25,34% que declaro consumirla (Tabla 4.3-12) este último de extracción local. De los otros productos de consumo local destacan lapa, loco y jaiba.

Tabla 4.3-12: Frecuencia de consumo población de Tocopilla, según tipo de pescado y mariscos, Tocopilla, 2019.

Preferencia de consumo durante el último mes	Individuos muestreados	Frecuencia Absoluta No	Frecuencia Absoluta Si	Porcentaje % No	Porcentaje % Si
Pulga de mar	377	376	1	99,73	0,27
Erizo	377	311	66	82,49	17,51
Bilagay	376	372	4	98,94	1,06
Pejerrey	375	343	32	91,47	8,53
Jerguilla	376	374	2	99,47	0,53
Congrio	375	338	37	90,13	9,87
Castañeta	376	376	0	100	0
Lenguado	377	341	36	90,45	9,55
Cabina	376	358	18	95,21	4,79
Lisa	376	373	3	99,20	0,80
Jaiba	374	346	28	92,51	7,49
Caballa	372	365	7	98,12	1,88
Jurel	296	221	75	74,66	25,34
Jurel en conserva	377	280	97	74,27	25,73
Atún en conserva	377	167	210	44,30	55,70
Sardinas en conserva	376	356	20	94,68	5,32
Salmón	375	337	38	89,87	10,13
Piure	375	346	29	92,27	7,73
Otro	352	127	225	36,08	63,92

Respecto de la frecuencia del consumo de pescado (Tabla 4.3-13), destaca el 27,91% que declaró consumirlo 1 vez por semana, seguido del 20,87% que declaró consumirlos 2 veces al mes.

Tabla 4.3-13: Frecuencia de consumo de pescado al mes, día/año, Tocopilla, 2019.

Frecuencia de consumo de pescado	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
1 sola vez al mes	61	16,53%
1 vez por semana	103	27,91%
2 veces al mes	77	20,87%
3 veces por semana	42	11,38%
5 veces por semana	5	1,36%
Todos los días en el almuerzo y cena	2	0,54%
Todos los días en el almuerzo o cena	3	0,81%
unas pocas veces al año o menos	76	20,6%
Total	369	100%

En cuanto a la cantidad de consumo (Tabla 4.3-14), el 45,74 % de las preferencias corresponden a la opción de la figura 3 con más de 150 gramos, mientras que el 36,44% refiere a la opción 2 con 50 a 150 gramos de pescado. A su vez, el 13,83% corresponde a la opción de 50 gr. Alrededor de un 4% declara no consumir pescado.

Tabla 4.3-14: Frecuencia relativa, respecto a la cantidad de consumo según cantidad en gramos de pescado, Tocopilla, 2019.

Cantidad de Pescado	Frecuencia Absoluta	Porcentaje %
Figura 1 (50 gramos)	52	13,83%
Figura 2 (50 a 150 gramos)	137	36,44%
Figura 3 (sobre 150 gramos)	172	45,74%
no consume	15	3,99 %
Total	376	100%

La distribución del factor de consumo “f” resultante de las opciones seleccionadas por los encuestados, se adjunta en la Figura 4.3-4 se destaca la mayor concentración de preferencias en los valores del factor 0% y 100%.

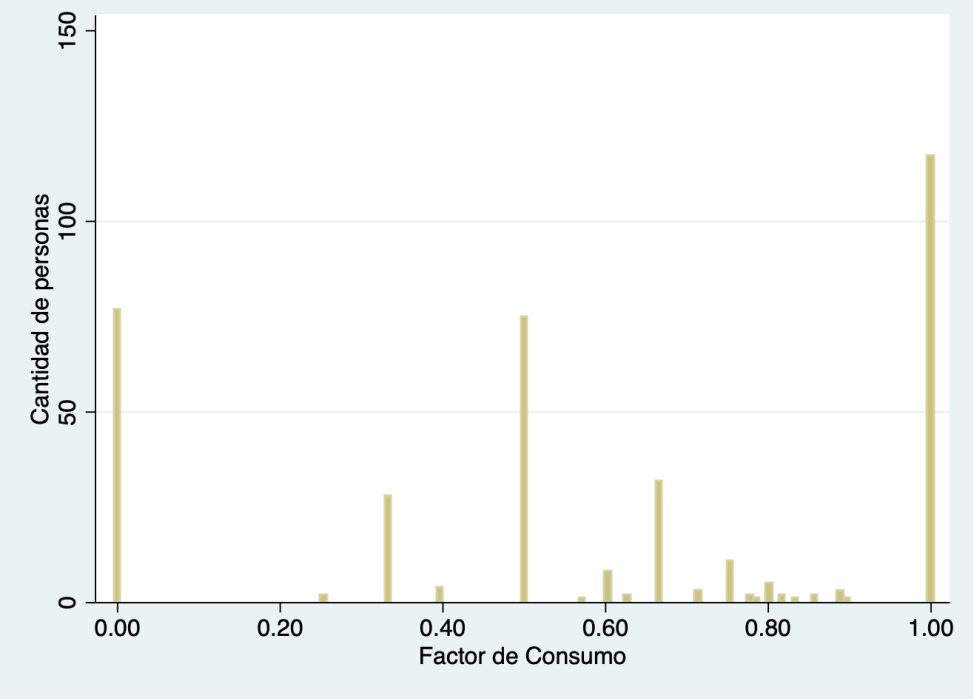


Figura 4.3-4: Frecuencia absoluta de factores de consumo “f” en pescados en población adulta de Tocopilla.

Integrando los valores antes señalados, se puede estimar que los habitantes adultos de Tocopilla consumen entre 0 gr/día y 150 gr/día de pescado al año, con un promedio de 12,5 gr/día (Tabla Nº15). En cuanto a la frecuencia de consumo, los habitantes de Tocopilla

consumen pescados entre 0 y 365 días al año, con un valor promedio de 35 días. Los valores P90 obtenidos de la muestra se adjuntan en la Tabla 4.3-15.

Tabla 4.3-15: Estadísticos de Frecuencia de Exposición (FE) y Tasa de Ingesta (TI) de muestra de consumo de pescados en población adulta de Tocopilla.

Estadístico	FE (días/año)	TI (gr/día)
Promedio	35	12,5
Mediana	12	3,9
Desviación estándar	55,7	20,7
Mínimo	0	0
Máximo	365	150
P90	104	28,21

En cuanto al consumo de mariscos por la población adulta de Tocopilla, la Tabla 4.3-16 muestra la frecuencia de consumo según tipo, donde destaca el loco con un 37,4,% de las preferencias de consumo, y la lapa con un 36,17% de evaluados que declaró consumirlos. La población refiere consumir muy poco huiro ni nada de pelillo.

Tabla 4.3-16: Frecuencia de consumo de mariscos según tipo en población adulta, Tocopilla, 2019.

Preferencia de consumo en el último mes	Frecuencia Absoluta No	Frecuencia Absoluta Si	Porcentaje % No	Porcentaje % Si
Lapa	240	136	63,83	36,17
Loco	236	141	62,60	37,40
Clueque	372	2	99,47	0,53
Ostión	359	15	95,99	4,01
Pulpo	264	111	70,40	29,60
Locate	369	7	98,14	1,86
Mariscos en conservas	344	30	91,98	8,02
Huiro	368	7	98,13	1,87
Pelillo	375	0	100	0
otros	261	85	75,43	24,57

Respecto de la frecuencia del consumo de mariscos, en la Tabla 4.3-17 destaca con un 38,44% la opción de “unas pocas veces al año o menos”, seguido de un 20,61% que refiere un consumo de “1 sola vez al mes”.

Tabla 4.3-17: Frecuencia relativa de consumo según tipo de mariscos y algas.

Frecuencia de consumo de mariscos y algas	Frecuencia absoluta	Porcentaje
1 sola vez al mes	74	20,61%
1 vez por semana	63	17,55%
2 veces al mes	63	17,55%
3 veces por semana	14	3,90%
5 veces por semana	6	1,67%
Todos los días almuerzo o cena	1	0,28%
unas pocas veces al año o menos	138	38,44%
Total	359	100%

Respecto a la cantidad en gramos de este consumo (Tabla 4.3-18), destaca con un 35,9% de las preferencias un consumo de 100 a 150 gramos, seguido de un 29,26% que refirió un consumo mayor a 150 gramos y un 18,88% que consume 50 gr.

Tabla 4.3-18: Frecuencia relativa, respecto a la cantidad de consumo según cantidad en gramos de mariscos.

Respecto de la cantidad del consumo de mariscos y algas	Frecuencia Absoluta	Porcentaje
Figura 1 (50 gr.)	71	18,88%
Figura 2 (100 gr a 150 gramos)	135	35,90%
Figura 3 (mayor a 150 gramos)	110	29,26%
No consume	60	15,96%
Total	376	100%

La distribución del factor de consumo “f” resultante de las opciones seleccionadas por los encuestados, se adjunta en la Figura 4.3-5. Al igual que para el consumo de pescados, se destaca la mayor concentración de preferencias en los valores del factor 0% y 100%.

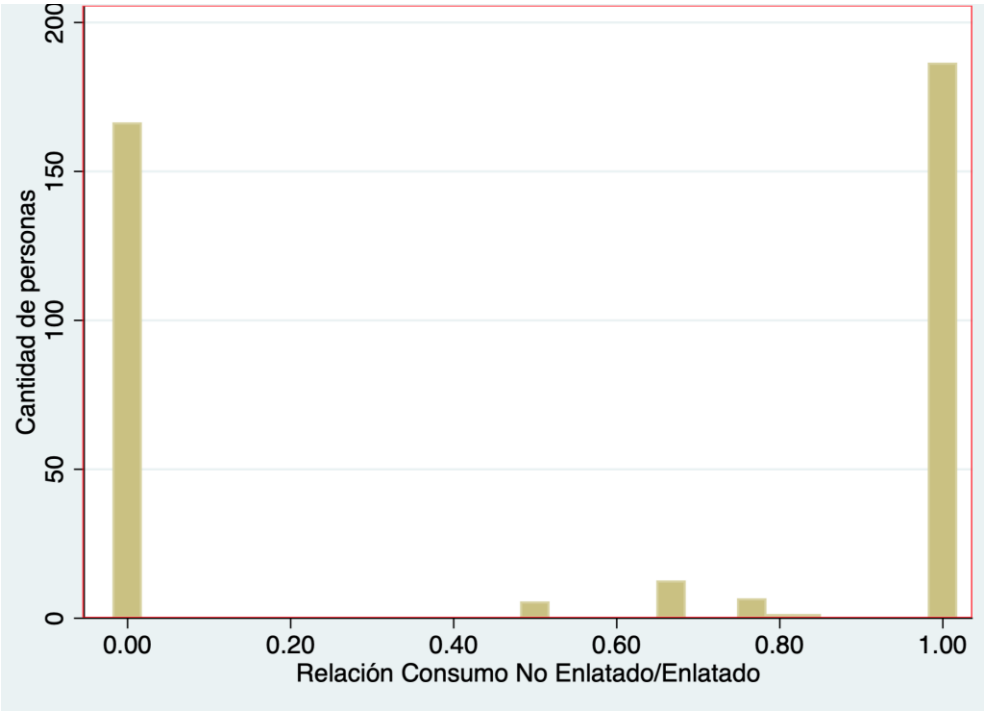


Figura 4.3-5: Frecuencia absoluta de factores de consumo "f" en mariscos, de habitantes adultos de Tocopilla.

Integrando los valores antes señalados, se puede estimar que los habitantes adultos de Tocopilla consumen entre 0 gr/día y 150 gr/día de marisco al año, con un promedio de 8 gr/día (Tabla Nº 19). En cuanto a la frecuencia de consumo, los habitantes de Tocopilla consumen pescados entre 0 y 365 días al año, con un valor promedio de 22,9 días. Los valores P90 obtenidos de la muestra se adjuntan en la Tabla 4.3-19.

Tabla 4.3-19: Estadísticos de Frecuencia de Exposición (FE) y Tasa de Ingesta (TI) de muestra de consumo de mariscos en población adulta.

Estadístico	FE (días/año)	TI (gr/día)
Promedio	22,9	8
Mediana	5	1,6
Desviación estándar	45,7	17,3
Mínimo	0	0
Máximo	365	150
P90	52	21,37

Por otro lado, en la se muestra la frecuencia reportada de visitas a la playa, donde destaca Tabla 4.3-20 con un 67,83% quienes refirieron asistir "Todos los días", seguido de un 16,09% que refirió asistir "1 vez por-semana "y un 8,58% que declaró asistir "3 veces por semana".

Tabla 4.3-20: 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	60	16,09%
3 veces a la semana	32	8,58%
5 veces a la semana	10	2,68%
sólo fin de semana en verano	253	4,83%
Todos los días	18	67,83%
Total	373	100%

Estimación de la dosis de exposición

Las Tablas siguientes muestran los resultados de las estimaciones realizadas. Se contempló solo la exposición producto ingesta de productos del mar provenientes de la bahía de Tocopilla[37]. La Tabla 4.3-21 resume los supuestos utilizados para el cálculo de las exposiciones.

Tabla 4.3-21: Valores utilizados para el cálculo de la Exposición.

Símbolo	Sentido (unidad)	Matriz	Valor utilizado	Referencia (Fuente, año)
C	Concentración (mg/g)	Biota	Valores de concentraciones máximas	CEA, 2020
TI	Tasa Ingesta Alimento (gr/día)	Peces	28,21	CIAMA, P90
		Mariscos	21,37	
FE	Frecuencia de Exposición (día/año) al alimento	Peces	104	
		Mariscos	52	
DE	Duración de Exposición (años)	-	70 años	Yang-Guang Gu et al., 2016[38]
PC	Peso Corporal (Kg)	-	70 Kg (Adulto)	CEA, Mejillones 2019
TP	Tiempo ponderado(días)	Alimento	25550 días	Yang-Guang Gu et al., 2016[39]

[37] La exposición por contacto directo al agua de mar en la playa no constituye riesgo al considerar los resultados de su calidad.

[38] 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.

[39] 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 4.3-22: Estimación de Dosis de Exposición por Ingesta de peces (Lenguado), en población de adultos de Tocopilla.

Parámetro	C (mg/gr)	TI (gr/día)	FE (días/año)	DE (años)	PC (Kg)	TP (días)	Dosis (mg/kg/día)
Arsénico (As)*	0,000039	28,21	104	70	70	25550	4,47799E-06
Cadmio	0,000001	28,21	104	70	70	25550	1,1482E-07
Cobre	0,000131	28,21	104	70	70	25550	1,50414E-05
Cromo	0,00001	28,21	104	70	70	25550	1,1482E-06
Hierro	0,00192	28,21	104	70	70	25550	0,000220455
Mercurio	0,0000434	28,21	104	70	70	25550	4,98319E-06
Molibdeno	0,000004	28,21	104	70	70	25550	4,59281E-07
Niquel	0,00004	28,21	104	70	70	25550	4,59281E-06
Plomo	0,0000052	28,21	104	70	70	25550	5,97065E-07
Selenio	0,00047	28,21	104	70	70	25550	5,39655E-05
Vanadio	0,00002	28,21	104	70	70	25550	2,2964E-06
Zinc	0,00273	28,21	104	70	70	25550	0,000313459
Fluoreno	-	28,21	104	70	70	25550	-

(AS*). Ajustado por arsénico inorgánico

Tabla 4.3-23: Estimación de Dosis de Exposición por Ingesta de mariscos (lapa), adultos Bahía de Tocopilla.

Adulto	C (mg/gr)	TI (gr/dia)	FE (dias/año)	DE (años)	PC (Kg)	TP (dias)	Dosis (mg/kg/día)
Arsénico (As)*	0,0000522	21,37	52	70	70	25550	2,27E-06
Cadmio	0,000333	21,37	52	70	70	25550	1,45E-05
Cobre	0,176	21,37	52	70	70	25550	7,65E-03
Cromo	0,000257	21,37	52	70	70	25550	1,12E-05
Hierro	0,21	21,37	52	70	70	25550	9,13E-03
Mercurio	0,0000051	21,37	52	70	70	25550	2,22E-07
Molibdeno	0,00128	21,37	52	70	70	25550	5,57E-05
Niquel	0,000097	21,37	52	70	70	25550	4,22E-06
Plomo	0,000447	21,37	52	70	70	25550	1,94E-05
Selenio	0,000195	21,37	52	70	70	25550	8,48E-06
Vanadio	0,000298	21,37	52	70	70	25550	1,30E-05
Zinc	0,0121	21,37	52	70	70	25550	5,26E-04
Fluoreno	0	21,37	52	70	70	25550	0,00E+00

(AS*). Ajustado por arsénico inorgánico

Tabla 4.3-24: Estimación de Dosis de Exposición por Ingesta de mariscos (loco), adultos Bahía de Tocopilla.

Adulto	C (mg/gr)	TI (gr/dia)	FE (dias/año)	DE (años)	PC (Kg)	TP (dias)	Dosis (mg/kg/día)
Arsénico (As)*	0,000141	21,37	52	70	70	25550	6,13E-06
Cadmio	0,00105	21,37	52	70	70	25550	4,57E-05
Cobre	0,0248	21,37	52	70	70	25550	1,08E-03
Cromo	0,000041	21,37	52	70	70	25550	1,78E-06
Hierro	0,0696	21,37	52	70	70	25550	3,03E-03
Mercurio	0,0000165	21,37	52	70	70	25550	7,18E-07
Molibdeno	0,000328	21,37	52	70	70	25550	1,43E-05
Niquel	0,00004	21,37	52	70	70	25550	1,74E-06
Plomo	0,000064	21,37	52	70	70	25550	2,78E-06
Selenio	0,00027	21,37	52	70	70	25550	1,17E-05
Vanadio	0,000084	21,37	52	70	70	25550	3,65E-06
Zinc	0,0156	21,37	52	70	70	25550	6,78E-04
Fluoreno	0	21,37	52	70	70	25550	0,00E+00

(AS*). Ajustado por arsénico inorgánico

Tabla 4.3-25: Estimación de Dosis de Exposición por Ingesta de mariscos (jaiba), adultos Bahía de Tocopilla.

Adulto	C (mg/gr)	TI (gr/dia)	FE (dias/año)	DE (años)	PC (Kg)	TP (dias)	Dosis (mg/kg/día)
Arsénico (As)*	0,000741	21,37	52	70	70	25550	3,22E-05
Cadmio	0,00033	21,37	52	70	70	25550	1,44E-05
Cobre	0,0237	21,37	52	70	70	25550	1,03E-03
Cromo	0,000043	21,37	52	70	70	25550	1,87E-06
Hierro	0,021	21,37	52	70	70	25550	9,13E-04
Mercurio	0,0000393	21,37	52	70	70	25550	1,71E-06
Molibdeno	0,000091	21,37	52	70	70	25550	3,96E-06
Niquel	0,000048	21,37	52	70	70	25550	2,09E-06
Plomo	0,000029	21,37	52	70	70	25550	1,26E-06
Selenio	0,000869	21,37	52	70	70	25550	3,78E-05
Vanadio	0,00008	21,37	52	70	70	25550	3,48E-06
Zinc	0,108	21,37	52	70	70	25550	4,70E-03
Fluoreno	0	21,37	52	70	70	25550	0,00E+00

(AS*). Ajustado por arsénico inorgánico

4.3.2.4 Caracterización y evaluación del riesgo para la Salud Humana

La caracterización del riesgo tiene por finalidad responder la pregunta de investigación planteada por las autoridades de la Región de Antofagasta, que solicitaron evaluar el nivel de riesgo que la exposición a la bahía Algodonales de Tocopilla le puede producir a la población de residentes en la comuna.

Para responder esta pregunta, se realizó un cálculo de la exposición sitio-específica, es decir contemplando valores de concentraciones observadas en la columna de agua y en la biota comestible de la bahía. Además, se estimaron factores de exposición medidos a partir de una encuesta poblacional. Por lo tanto, para caracterizar el peligro, se utilizaron datos locales. Solamente los valores de las dosis de referencia y de factor de pendiente (*cáncer slope factor*) utilizados son los descritos en la literatura toxicológica actualmente vigentes, todos los otros valores usados para la estimación corresponden a valores empíricos.

Del análisis de concentraciones de metales presentes en el agua de la bahía, se descartó esta fuente como de riesgo por presentar valores dentro de la normativa de salud vigente. Considerando los valores P90 de FE y de TI de los peces locales y mariscos de mayor frecuencia de consumo, se puede establecer que los habitantes de la Comuna de Tocopilla **no presentan riesgo** de tener efectos crónicos debido a la ingesta de metales, puesto el valor menor a 1 del índice IP.

Tabla 4.3-26: Índice de Peligro exposición por metales bahía de Tocopilla, adultos. Escenario de exposición lenguado y jaiba.

Adulto	Dosis Total (mg/kg/dia)	Dosis referencia (mg/kg/dia)	IP
Arsénico (As)*	3,67E-05	0,0003	0,12
Cadmio	1,45E-05	0,0001	0,14
Cobre	1,05E-03	0,01	0,10
Cromo	3,02E-06	0,0009	0,00
Hierro	1,13E-03	0,8	0,00
Mercurio	6,69E-06	0,002	0,00
Molibdeno	4,42E-06	0,008	0,00
Niquel	6,68E-06	0,00009	0,07
Plomo	1,86E-06	0,003	0,00
Selenio	9,18E-05	0,005	0,02
Vanadio	5,78E-06	0,01	0,00
Zinc	5,01E-03	0,3	0,02
Fluoreno	-	0,40	-

(-): sin registro.

Tabla 4.3-27: Índice de Peligro exposición por metales bahía de Tocopilla, adultos. Escenario de exposición lenguado y lapa.

Adulto	Dosis Total (mg/kg/dia)	Dosis referencia (mg/kg/dia)	IP
Arsénico (As)*	6,75E-06	0,0003	0,02
Cadmio	1,46E-05	0,0001	0,15
Cobre	7,67E-03	0,01	0,77
Cromo	1,23E-05	0,0009	0,01
Hierro	9,35E-03	0,8	0,01
Mercurio	5,21E-06	0,002	0,00
Molibdeno	5,61E-05	0,008	0,01
Niquel	8,81E-06	0,00009	0,10
Plomo	2,00E-05	0,003	0,01
Selenio	6,24E-05	0,005	0,01
Vanadio	1,53E-05	0,01	0,00
Zinc	8,40E-04	0,3	0,00
Fluoreno	-	0,40	-

(-): sin registro.

Tabla 4.3-28: Índice de Peligro exposición por metales bahía de Tocopilla, adultos. Escenario de exposición lenguado y loco.

Adulto	Dosis Total (mg/kg/dia)	Dosis referencia (mg/kg/dia)	IP
Arsénico (As)*	1,06E-05	0,0003	0,04
Cadmio	4,58E-05	0,0001	0,46
Cobre	1,09E-03	0,01	0,11
Cromo	2,93E-06	0,0009	0,00
Hierro	3,25E-03	0,8	0,00
Mercurio	5,70E-06	0,002	0,00
Molibdeno	1,47E-05	0,008	0,00
Niquel	6,33E-06	0,00009	0,07
Plomo	3,38E-06	0,003	0,00
Selenio	6,57E-05	0,005	0,01
Vanadio	5,95E-06	0,01	0,00
Zinc	9,92E-04	0,3	0,00
Fluoreno	0,00E+00	0,40	0,00

(-): sin registro.

Respecto del riesgo de cáncer, el contaminante cadmio presente en los mariscos es un cancerígeno conocido cuando se inhala (vía respiratoria), está asociado a la aparición de cánceres de pulmón y de próstata. No se ha establecido un factor de pendiente (*cáncer slope factor)* para su ingesta oral. El arsénico en cambio, que también es un cancerígeno conocido, induce **una probabilidad de cáncer por arsénico (cáncer en la piel) de aproximadamente 1 persona por cada 100.000 expuestos a 6 personas por cada 100.000 expuestos, según el escenario de exposición (**Tabla 4.3-29**).** Dado que la población de Tocopilla al CENSO del año 2017 fue de 25.186 habitantes[40], el riesgo es muy bajo

Tabla 4.3-29: Riesgo de Cáncer.

Escenario	Adulto	IDE total (mg/kg/dia)	Cancer slope factor (mg/kg/dia)	ILCR
Lenguado y lapa	**Arsénico (As)***	6,75E-06	1,5	1,0E-05
Lenguado y loco	**Arsénico (As)***	1,06E-05	1,5	1,6E-05
Lenguado y Jaiba	**Arsénico (As)***	3,67E-05	1,5	5,5E-05

(AS*). Ajustado por arsénico inorgánico

4.3.2.5 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 arsénico, cadmio, plomo y mercurio 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 Tocopilla, 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.

[40] http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R02

Se utilizó el supuesto extremadamente conservador para estimar la concentración de los contaminantes que fue es estimar el riesgo a partir de las mayores concentraciones observadas, en en la biota seleccionada. Esto puede sobreestimar en forma importante el riesgo.

Sin embargo, 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.

Estas medidas balancean la decisión de usar supuestos de concentraciones muy estrictos como es seleccionar el mayor valor observado (peor escenario de exposición).

4.3.3 Discusión y Conclusión

La bahía de Tocopilla tiene una población que ha ido incrementando paulatinamente su magnitud, con un aumento mayor al 5% de su población del año 2002 al año 2017. Este incremento poblacional en paralelo al auge industrial de la zona ha provocado un aumento de la presión sobre los recursos naturales, particularmente los de la bahía de Tocopilla del Sur.

Este estudio tuvo por finalidad dar respuesta a la inquietud de las autoridades, respecto de un posible impacto sobre la salud de la población frente a la exposición a contaminantes presentes en el agua y los alimentos (peces, crustáceos, mariscos, etc.) producidos por la bahía.

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 de la bahía de Tocopilla, por medio de la estimación de ingesta a través de escenarios de exposición dado por contacto durante los meses de verano en actividad de juego en el borde del mar y el consumo diario de pescados, mariscos y crustáceos provenientes de la misma bahía.

La situación de salud de la población de Tocopilla se caracteriza por presentar tasas elevadas, en comparación al resto del país y la región de Antofagasta, de Años de Vida Potenciales Perdidos[41]. Con problemas respiratorios y digestivos entre las principales causas de hospitalización.

[41] Este es un indicador compuesto muy utilizado en salud pública, que sirve para comparar situaciones o diagnósticos de salud poblacional. Un aumento de la tasas indican que en la localidad afectada están ocurriendo muertes prematuras prevenibles, por lo que indica necesidad de establecer estrategias de prevención de ellas.

Se estimó el riesgo proveniente de la presencia de metales en la columna de agua de mar y en algunos alimentos hidrobiológicos extraídos en la bahía. Este resultó ser elevado por presencia de arsénico para el escenario de exposición de adultos.

Estos resultados pueden estar sobre estimados pues se utilizó el supuesto que toda la concentración medida es absorbida por el organismo humano, lo que puede sobre estimar las dosis de exposición. Sin embargo, se mantuvo este análisis, pues por lo que respecta al arsénico, se podría establecer que existen también otras fuentes de exposición, que no fueron integradas al análisis como son la ingesta a partir de agua de consumo humano, ingesta por medio del suelo y/o el polvo sedimentable e ingesta vía aérea. Dichas vías se encuentran fuera del alcance del estudio, y al no existir datos locales fácilmente trazables, no se pudieron incorporar al análisis. Por lo anterior puede ser que la real exposición de la población a estos metales sea la calculada o mayor.

La dieta, especialmente los mariscos, es la principal fuente de exposición al arsénico para los humanos. 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 organoarsenicos, 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 organoarsenicos 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 (µg /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 5.55E-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 no cancerígeno, pero tienen un riesgo cancerígeno debido al As (Rahmani, 2018).

Health Canada, en su estudio "Federal contaminanted site risk assessment in Canada", apéndice C, plantea un margen conservativo de riesgo de cáncer recomendado de $1x10^{-5}$ como valor límite para evaluar y administrar sitios públicos contaminados con sustancias cancerígenas [42]. Considerando esta referencia internacional, se podría plantear que los habitantes de Tocopilla presentarían un límite de riesgo de efecto cancerígeno, dentro de lo esperable. Sin embargo, la evidencia de salud del diagnóstico situacional indica que dicha localidad también presenta niveles de cánceres por sobre el estimado nacional.

Estos resultados permiten plantear que la salud ambiental de la población que habita en la comuna de Tocopilla se encuentra impactada por el entorno ambiental, y en particular por la bahía. Por lo mismo todo esfuerzo en disminuir el impacto y la presencia de metales en el entorno, produciría beneficios preventivos en la salud de la población.

Para prevenir y conocer con mayor detalle la situación de salud de la población se sugiere a lo menos realizar las siguientes acciones:

- Completar una evaluación de riesgo integral, de modo de identificar la otra vía no estudiada. Es decir, conocer el impacto de la calidad del agua potable, suelo, polvo sedimentable, otros alimentos de cultivo local y especiación del material particulado respirable, además de incorporar la medición en el aire de otros contaminantes que pudieran tener efectos sinérgicos como es el dióxido de azufre y en general todos los gases de la combustión; además de realizar una evaluación cuantitativa de la incertidumbre.
- 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 Tocopilla.
- Eventualmente, establecer un Sistema de Vigilancia de los efectos de la exposición a metales pesados en las personas, de modo de detectar precozmente la aparición de síntomas y signos precursores de enfermedad.

[42] Guidance on Human Health Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA), V2, Part 1 (2010), Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada, Health Canada, APENDIX C.

4.3.4 ANEXOS

4.3.4.1 Caracterización de la bahía

4.3.4.1.1 Principales antecedentes

La Región del Antofagasta se encuentra ubicada en la zona norte del país y cuenta con una superficie total de 126.049,1 kms2. Desde el punto de vista político administrativo se compone de tres provincias, Antofagasta, El Loa y Tocopilla (Figura 4.3-6) y 9 comunas; Antofagasta, Calama, María Elena, Mejillones, Ollagüe, San Pedro de Atacama, Sierra Gorda, Taltal y Tocopilla. La población de la Región de Antofagasta corresponde al 3,4% del total de la población del país, Según datos del Censo 2017, la región de Antofagasta posee una población de 607.534 habitantes, de ellos 315.014 (51,85%) corresponden a Hombres y 292.520 (48,15%) a mujeres. lo que proporciona un índice de masculinidad de 107,7 por cada 100 mujeres.

La superficie del territorio comunal de Tocopilla alcanza a los 4.038,8 km2, el que representa el 3,20% del territorio regional, ubicando a esta comuna como la tercera - entre nueve - de menor superficie dentro de la Región de Antofagasta, superando tan solo a las comunas de Ollagüe y Mejillones. Sin embargo, en el contexto nacional, al ser Antofagasta la segunda región con mayor superficie del país resulta que la comuna de Tocopilla presenta una superficie que equivale, por ejemplo, a más del doble de la Provincia de Santiago, que aglutina a 32 comunas de la Región Metropolitana, lo que da una idea de la magnitud del territorio comunal[43].

[43] Plan de Desarrollo Comunal de Tocopilla 2013-2017

Figura 4.3-6: Provincias de la Región de Antofagasta.

La provincia de Tocopilla que se conforma por las comunas de Tocopilla y María Elena se encuentra situada al norte de la región de Antofagasta (Figura 4.3-7). Tiene una superficie aproximada de 16.385,2 km² y posee una población de 31643 habitantes. En tanto la comuna de Tocopilla, capital de la provincia, tiene una superficie de 4039 Km², y posee una población de 25.186 habitantes.

Según datos del Ministerio de desarrollo social se estima que el 8,5% de la población de la comuna de Tocopilla se encontraba en situación de pobreza, con una tasa regional de 7,5% bajo la tasa nacional que es de 14,4%.[44].

[44] Ministerio de Desarrollo Social. Reporte Comunal: Tocopilla, Región de Antofagasta, Versión Preliminar. 2014.

Figura 4.3-7: Ubicación Comuna de Tocopilla.

XI. Antecedentes del área de estudio

La comuna cuenta con dos Plantas Termoeléctricas: NORGENER Y E-CL, las que absorben una parte importantes de la fuerza laboral ocupada y que alimentan a Chuquicamata y a la red interconectada del norte Grande, posee una planta productora de cobre, una industria pesquera, un terminal de ferrocarril salitrero, un puerto mecanizado de salitre y de descarga de carbón.

La economía de Tocopilla se basa principalmente en la industria de generación eléctrica, la cual suministra aproximadamente el 50% del consumo regional, a través del Sistema Interconectado del Norte Grande, siendo este además del portuario, el principal rol de la comuna dentro del contexto regional.

XII. Demografía

La comuna de Tocopilla ha tenido un bajo crecimiento demográfico en comparación, a la región y el país, con una variación del 5% entre los datos censales 2002-2017 (Tabla 4.3-30). Según datos del último censo, el índice de masculinidad paso de 100,96 en el censo de 2002 a 98,24 para 2017, manteniéndose por debajo de la región, pero por sobre el índice nacional[45].

[45] Instituto Nacional de Estadística Censo de Población y vivienda 2002 y 2017.

Tabla 4.3-30: Población Total Censo año 2002 y 2017

Territorio	Año 2002	Año 2017	Variación (%)
Comuna de Tocopilla	23.986	25.186	5
Región de Antofagasta	493.984	607.534	22.9
País	15.116.435	17.574.003	16.3

Fuente: Elaboración propia a partir datos del INE

Tabla 4.3-31: Índice de masculinidad Total Censo año 2002 y 2017.

Unidad Territorial	Índice Masculinidad	
	2002	2017
Comuna de Tocopilla	100,96	98,24
Región de Antofagasta	107,71	107,69
País	97,12	95,88

Fuente: Elaboración propia a partir datos del INE

En Tocopilla se observa una Esperanza de Vida al Nacer (EVN) de 73, 86 años y 79,05 años para hombres y mujeres respectivamente. Es importante comentar que, entre las comunas estudiadas, las mujeres de Tocopilla muestran una EVN inferior al resto y presentan una diferencia de 3,8 años respecto de la población con la mayor EVN de la región de Antofagasta (Mejillones)[46].

En relación con la conformación de la población por grupo etario, los datos censales de 2017 mostraron que la comuna de Tocopilla tiene una distribución de su población relativamente equitativa, entre un 20% a 23% aproximadamente en los grupos etarios de 0 a 64 años, a excepción al grupo de 65 o más años que representa el 10,62% de la población (Tabla 4.3-32). La Tasa de natalidad de la comuna de Tocopilla es de 15 por cada mil habitantes, esta es cercana a la tasa regional, la cual está sobre la tasa de natalidad del país (Tabla 4.3-33)[47].

Tabla 4.3-32: Población según grupo de edad, censo 2017.

Grupos de edad (Años)	Frecuencia absoluta	Porcentaje %
0 a 14	6.033	23,95
15 a 29	5.464	21,69
30 a 44	5.044	20,03
45 a 64	5.971	23,71
65 o más	2.674	10,62
Total	25.186	100

Fuente: Elaboración propia a partir datos del INE

Tabla 4.3-33: Tasa de natalidad

Unidad Territorial	Tasa de Natalidad*

[46] INE Chile: esperanza de vida al nacer en comunas de 10 mil habitantes o más 2012-2014

[47] Biblioteca del congreso Nacional. Reportes comunales 2017 “Tocopilla”

Comuna de Tocopilla	15,50
Región de Antofagasta	15,90
País	13,60

*Tasa por cada 1.000 habitantes
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la biblioteca del congreso Nacional

En general las zonas del norte del país tienden a presentar una mayor concentración de su población en las áreas urbanas, debido a las condicionantes del territorio, marcado por la aridez extrema, una morfología abrupta y la falta de terrenos cultivables, lo que en la práctica hace que la población se asiente mayoritariamente en ciudades, estando la mayoría de los poblados rurales dispersos en el territorio, respondiendo a actividades económicas puntuales (pesca artesanal, pequeña minería) o bien corresponden a antiguos poblados indígenas.

En el caso de la comuna de Tocopilla, la población sigue el patrón de distribución urbano-rural típica de la zona norte del país, concentrándose mayoritariamente en la ciudad del mismo nombre, donde se encuentran las principales actividades productivas (ciudad portuaria) y una gran cantidad de servicios (salud, educación, financieros, institucionales, etc.).

El resto de las localidades de la comuna están asociadas a pequeños poblados dispersos mayoritariamente a lo largo de la costa, donde el clima es más benigno que en el interior, ligados a la actividad pesquera artesanal y a la actividad turística, los que concentran una muy baja cantidad de población (634 hab.)[1].

XIII. Clima

El clima de la comuna de Tocopilla al igual que el de la región es más bien árido. Por ser de borde costero el clima se define como “desértico costero nuboso”, este efecto se mantiene hasta unos 20 km al interior desde la costa, en donde el clima se vuelve más seco por la influencia del relieve de los cerros de la cordillera de la costa (Figura 4.3-8). Estas características provocan un efecto modelador sobre las temperaturas que es causado por la corriente de Humboldt[48].

Tocopilla se caracteriza por una ausencia de precipitaciones durante el año, solo neblinas matinales y abundante humedad, en un año la precipitación media es de 2mm, el mes más seco es enero. En tanto La temperatura media anual en Tocopilla es de 20,5° C, el mes más caluroso del año es enero con un promedio de 24,3 °C y el más frio julio con 16,9° C en promedio.

[48] Biblioteca del Congreso Nacional. Clima y Vegetación de la Región de Antofagasta.

Figura 4.3-8: Imagen satelital de la comuna de Tocopilla. **Fuente: Google Earth.**

Desde un punto de vista de la salud, el rango de temperatura de la comuna de Tocopilla muestra que permite el desarrollo de la vida y salud de la población, sin tener que considerar a este un factor de riesgo.

XIV. Determinantes sociales estructurales

El país cuenta con una gran diversidad en el grado de desarrollo global y de salud de los distintos grupos de su población. Parte de las variaciones existentes corresponden a una desigualdad injusta y evitable, y la comparación entre grupos o áreas permite conocer un nivel de desarrollo y salud que ya ha sido logrado en áreas más privilegiadas del país, como referencia empírica óptima de desarrollo para el resto del país[49]. El Índice de Desarrollo Socioeconómico (IDSE) incluye el componente de economía (ingreso per cápita mensual; y pobreza), educación (años de escolaridad promedio) y vivienda y saneamiento (material bueno y aceptable de la vivienda; y alcantarillado o fosa séptica). Dicho índice permite realizar una evaluación comparativa entre las comunas. La evaluación del año 2013, realizada por la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile, ponderó en el lugar 48 de 324 a Tocopilla (IDSE=0,664). En ese mismo corte, Antofagasta se ubicó en el número 18 (IDSE= 0,714) y Mejillones en el 23 (IDSE=0,697). Ambas bahías presentaron mejor rendimiento que Tocopilla, sin embargo, Tocopilla se ubicó en el decil 7 de todo el país.

La Tabla 4.3-34 muestra indicadores sociales específicos de la comuna.

[49] César Gattini, Claudia Chávez, Daniela Albers Comunas de Chile, según nivel socioeconómico, de salud y desarrollo humano. Revisión 2013

Tabla 4.3-34: Indicadores socioeconómicos seleccionados Tocopilla, 2013.

Categoría	Valor
Ingreso per cápita mensual (miles de $)	209,4
Pobreza (%)	11,1
Escolaridad (años)	10,3
Vivienda: material bueno o aceptable (%)	81,9
Alcantarillado o Fosa Séptica (%)	98,4

XV. Sistema de Salud

Respecto al acceso a servicios sanitarios, la comuna de Tocopilla cuenta con 3 establecimientos de salud, un centro de atención primaria, un establecimiento de baja complejidad y una clínica (Tabla 4.3-38).

Tabla 4.3-38: Número de establecimientos de salud, según tipo de establecimiento o estrategia implementada 2018.

Establecimiento/estrategia	Comuna		Región	País
Centro de Salud	1		21	449
Clínica	1		11	182
Establecimiento Baja Complejidad	1		3	102
Total	3		125	3.794

Fuente: Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS), MINSAL.

XVI. Otros factores determinantes de la salud

Entorno ambiental

La creciente actividad económica de la Región de Antofagasta en especial el desarrollo de la gran minería ha tenido como consecuencia un aumento de la actividad de importación y exportación a través de los puertos y de la demanda de energía eléctrica.

La comuna de Tocopilla, por su ubicación y las características de esta, le permiten realizar actividad pesquera y minera, de donde se generan entonces las fuentes de ingresos para su población, funciona en general como puerto pesquero y de exportación, tiene en la ciudad industrias metalúrgicas y químicas, además de termoeléctricas.

Calidad del Aire

Las principales actividades industriales presentes en la comuna están relacionadas con la industria minera del cobre. Se realizó una campaña de medición de calidad del aire durante marzo y abril de 2006 para determinar las concentraciones ambientales de material particulado respirable MP_{10} y material particulado fino $MP_{2.5}$ en la ciudad. Los resultados mostraron concentraciones significativamente mayores de PM10 en la parte sur de la ciudad (117 mcg / m^3) en comparación con 79 y 80 (mcg/ m^3) en los sitios del centro y norte. Por el contrario, las concentraciones ambientales de $MP_{2.5}$ presentaron una distribución espacial más uniforme en toda la ciudad, con niveles cercanos a los 20 (mcg / m^3). Para

identificar las fuentes involucradas en la calidad del aire, se analizaron las muestras diarias de MP_{10} y $MP_{2.5}$ en busca de elementos mediante tecnología XRF. El software de Factorización de Matriz Positiva de EPA se utilizó para interpretar los resultados de las composiciones químicas. Las principales fuentes que contribuyen a la $MP_{2.5}$ respectivamente, son: (a) sulfatos, con aproximadamente el 50% de las concentraciones de $MP_{2.5}$ en los tres sitios; (b) emisiones fugitivas del almacenamiento y manejo de fertilizantes, con 16%, 21% y 10%; (c) Combustión de carbón y aceite residual, con 15%, 15% y 4%; (d) Sal marina, 5%, 6% y 16%; (e) Procesamiento de mineral de cobre, 4%, 5% y 15%; y (f) una fuente de polvo mixto con 11%, 7% y 4%. Los resultados para MP_{10}, muestran que los principales contribuyentes son: (a) fuente de sal marina con 36%, 32% y 36% de la concentración de MP_{10}; (b) las emisiones del procesamiento de cobre se mezclaron con el polvo del suelo en el aire con 6.6%, 11.5% y 41%; (c) sulfatos con 31%, 31% y 12%; (d) una fuente de polvo mixto con 16%, 12% y 10%, y (e) las emisiones de reservas de fertilizantes, con 11%, 14% y 2% de la concentración de MP_{10}. El alto trasfondo natural de MP_{10} implica que se necesitarían reducciones importantes en las emisiones antropogénicas de MP_{10} y SO_2 para alcanzar los estándares de calidad del aire ambiente para MP_{10}; esas reducciones también reducirían las concentraciones de $MP_{2.5}$ ambiente[50]

Infraestructura Sanitaria

La situación de cobertura de agua potable urbana en la región de Antofagasta, al año 2005, fue de un 100%, lo que en la práctica significa que todos los sectores poblacionales bien definidos poseen matrices de agua potable, restando instalar redes sólo en pequeños sectores aislados. Así mismo la cobertura de alcantarillado para la zona alcanza a un 99,2% a diciembre de 2005.

Utilización del suelo en Tocopilla

Tocopilla presenta múltiples usos del suelo, coexistiendo zonas habitacionales con zonas de servicios y/o zonas de industrias (Figura 4.3-9).

[50] Ref: Jorquera H Environ Monit Assess. Source apportionment of PM10 and PM(2.5) at Tocopilla, Chile (22 degrees 05' S, 70 degrees 12' W). 2009 Jun;153(1-4):235-51. doi: 10.1007/s10661-008-0352-0. Epub 2008 May 30.

Figura 4.3-9: Zonificación Tocopilla. **Fuente: Pladeco.**

Las zonas se caracterizan por lo siguiente[1]:

MACROZONA N°1: Población 3 Marías y Población Pacífico Norte (sector norte).

Esta Macrozona, comprende todo el sector norte de la ciudad de Tocopilla, es decir Población Tres Marías y Población Pacífico Norte (entregada en el año 2009) casi como una ciudad satélite de la ciudad misma, puesto que hay una distancia de unos 2 kilómetros entre el centro de la ciudad y este sector, el cual además se encuentra separado por un sector industrial, donde antiguamente se ubicaban las pesqueras procesadoras de harina de pescado.

Está en la cercanía del vertedero de la ciudad, y de los botaderos de ceniza de las plantas Termoeléctrica, lo cual trae consigo problemas de contaminación por olores, además de la presencia de aves carroñera, abundante población de perros vagos que deambulan por la población en busca de alimentos y presencia de vectores de infecciones, como moscas, pulgas, garrapatas entre otras infecciones y presencia de polvo.

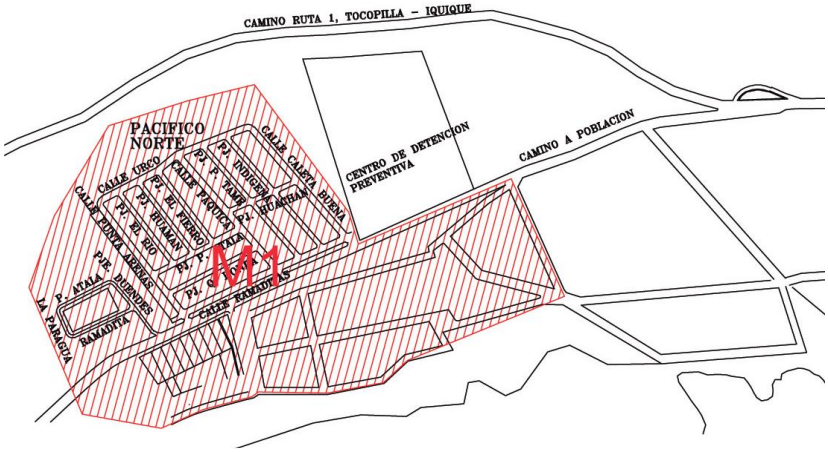


Figura 4.3-10: Sector Norte.

MACROZONAS DEL SECTOR CENTRO NORTE DE LA CIUDAD (Macrozonas 2, 3, 4, 5 y 6)

Está compuesta por la Macrozona N° 2 Población La Patria; Macrozona N° 3 Población 5 de octubre; Macrozona N° 4 Población Prat; Macrozona N° 5 que comprende las poblaciones Cardenal Caro y Eduardo Frei y la Macrozona N° 6 que comprende las poblaciones O´Higgins y Segundo Díaz. Comprendiendo por tanto desde el acceso de la ciudad, camino a Calama, tomando parte del centro, hasta el inicio del balneario El Salitre.

Al ser una zona más consolidada del área urbana de Tocopilla, esta zona se encuentra en términos generales suficientemente dotada de servicios y equipamiento para satisfacer las necesidades de la población que habita en el lugar, con presencia de comercio establecido propiamente tal, como un supermercado, terminal de buses, estaciones de servicio, jardines infantiles (2), una escuela, espacios para la práctica de deporte, servicio de hospedaje, iglesias, peluquerías, etc.

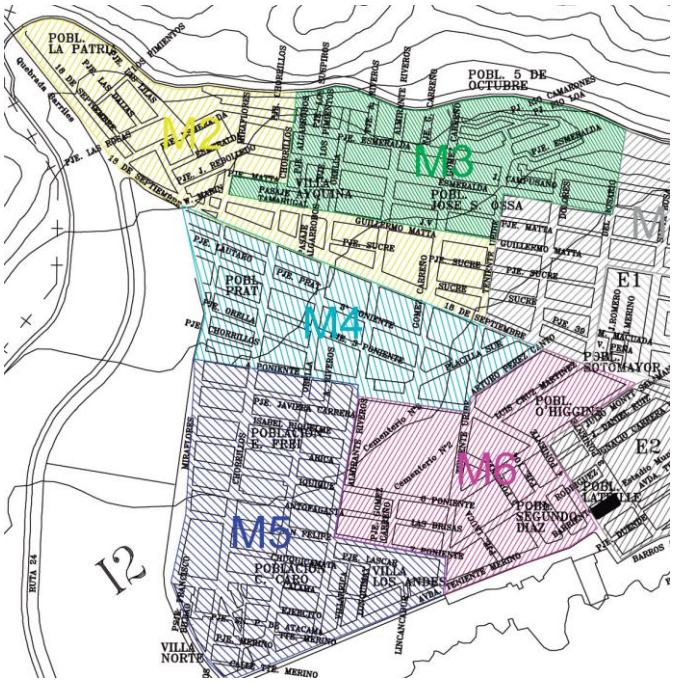


Figura 4.3-11: Zona centro norte de Tocopilla.

MACROZONA CENTRO SUR.

Comprende las Macrozonas N° 7 Población Sotomayor; N° 8 Poblaciones Amengual y El Salto, además del sector céntrico de la ciudad; N° 9 Población Latrille y sector costanera del Balneario El Salitre y N° 10 Población Pampa Este, sector céntrico de la ciudad y sector portuario.

Esta es la zona que posee la mayor cantidad y calidad de equipamiento y servicios de la ciudad, pues el comercio formal se ha constituido mayoritariamente en torno a la Av. 21 de Mayo, donde también es posible encontrar Bancos (Estado y Banco de Chile), la comisaría, cuerpo de bomberos, la Municipalidad, Gobernación Provincial, Registro Civil, Notaría, el Hospital Marcos Macuada, los servicios de salud de la Mutual de Seguridad y de la Asociación Chilena de Seguridad, la mayor cantidad de escuelas (6), ambos liceos, jardines infantiles, terminales de buses, restaurantes, supermercados, etc. Resumiendo, esta zona se podría decir que es el corazón de la ciudad.

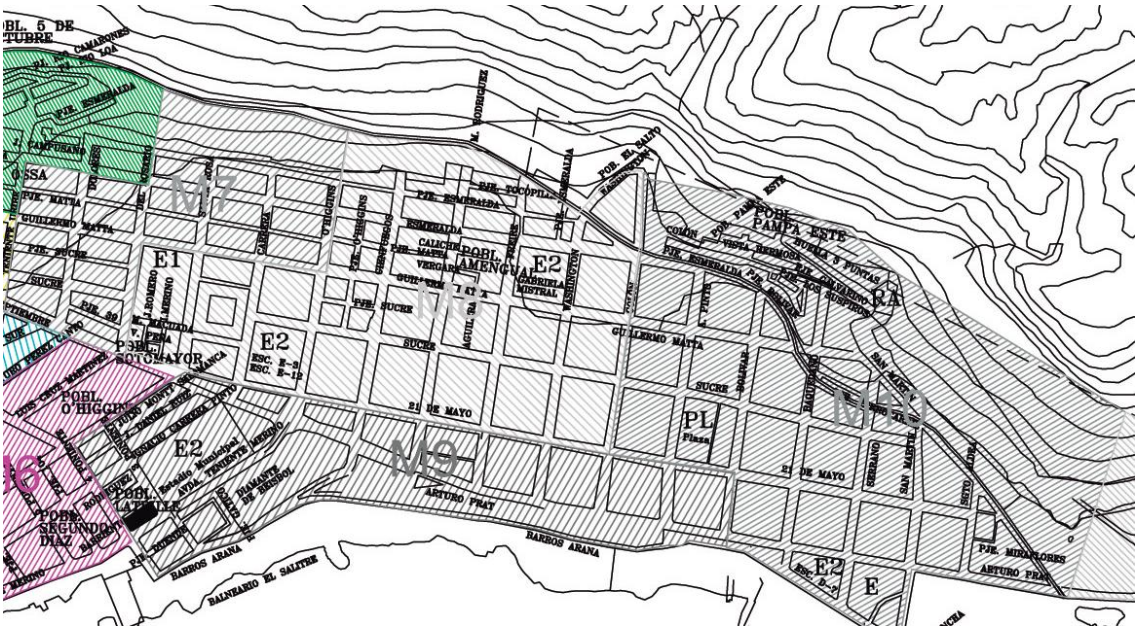


Figura 4.3-12: Zona centro sur de Tocopilla.

MACROZONA SUR

Este sector de la ciudad se encuentra conformada por las Macrozonas N° 11 y 12. La Macrozona N° 11 comienza en el puente formado por la línea férrea que corre paralelo a los cerros de la Cordillera de la Costa, al Este de la ciudad.

El nivel de servicios y equipamiento de esta zona es relativamente bajo, contando con un colegio básico, dos jardines infantiles y un supermercado, y varios comerciales de tipo familiar, que están destinados a la venta de productos básicos.

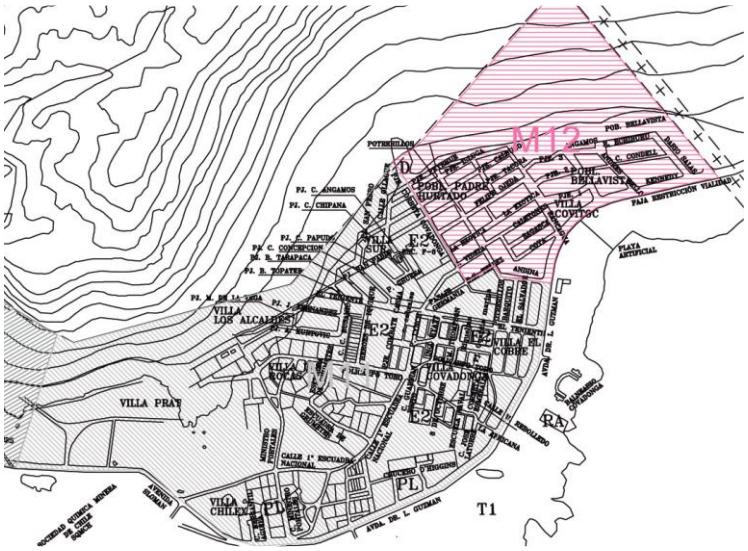


Figura 4.3-13: Zona sur de Tocopilla.

Situación de la Bahía Algodonales[51]

En cuanto a los metales en agua y sedimentos, en general, las aguas del medio marino contienen pequeñas concentraciones de metales (Ahumada et al., 2007) entre otros componentes, sin embargo, la presencia de estos elementos en zonas costeras puede estar derivados del desarrollo industrial y asentamientos urbanos (Castillo and Valdes 2011). Muchos de estos compuestos pueden venir de solidos suspendidos y sedimentos, pudiendo ser reciclado varias veces en la interfaz agua-sedimento antes de ser retenidos definitivamente (Santschi et al. 1990).

Debido a las características fisicoquímicas del medio marino, los efectos de descargas de contaminantes con metales pueden tener menor severidad que en aguas dulces ya que la alta capacidad buffer del medio neutraliza los ácidos y bases, y la presencia de electrolitos crea posibilidades de floculación y posterior sedimentación (Waldichuk 1974).

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

Del análisis histórico se destaca, además, un periodo entre 2006 y 2011 durante el cual, con la excepción de los máximos anuales de las fracciones disueltas de Mercurio, Cromo y Zinc,

[51] CEA, Informe de avance n°1 “diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía algodonales, Tocopilla” bip 30130937-0

se observa en términos generales los menores valores de concentración para la mayoría de los metales. Por otra parte, los metales Plomo y Cadmio registraron durante 2000-2002 sus concentraciones totales máximas en cuanto a promedio anual se refieren. Asimismo, durante el periodo 2013-2017 se observan las mayores concentraciones disueltas de Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo; y totales de Níquel y Vanadio

De los metales estudiados destacan el Níquel y Vanadio por no estar presentes de manera natural en los sedimentos marinos costeros (Valdés et al., 2005; Valdés, 2012), las evidencias sugieren que la presencia de estos metales en los sedimentos se explicaría, al menos en parte, por la actividad de plantas termoeléctricas que utilizan “petcoke” como fuente energética (Valdés et al., 2005; Valdés, 2012), debido a que este metal es un constituyente importante de ese tipo de carbón (Chen & Lu, 2007).

Por otra parte, Zinc y Cobre forman parte de los ecosistemas costeros, hay registros nacionales históricos en bahías de Chile con diferentes grados de industrialización donde se han medido valores de hasta 1600 mg kg-1, producto del depósito histórico de desechos de la minería de cobre directamente en la zona costera (Ramírez et al., 2005).

En cuanto al Zinc, además, puede entrar al ambiente acuático como resultado de actividades industriales, descargas de efluentes y escorrentía superficial (Boxall et al., 2000). Particularmente en zonas portuarias donde se realizan actividades de embarque de minerales de Zn, es común encontrar niveles altos de este metal en los sedimentos de fondo (Calderón & Valdés, 2012).

Por otro lado, el Plomo se encuentra en la corteza terrestre en una concentración media y al igual que el suelo en los ambientes continentales, y los sedimentos de los ambientes acuáticos son la principal matriz de depósito de este metal (Alagarsamy, 2006). Por tal motivo, las altas concentraciones de Pb en los ambientes marinos, por lo general sugieren un impacto de la actividad antrópica. Sin embargo, se requieren más estudios que permitan determinar las causas específicas que explicarían la presencia de este metal en los sedimentos de estas bahías.

Pese a lo anterior, es necesario señalar también que las fuentes atmosféricas de metales son cada vez más estudiadas debido a que se ha observado una clara correlación entre el grado de desarrollo industrial de determinadas zonas y el contenido de metales en el material particulado atmosférico (Zhang et al., 2007).

Por otra parte, también en las bahías industrializadas ocurre otro aporte de metales como el proveniente de las faenas propias de la actividad acuícola (uso de combustibles en las embarcaciones, uso de pinturas en los sistemas de cultivo, uso de estructuras metálicas, etc.) pueden influir, en un grado no determinado, en el patrón de distribución de los metales estudiados. Por ejemplo, diferentes complejos hidrofóbicos de Cu y Zn son

comúnmente utilizados en pinturas biocidas destinadas a cultivos marinos y mantención de embarcaciones (Turley et al., 2000; Parks et al., 2010).

Finalmente, es necesario señalar en respuesta a aumentos estacionales de concentraciones de algunos elementos, que, en esta zona, al igual que otros sectores costeros de la zona norte, existe un aporte esporádico de agua de lluvia asociado a escorrentía superficial producida durante eventos del fenómeno de El Niño (Vargas et al., 2000), que sería una fuente secundaria de aporte de material litogénico (y metales) a estas bahías.

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

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

En cuanto a las concentraciones normadas para metales en sedimentos, se observa que, del total de registros históricos, solo Arsénico y Cobre registran un alto porcentaje de excedencia en términos de los umbrales máximos registrados en la normativa comparada de Persaud (1993), MOP (1994), ISQG Canadá (2002) y ISQG de Australia y Nueva Zelanda (2002). Es notable que en términos promedio un 81% de los registros de Cobre en sedimentos estuvo por sobre los máximos sugeridos, entre un 69% y 97% por sobre los limites menos y más restrictivos, respectivamente. En el caso del Arsénico en los sedimentos, los resultados indican que entre un 21% y un 69% de los registros históricos analizados estuvieron por sobre los máximos sugeridos, considerando las normas más y

menos permisiva respectivamente, esto da como promedio un 46% de excedencia. Los otros metales presentan valores promedio menores, siendo los valores promedio más bajos de excedencia los del Mercurio, Níquel y Plomo, en ese orden.

En Bahía Algodonales se cuenta con información del contenido de metales en organismos marinos, al menos para una especie, y ésta corresponde a Perumytilus purpuratus (Chorito maico). La fuente de información corresponde al Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), perteneciente a la DIRECTEMAR. Para la mayoría de los metales analizados se cuenta con una serie de tiempo desde el año 1993 hasta el año 2017, el diseño de muestreo restringe la distribución de los puntos de muestreo al interior de la bahía Algodonales, presentando un mayor esfuerzo de muestreo en el sector norte (Topónimos POAL: Caleta Duendes, Punta Duendes, Pesquera Eperva y Pesquera Guanaye).

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

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

De los resultados de la revisión del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), se posible hay que indicar que las emisiones hídricas son en su mayoría provenientes de las dos centrales termoeléctricas: Central Térmica Tocopilla y Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla. Se ha concluido que los elementos que deben ser estudiados más a fondo, en función de las mayores cargas másicas, son, en el caso de metales y metaloides: el boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente; nutrientes: sulfato y nitrógeno total Kjeldahl; parámetros físicos: sólidos suspendidos totales; otros parámetros de interés ambiental: hidrocarburos, fluoruros, índice de fenol y sulfuros.

Es importante señalar además que muchos de los agentes que está emitiendo la industria de generación eléctrica no guardan relación a sus procesos unitarios, por lo que se es posible que el origen de estos elementos sean las mismas aguas marinas o el sedimento, lo que a través de los procesos de succión, y un efecto combinado a re suspensión de material de fondo (oleaje, marejadas) puedan incorporar elementos a la columna de agua, los que son tomados por las tuberías de captación de las termoeléctricas, para luego ser eliminados al medio marino.

De los resultados de Corrientes Eulerianas se desprende la presencia de una corriente predominante NE en la capa superficial de agua (primeros 2 m), que toma una dirección predominante S en las capas medias y de fondo de la columna de agua. La componente E tiene variaciones W-E desde los 2 m desde la capa superficial hacia el fondo marino. Así, se destaca un flujo S en dirección hacia las descargas de las Centrales Nueva Tocopilla y Tocopilla. Esta corriente puede generar un mayor depósito de material suspendido en la zona aledaña a la descarga de la Central Nueva Tocopilla, al generar una corriente que tiende hacia la línea de costa de la Bahía. Además, es importante mencionar que las trayectorias DVP obtenidas para todas las capas estudiadas, arrojaron una trayectoria tal que una partícula tendería a tocar tierra con las magnitudes de velocidad registradas.

Los resultados del análisis realizado de corrientes lagrangianas en cuadratura concuerdan con lo descrito anteriormente, mostrando que los derivadores a 0 m y 5 m de profundidad (capa superficial) toman una trayectoria Sur-Norte tanto en vaciante como llenante. Para la componente de sicigia se tiene un comportamiento distinto al presentar una corriente superficial S-W que sigue la forma de la bahía Algodonales.

4.3.4.1.2 Indicadores de salud

Para determinar la situación de salud de la comuna de Tocopilla, se estudiaron datos actuales de las tendencias observadas de los principales indicadores de salud; defunciones, la tasa general de mortalidad y tasas específicas por algunas causas.

Los egresos hospitalarios dan cuenta del comportamiento de las enfermedades que requieren hospitalización para su estudio y/ o tratamiento, las consultas de urgencia y los registros de algunas enfermedades de notificación obligatoria permiten caracterizar los principales problemas existentes en la salud de la población.

XVII. Análisis de la Mortalidad

La mortalidad es uno de los indicadores o estadística vital más ilustrativa y que permite entregar una visión de la situación de salud de una comunidad. Analizaremos la mortalidad general, es decir por todo tipo de causa y su tendencia. También se analizan la mortalidad infantil y la mortalidad por algunas causas específicas de muertes y el indicador tasa de años de vida perdida (AVPP) [52]. Se comparan los indicadores de la Comuna de Tocopilla con los de la Región de Antofagasta y Chile, para destacar sus particularidades.

La mortalidad general de la Región de Antofagasta ha presentado una tendencia leve al alza, al igual que la del país, la comuna de Tocopilla muestra mayor inestabilidad y tendencia estacionaria, pero siempre por sobre el promedio nacional y regional (Figura 4.3-14). La inestabilidad de la tasa de mortalidad es común en las poblaciones menores a 10.000

[52] El indicador Años de Vida Potenciales Perdidos (AVPP) ilustra sobre la pérdida que sufre la sociedad como consecuencia de la muerte de personas jóvenes o de fallecimientos prematuros. El supuesto en el que se basan los AVPP es que cuando más prematura es la muerte, mayor es la pérdida de vida.

habitantes. Esto mismo se observa, con mayor claridad en las Tasas de mortalidad infantil en las que se vieron dos años consecutivos con tasa cero (ninguna muerte) y otros en que la tasa se "dispara" por sobre el promedio regional y/o del país (Figura 4.3-15).

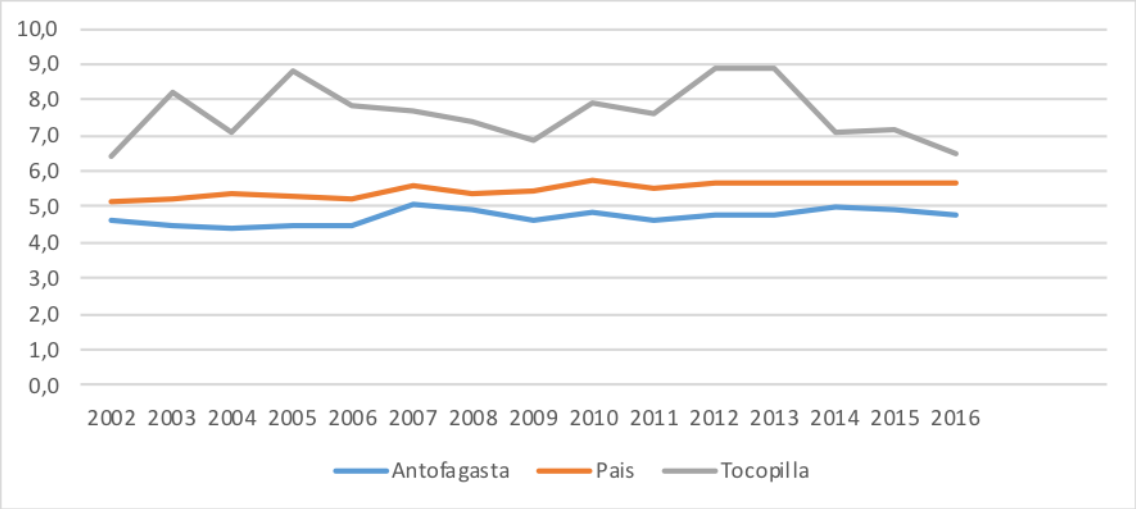


Figura 4.3-14: Tendencia de la mortalidad genera en Chile, región de Antofagasta y Tocopilla.
Fuente: CIAMA Ltda, a partir de estadísticas vitales, DEIS, MINSAL.

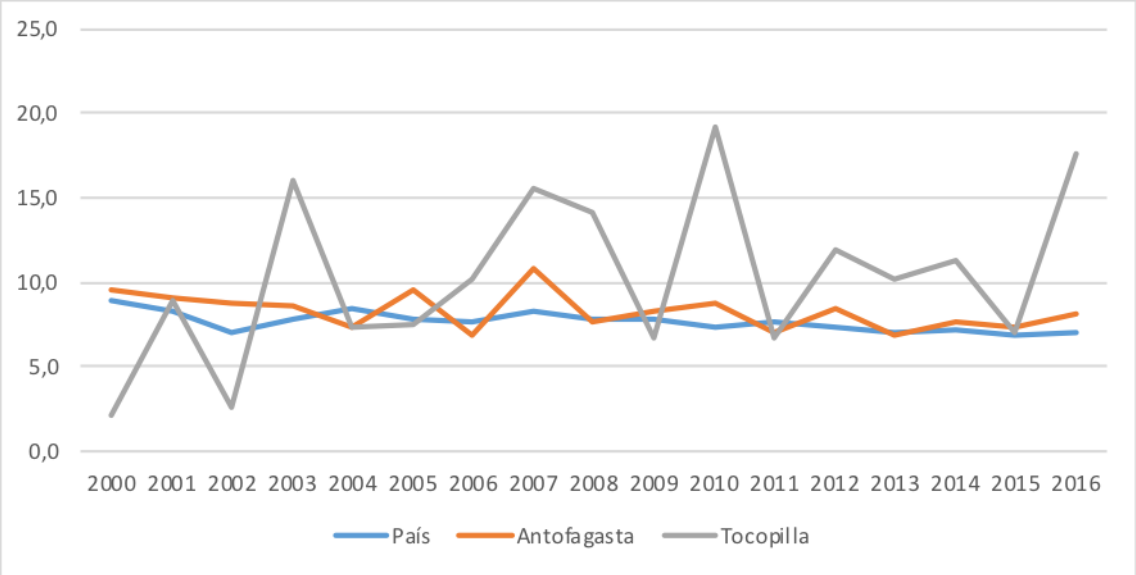


Figura 4.3-15: Tendencia de la mortalidad infantil en Chile, región de Antofagasta y Tocopilla.
Fuente: CIAMA Ltda, a partir de estadísticas vitales, DEIS, MINSAL.

Respecto de las causas de muertes las figuras siguientes muestran la tendencia de las distintas causas de muerte diagnosticadas en el país y región estudiada, durante el quinquenio 2010 al 2014.

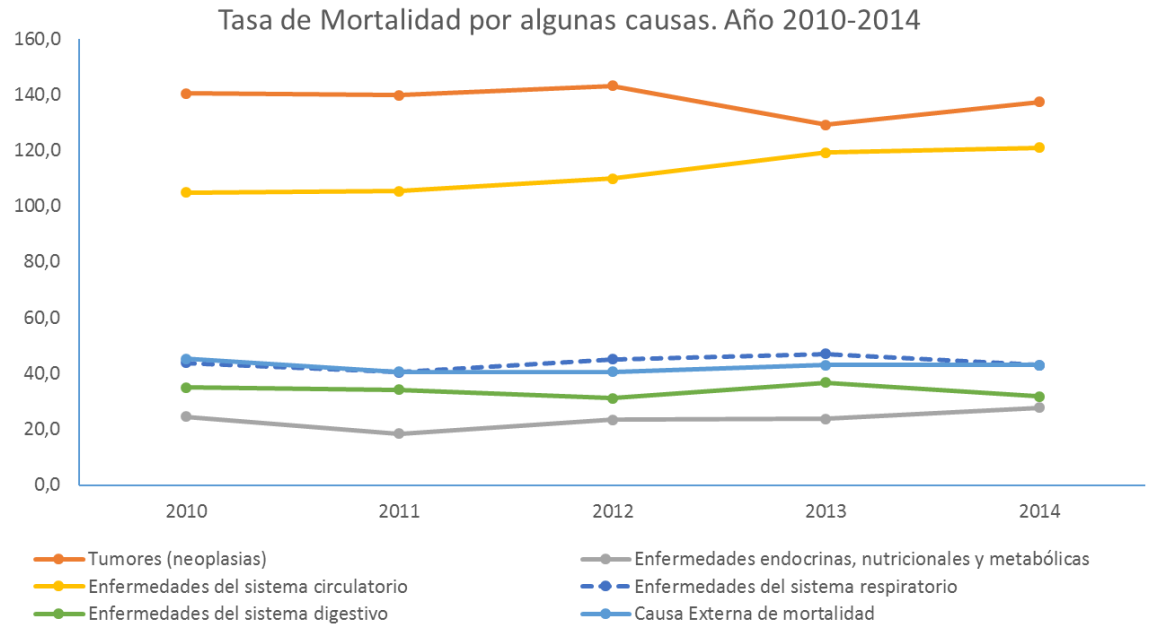


Figura 4.3-16: Causas de mortalidad región de Antofagasta, 2010-2014. **Fuente: DEIS, MINSAL.**

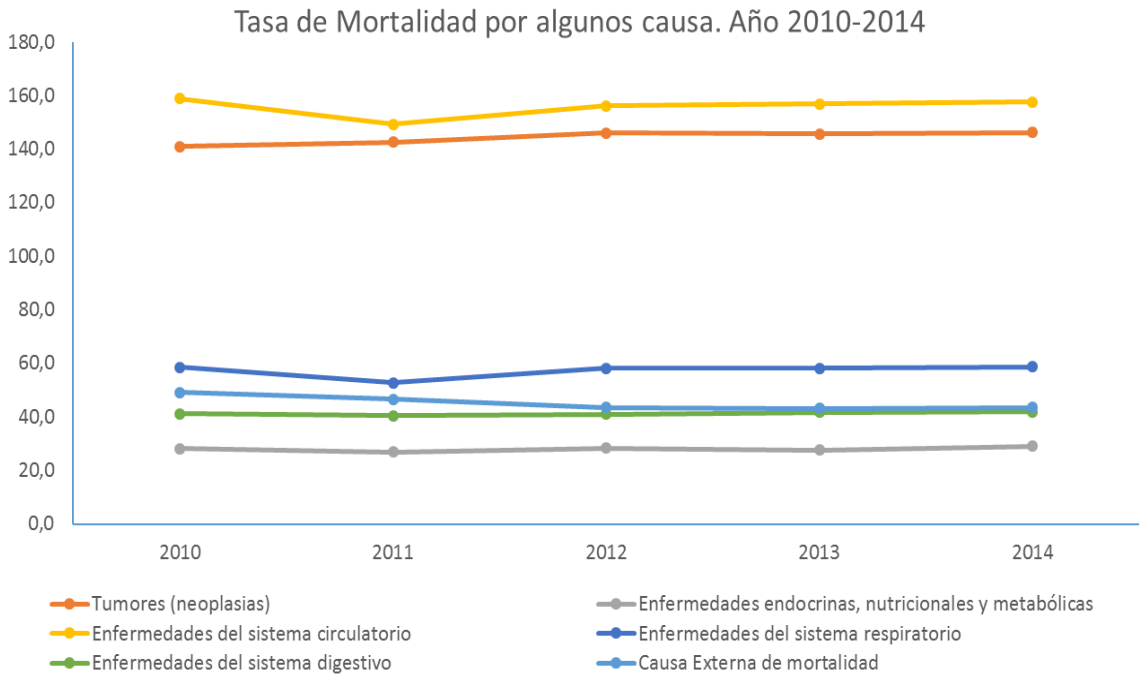


Figura 4.3-17: Cusas de mortalidad Chile, 2010-2014. **Fuente: DEIS, MINSAL.**

La región de Antofagasta presenta como principal causa de muerte en el quinquenio descrito, las muertes debido a Tumores, seguida de las patologías del aparato circulatorio, lo contrario ocurre con el país, en donde este tipo de enfermedad es la que más mata. Por debajo se encuentran las enfermedades del aparato respiratorio.

Finalmente, a nivel de mortalidad, se puede observar que la tasa de años de vida potenciales perdidos en la comuna fue mayor en forma sistemática, en comparación con la región de Antofagasta y el país.

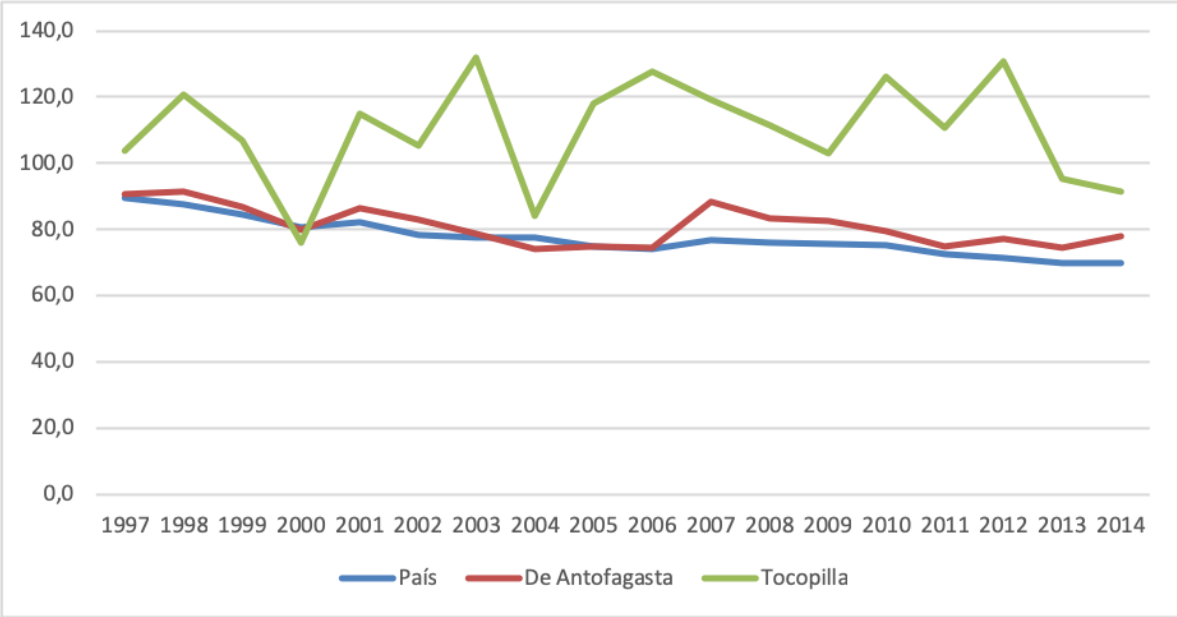


Figura 4.3-18: Tasas de años de vida potenciales perdidos Chile, región de Antofagasta y Tocopilla.
Fuente: CIAMA Ltda, a partir de estadísticas vitales, DEIS, MINSAL.

XVIII. Egresos Hospitalarios

El estudio de las hospitalizaciones permite tener una idea respecto de las patologías de mayor gravedad, que requieren hospitalización para mejorar su evolución. Chile cuenta con un registro nacional de egresos hospitalarios, que permite conocer el comportamiento de todas las hospitalizaciones de los habitantes por comuna de residencia, sean ellos atendidos en el sistema público o privado, en la propia comuna, en la región o en otra localidad del país, pues existen patologías que son derivadas para su estudio o tratamiento a hospitales de mayor complejidad y también se registran en las bases de datos del Departamento de Estadística e Información del Ministerio de Salud.

La Figura 4.3-19 muestra la tendencia de las hospitalizaciones de los habitantes de la Comuna de Tocopilla.

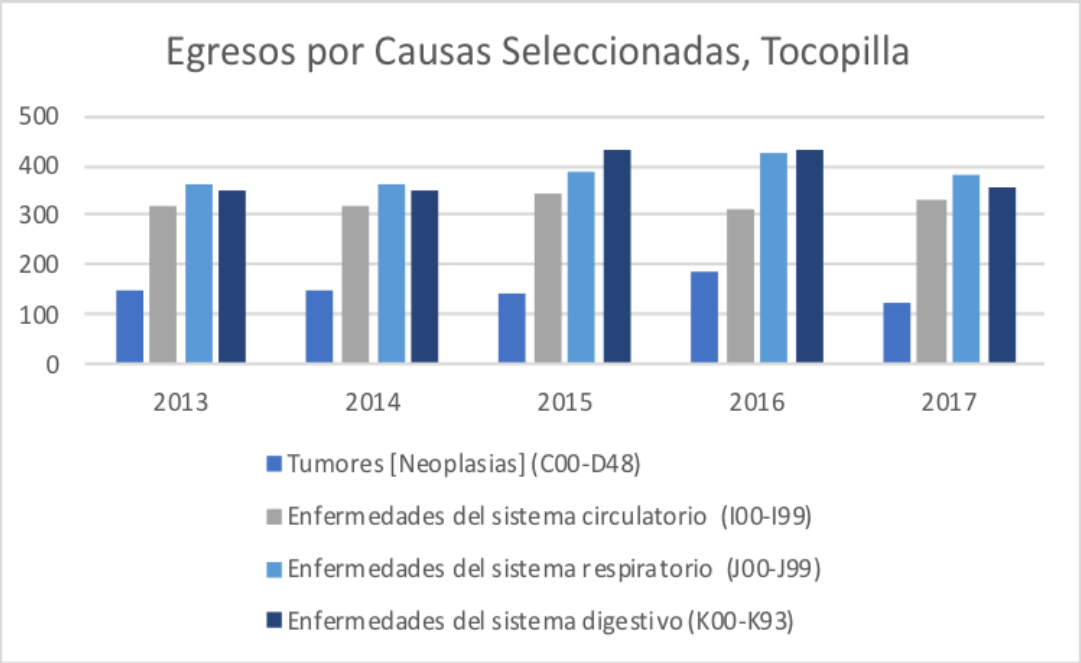


Figura 4.3-19: Hospitalizaciones por causas seleccionadas, Tocopilla 2013-2017, números absolutos. **Fuente: CIAMA Ltda, a partir de estadísticas de egresos hospitalarios del DEIS.**

Se observa que las patologías que concentran las hospitalizaciones son las enfermedades del sistema respiratorio y las del sistema digestivo.

XIX. Atenciones de Urgencias

Las atenciones de urgencia en la comuna de Tocopilla presentan un patrón relativamente estacionario promediando las 780 consultas semanales (Figura 4.3-20). Las causas más frecuentes de consulta son las enfermedades del sistema respiratorio seguido de traumatismos y envenenamiento, cabe mencionar que la cantidad de consultas por causas respiratorias se encuentran muy por sobre los demás motivos de atención (Figura 4.3-21).

A diferencia de los que ocurre en otras localidades del país, las enfermedades respiratorias no presentan variaciones estacionales claras. Las consultas en el período estival se mantienen relativamente elevadas (Figura 4.3-22).

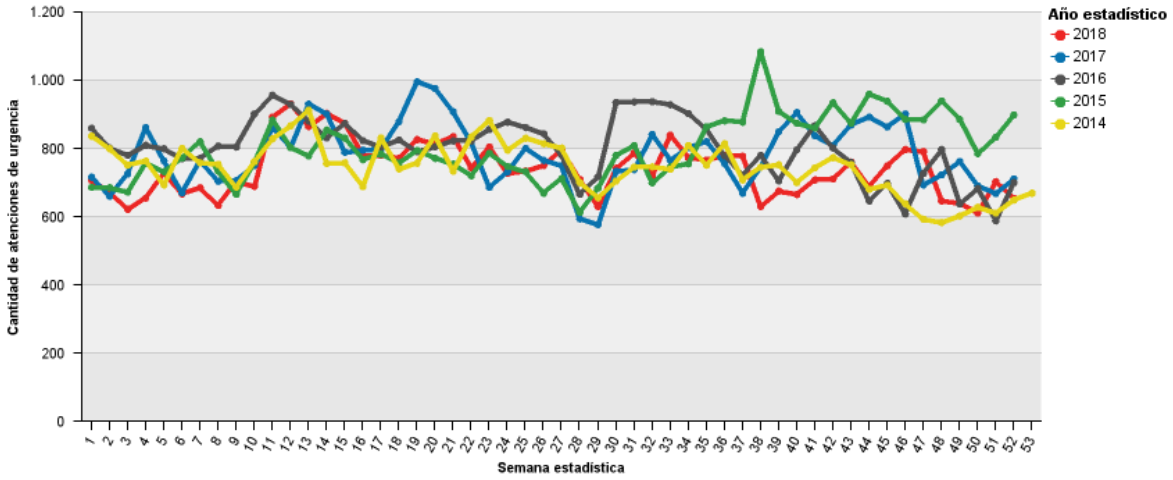


Figura 4.3-20: Todal de consultas de urgencia, comuna de Tocopilla, 2014-2018. **Fuente: MINSAL, registro de atenciones de urgencia, DEIS.**

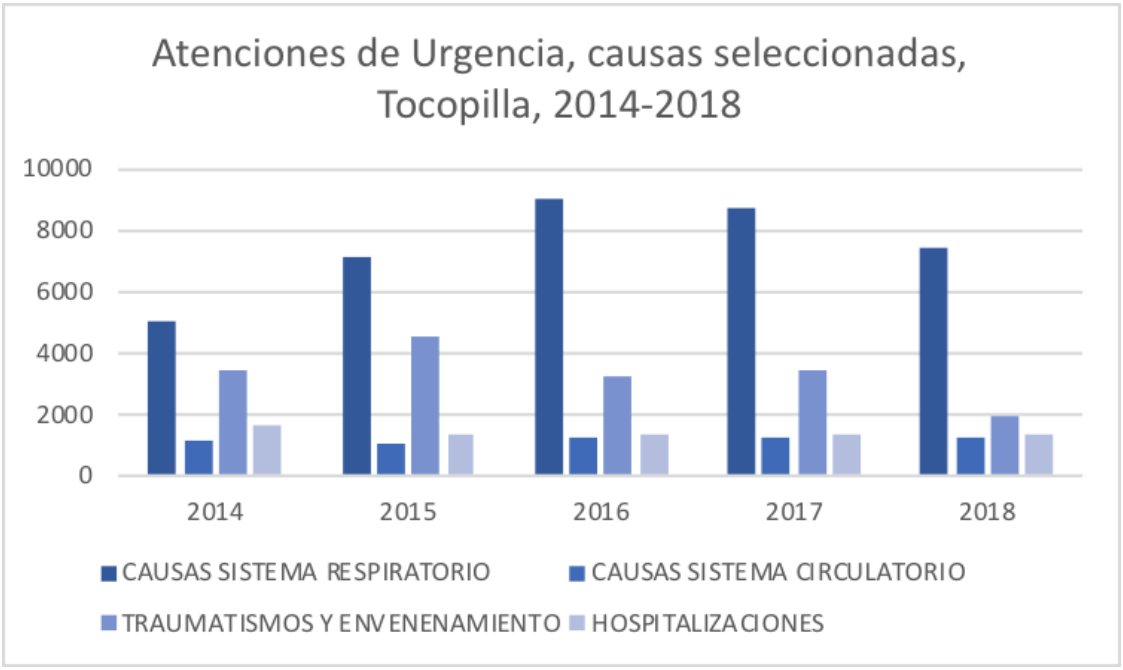


Figura 4.3-21: Causas principales de consultas de urgencias, Tocopilla, 2014-2018. **Fuente: MINSAL, registro de atenciones de urgencias, DEIS.**

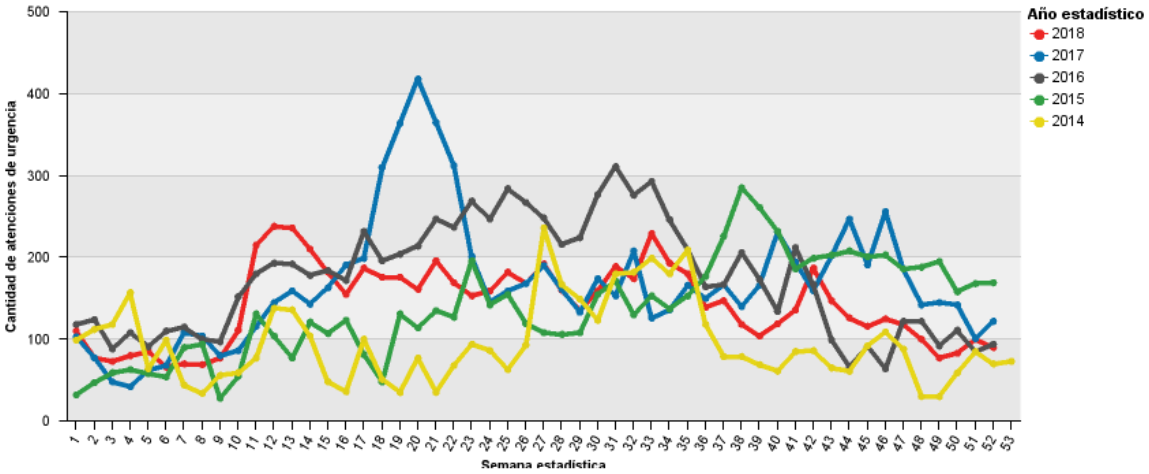


Figura 4.3-22: Consultas respiratorias, Tocopilla, 2013-2017. **Fuente: MINSAL, registro de atenciones de urgencia, DEIS.**

XX. Enfermedades de Notificación Obligatoria

Al momento de la confección de este documento, el Ministerio de Salud no entrega información reciente del estado epidemiológico del país respecto de las enfermedades de notificación obligatoria. Sólo se tuvo acceso a la base de datos hasta el año 2014.

Durante el quinquenio 2010 al 2014 Tocopilla notificó un total de 69 casos, destacando 48 enfermedades de transmisión sexual (sífilis y gonorrea), 8 hepatitis, 1 VIH y 4 Enfermedad de Chagas.

4.3.4.2 Encuesta de consumo

1. ID
2. Fecha Fecha / Hora de la Encuesta
3. Nombre y Apellido
4. Fecha de Nacimiento
5. Dirección

6 Tiempo de residencia en Tocopilla (en años)

7. ¿Cuál es tu sexo?
   - Masculino
   - Femenino

8.Ha consumido pescado el último mes? ¿Cuáles?
   - Merluza
   - Reineta
   - Salmón
   - Pejerrey
   - Pejegallo
   - Congrio
   - Albacora

Corvina
Cojinova
Pescado de roca (vieja, rollizo, cabrilla, apañado, bilagay)
Jurel en conserva
Atún en conserva Sardinas en conserva

9 Respecto de la frecuencia del consumo de pescado
Todos los días almuerzo y cena
Todos los días solo almuerzo o cena
5 veces por semana
3 veces por semana 1 vez por semana
2 veces al mes
1 sola vez al mes

10. Respecto de la cantidad
Figura 1 (50 gramos)
Figura 2 (100-150 gramos)
Figura 3 (sobre 150 gramos)

11. ¿Ha consumido mariscos o algas el último mes? ¿cuáles?
Almejas
Choritos
machas
ostiones
pulpo
Jibia
Camarón
Puire
mariscos en conserva
Cochayuyo
Luche
Otro

12. Respecto de la frecuencia y cantidad del consumo de mariscos y algas
Todos los días almuerzo y cena
todos los días almuerzo o cena
5 veces por semana
3 veces por semana 1 vez por semana
2 veces al mes
1 sola vez al mes

13. Respecto de la cantidad
Figura 1 (50 gr.)
Figura 2 (100 gr a 150 gramos)
Figura 3 (mayor a 150 gramos)

14. ¿Con qué frecuencia Ud va a la playa?
Todos los días
5 veces a la semana
3 veces a la semana

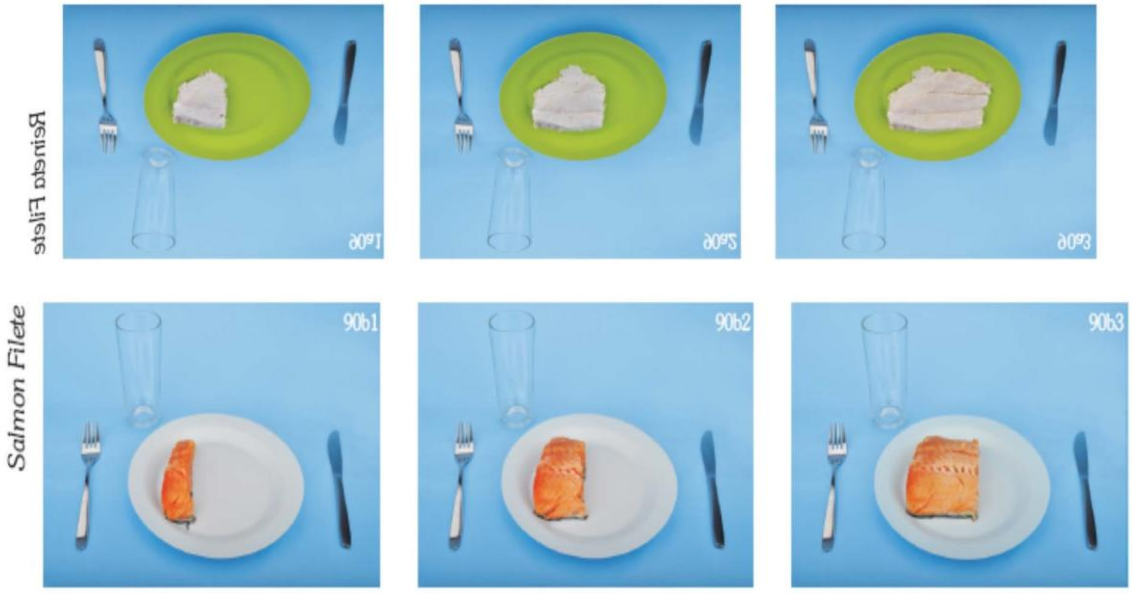
1 vez a la semana
sólo fin de semana en verano

15. ¿Con qué frecuencia van los niños de la casa a la playa?
    Todos los días
    Sólo los días fines de semana
    Sólo cuando están en vacaciones, todos los días
    Sólo cuando están en vacaciones, los fines de semanas Rara vez van a la playa

1. ¿En la playa, Ud nada?
    Si
    No
    Sólo me remojo los pies

2. Respecto de los niños, ¿en la playa ellos nadan?
    Si
    no
    Sólo se remojan los pies y juegan al borde del mar

FICHAS PORTE RACION



4.4 Objetivo Específico 4 (OE-4)

OE-4: Generar un diagnóstico del estado de condición ambiental de la bahía en las componentes columna de agua, sedimento y biota marina.

4.4.1 Desarrollo de una modelación numérica base de la hidrodinámica de bahía Algodonales

Se desarrolló una modelación hidrodinámica del sistema, a modo de 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, tanto de forma local como indirecta. Se desarrollaron dos modelaciones, la primera entre el 01/08/18 y 01/08/19, y la segunda se corrió tomando como condición inicial el último instante de la primera modelación, con el objetivo de independizar los resultados de la condición inicial producto de la inercia. Posteriormente, se incluyó las fuentes de descarga según sus RILES que pudiesen tener influencia en el área de estudio, de manera tal de estimar zonas de riesgo potencial en términos de la acumulación y presencia de algunos contaminantes en el dominio de la modelación.

4.4.1.1 Descripción general de la simulación

Como parte del estudio, se desarrolló una simulación de 1 año calendario, considerando condiciones iniciales y de borde que contienen la información meteorológica, de pronóstico de mareas y descargas de RILES en la bahía, que se obtuvo a partir de distintas fuentes de información.

Para poder eliminar el efecto de la condición inicial del sistema, se corrió 2 años de simulación, repitiendo las condiciones de borde del primer año en el segundo. De este modo, el primer año es considerado para que el sistema se estabilice independizándose de la condición inicial, mientras que los resultados considerados corresponden a los del segundo año.

4.4.1.2 Área de estudio

La zona que comprende el estudio se localiza en la Región de Antofagasta, comuna de Tocopilla y corresponde a la bahía Algodonales (entre Punta Algodonales y Caleta Duende) y su entorno. Por el norte, desde Caleta vieja (22°02'54,86"5 - 70°11'43,84" W) hasta el sector de Lipesed por el sur (22°07'29,57"5 - 70°13'10,29" W) (Figura 4.4-1).

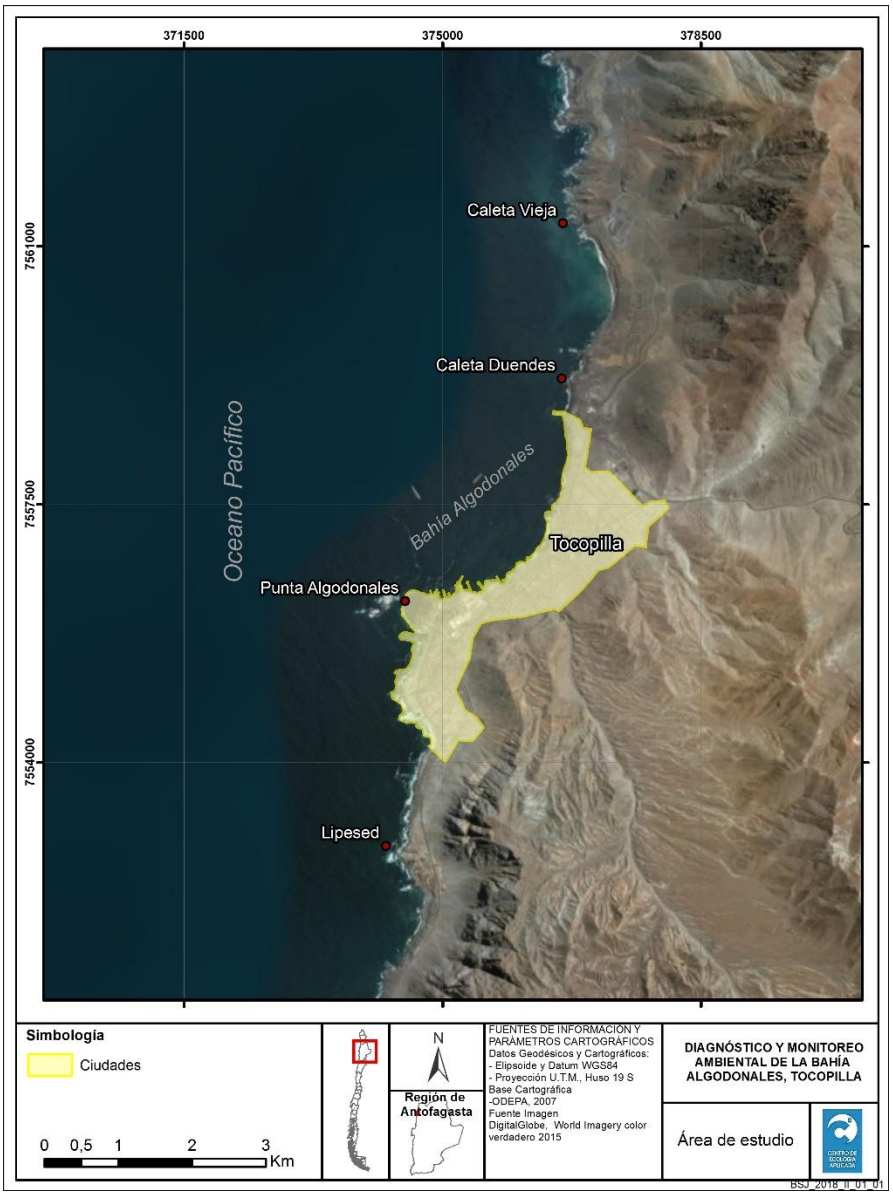


Figura 4.4-1: Ubicación geográfica de la bahía Algodonales, Tocopilla, Región de Antofagasta.

4.4.1.3 Antecedentes del modelo AEM3D

AEM3D es una herramienta de modelación numérica desarrollada por HydroNumerics, empresa australiana que presta servicios de ingeniería. 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 las mismas prestaciones.

El nombre del software AEM3D viene de la sigla en inglés de “Aquatic Ecosystem Model 3D”, y 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 a través de la solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes para flujo incompresible, y utilizando la hipótesis hidrostática de presión, permitiendo así 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).

4.4.1.4 Datos de entrada para la modelación

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

4.4.1.4.1 Batimetría bahía Algodonales

El modelo numérico requiere información batimétrica para construir una grilla tridimensional que defina geométricamente el dominio en estudio. Para ello, se utilizó información batimétrica obtenida a partir de la información de cartas náuticas generadas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), que se adjuntan en la Tabla 4.4-1, e información recopilada en terreno de batimetría por CEA (Acápite 4.2.3). En cuanto a la información SHOA extraída, corresponde a veriles y mediciones puntuales de profundidad.

Tabla 4.4-1: Cartas náuticas SHOA utilizadas en la generación de la batimetría.

Nombre	Carta	Celda	Escala
Puerto Tocopilla	1311	CL5AN005	1:10.000
Bahía Mejillones del Sur a Puerto Caldera	2000	CL2AN020	1:500.000

4.4.1.4.2 Dominio bahía Algodonales

El dominio utilizado para la simulación de la Bahía Algodonales se ubica entre las coordenadas 364.325 m y 377.925 m Este, y 7.551.522 m y 7.565.022 m Norte huso 19K, correspondiente a un área de aproximadamente 183 km^2. La grilla planimétrica posee una resolución espacial de 100 m x 100 m en las coordenadas Este y Norte, respectivamente. La resolución vertical adoptada fue variable, desde 110 m en profundidad, hasta 0.25 m en superficie. Los resultados se enfocarán en una subregión de la mencionada, la cual se encuentra entre las coordenadas 373.050 m y 378.000 m Este, y 7.552.684 m y 7.564.784 m Norte huso 19K, cubriendo la Bahía Algodonales. La batimetría de dicha subregión se muestra en La Figura 4.4-2 en el área efectiva del modelo numérico.

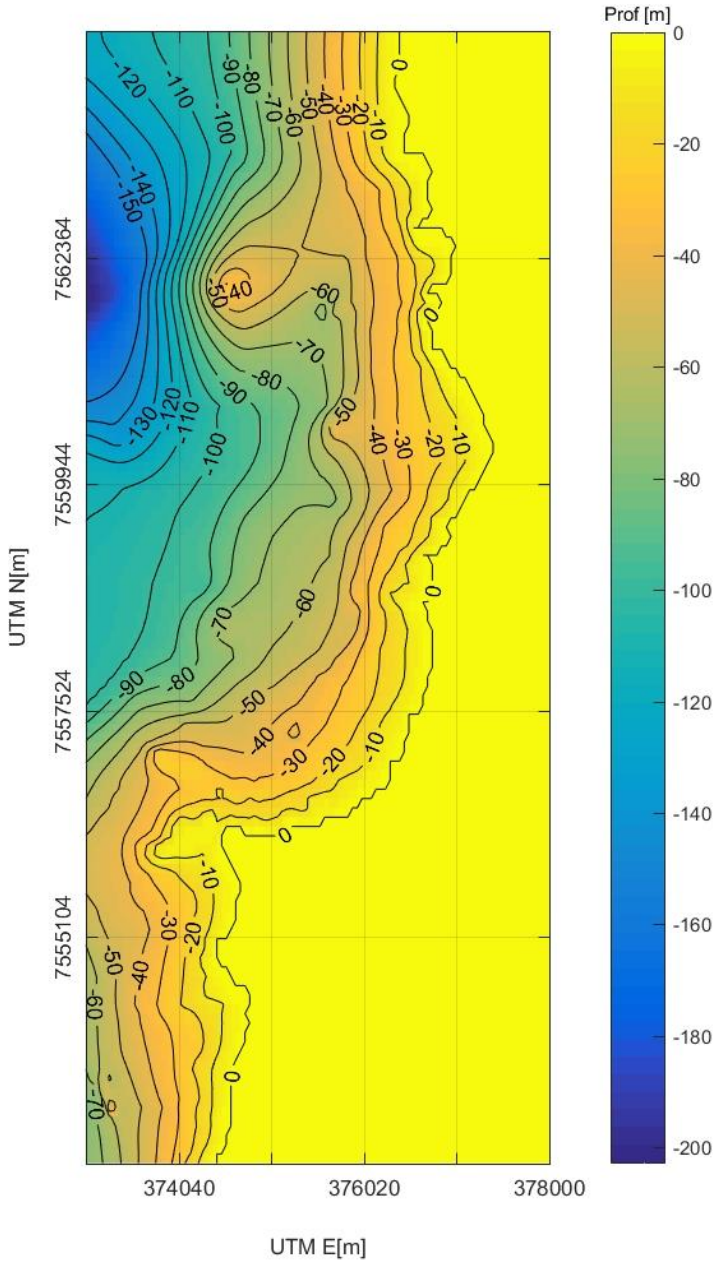


Figura 4.4-2: Geometría utilizada en la modelación.

4.4.1.4.3 Condiciones de borde

Las condiciones de borde requeridas por el modelo numérico corresponden a las condiciones meteorológicas y altura de marea en los bordes de la grilla, que funcionan como forzantes del modelo al imponer condiciones de energía en las celdas del dominio, además de la información de RILES como caudales y concentraciones de sustancias que entran a la bahía. Cada una de estas condiciones de borde, representadas por variables temporales, son explicadas y presentadas a continuación.

4.4.1.4.4 Meteorología

Los datos meteorológicos se obtuvieron de las siguientes estaciones:

- Estación meteorológica instalada por la Dirección General de Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), de la Armada de Chile, en la Capitanía de Puerto de Tocopilla[1].
- *"Altos la Portada"* de la Red Agrometeorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)[2] del Ministerio de Agricultura de Chile (Tabla 4.4-2).
- *"Escuela E-10"* del Sistema de información Nacional de Calidad del Aire (SINCA)[3] del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile (Tabla 4.4-2).

Tabla 4.4-2: Coordenadas geográficas y elevación de estaciones meteorológicas INIA *"Altos la Portada" y SINCA "Escuela E-10"*.

Estación	Latitud [°]	Longitud [°]	Elevación [m.s.n.m]
Altos la Portada	-24,5041	-70,4047	105
Escuela E-10	-22,0856	-70,1889	74

Los registros obtenidos de la estación de Capitanía de Puerto tienen un espaciamiento de tiempo de medición de 10 minutos, que abarca el periodo comprendido entre el 01 de agosto del año 2018 hasta el 11 de julio del año 2019. En la Figura 4.4-3 se muestra la información disponible (en amarillo) y la falta de información (en azul) para el periodo señalado anteriormente.

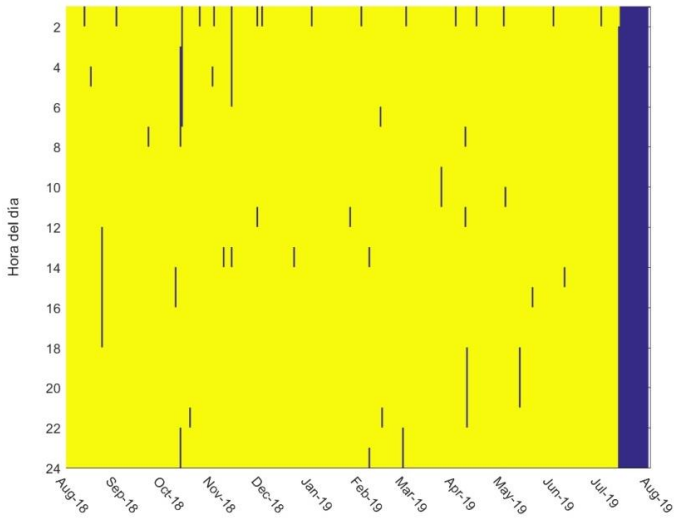


Figura 4.4-3: Registros meteorológicos de estación meteorológica de DIRECTEMAR, instalada en Capitanía de Puerto de Tocopilla. En azul se destacan los datos faltantes, mientras que el amarillo representa la información disponible.

[1] http://web.directemar.cl/met/jturno/estaciones/tocopilla/index.htm
[2] http://agromet.inia.cl/estaciones.php
[3] https://sinca.mma.gob.cl/index.php/

Los registros de la estación meteorológica INIA *"Altos la Portada"* tienen un espaciamiento de tiempo de 60 minutos, con una fecha de inicio 11/08/2017. Actualmente, esta estación se encuentra vigente. En particular, se utilizaron los datos para el intervalo de tiempo entre las fechas 01/08/2018 y 01/08/2019.

Los datos de la estación meteorológica SINCA *"Escuela E-10"* tienen un espaciamiento de tiempo de 60 minutos. Del set de registros que proporciona esta estación se utilizaron los de radiación solar con fecha de inicio 15/12/2011 y en particular los datos de dirección y velocidad de viento con fecha de inicio 31/12/2011, pues proporcionan información más local, es decir, más cercana a la zona del dominio de modelación que los aportados por INIA *"Altos la Portada"*. Esta estación se encuentra actualmente inactiva y se utilizaron los datos para el intervalo de tiempo entre el 01/08/2018 y 17/07/2019, fecha en la cual se dejó de operar.

Luego, para el relleno de información de la estación meteorológica DIRECTEMAR, en la Capitanía de Puerto de Tocopilla, se llevó a cabo una correlación en el periodo concurrente entre las estaciones mencionadas anteriormente. Las series temporales de las condiciones de borde meteorológicas se describen a continuación.

4.4.1.4.4.1 Presión atmosférica y temperatura del aire

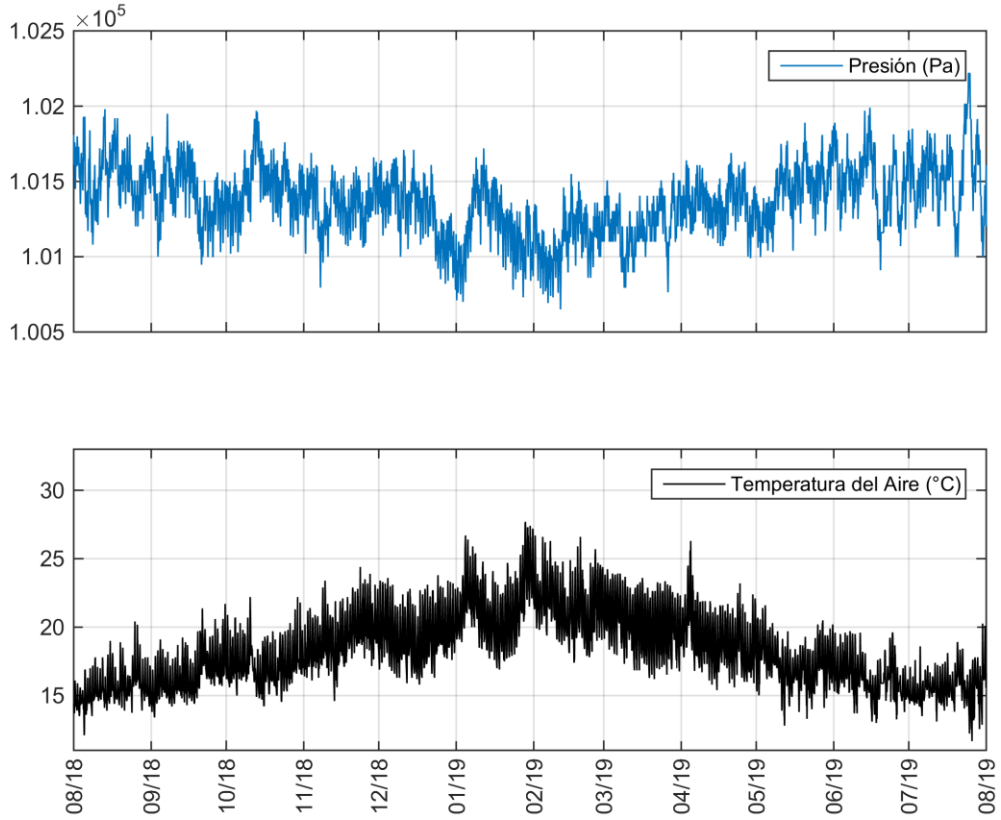


Figura 4.4-4: Presión atmosférica y temperatura del aire como condición de borde para el área de estudio.

En la Figura 4.4-4 se muestra la serie temporal de la presión atmosférica y la temperatura en el área de estudio. La presión atmosférica tiene un valor medio de 1013,7 hPa, un mínimo en verano de 1006,5 hPa y un máximo en invierno de 1022,2 hPa. Respecto a la temperatura, se tiene un valor medio de 18,3 °C, mínimo de 11,7 °C en invierno y un valor máximo de 27,7 °C en verano.

4.4.1.4.4.2 Precipitación y humedad relativa

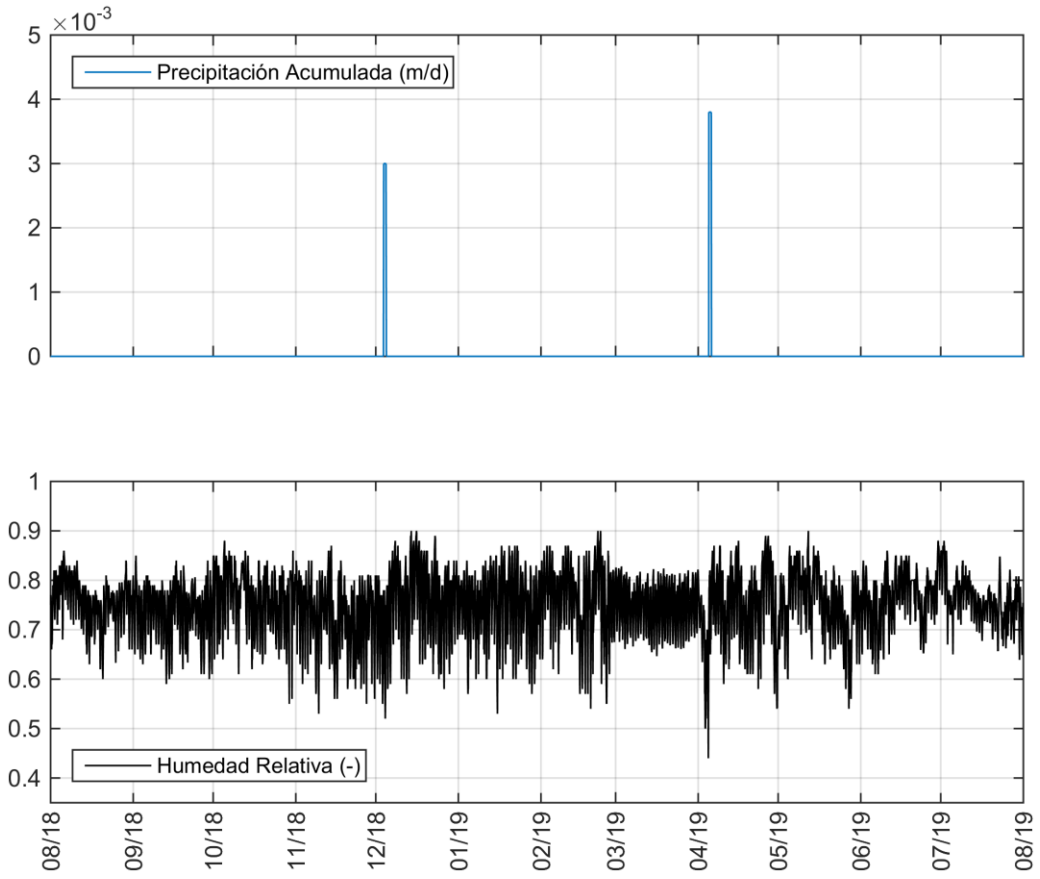


Figura 4.4-5: Precipitación y humedad relativa del aire como condición de borde para el área de estudio.

En la Figura 4.4-5 se observan las series temporales de precipitación y la humedad relativa del aire utilizadas como condición de borde en el área de estudio. Se destacan dos eventos de precipitación de 3,0 mm/d en verano y 3,8 mm/d en otoño. Respecto a la humedad relativa, se tiene que el valor medio de la serie es 75,2 %.

4.4.1.4.4.3 Radiación de onda larga y onda corta

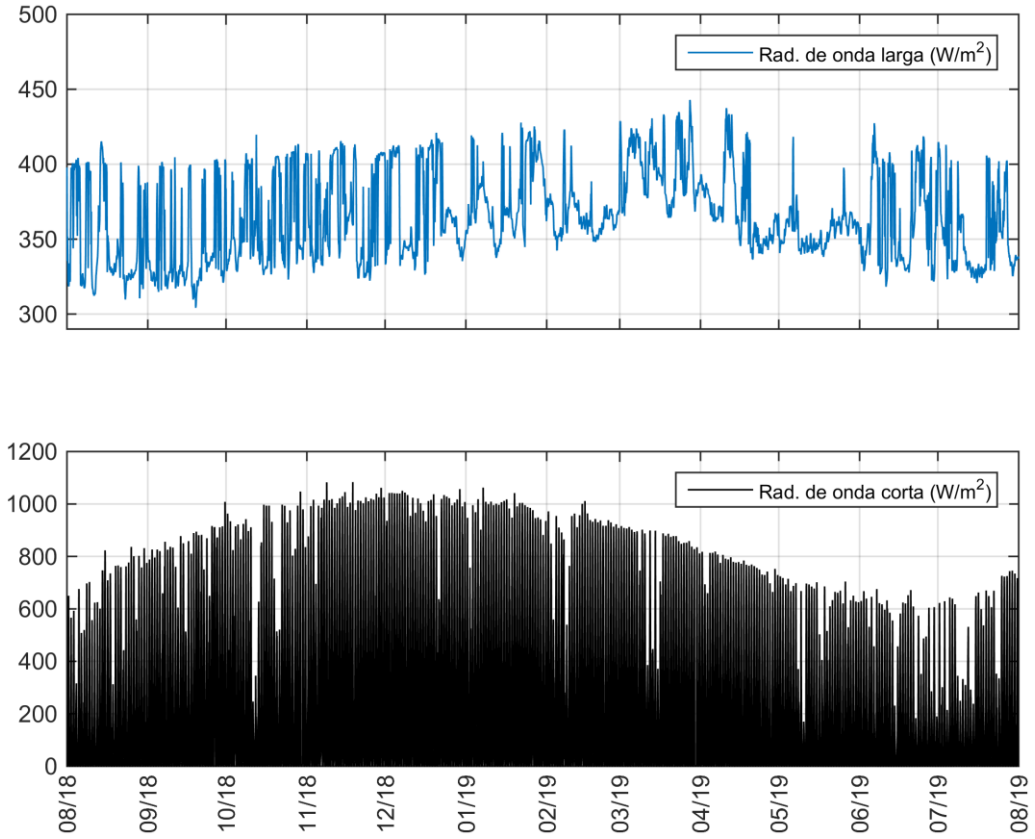


Figura 4.4-6: Radiación de onda larga y corta como condición de borde para el área de estudio.

La serie temporal de radiación de onda larga de la Figura 4.4-6, se obtuvo a partir de del modelo de reanálisis NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2)[4], con una resolución temporal horaria. Se descargó y utilizó como condición de borde el periodo comprendido entre el 01/08/2018 y el 01/08/2019.

Respecto a los datos de radiación de onda corta de la Figura 4.4-6, se destacan valores elevados de radiación diurna durante el verano, llegando a los 1083,5 W/m^2, característicos de esta zona tropical. En invierno se registró un descenso de aproximadamente 400 W/m^2, respecto a este máximo.

[4] http://rda.ucar.edu/data/ds094.1/

4.4.1.4.4.4 Velocidad y dirección del viento

En la Figura 4.4-7 se observa la rosa de los vientos utilizada como condición de borde en la modelación. El valor promedio de la serie de vientos es 2,5 m/s y se alcanza un máximo de 10,8 m/s, en el periodo entre el 01/08/2018 y el 01/08/2019. Se observa una predominancia de los vientos provenientes del suroeste.

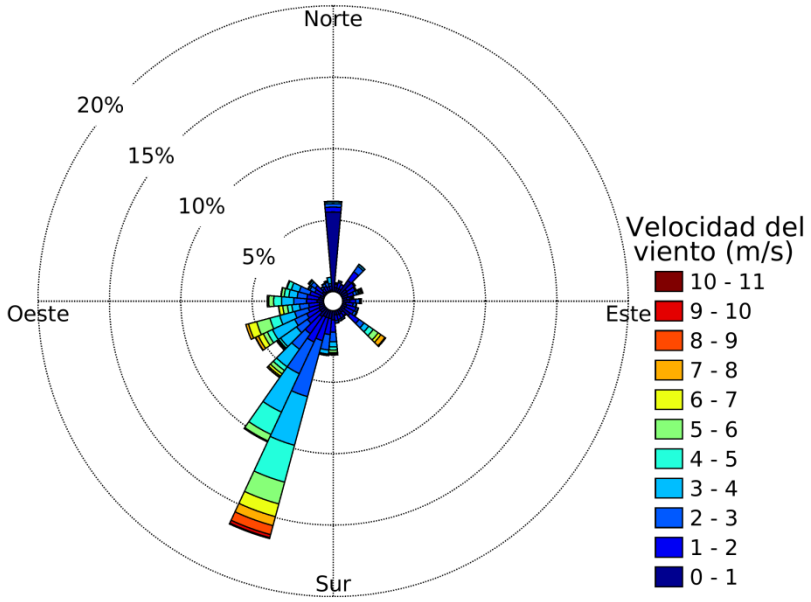


Figura 4.4-7: Rosa de los vientos, magnitud y dirección del viento utilizados como condición de borde.

4.4.1.4.5 Datos de marea

Para modelar la dinámica de mareas en la bahía, se consideró ingresar las variaciones de altura en los márgenes norte y poniente del dominio considerado. Los valores utilizados correspondieron a las mareas entregadas por SHOA en su publicación "*Tablas de marea de la costa de Chile 2018*" y "*Tablas de marea de la costa de Chile 2019*", Puerto Patrón Antofagasta, corregidos por la serie de presión atmosférica del acápite anterior (Figura 4.4-4), según las correcciones presentadas por SHOA de la Tabla 4.4-3.

Tabla 4.4-3: Tabla de correcciones a las alturas de marea en función de la presión atmosférica.

Presión Atmosférica		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

Presión Atmosférica		Corrección (m)
Hectopascales (hPa)	Milímetros de mercurio (mmHg)	
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

En el modelo no se consideraron las 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 para las celdas de los limites Norte y Poniente del dominio. La serie temporal de marea utilizada como condición de borde se presenta en la Figura 4.4-8.

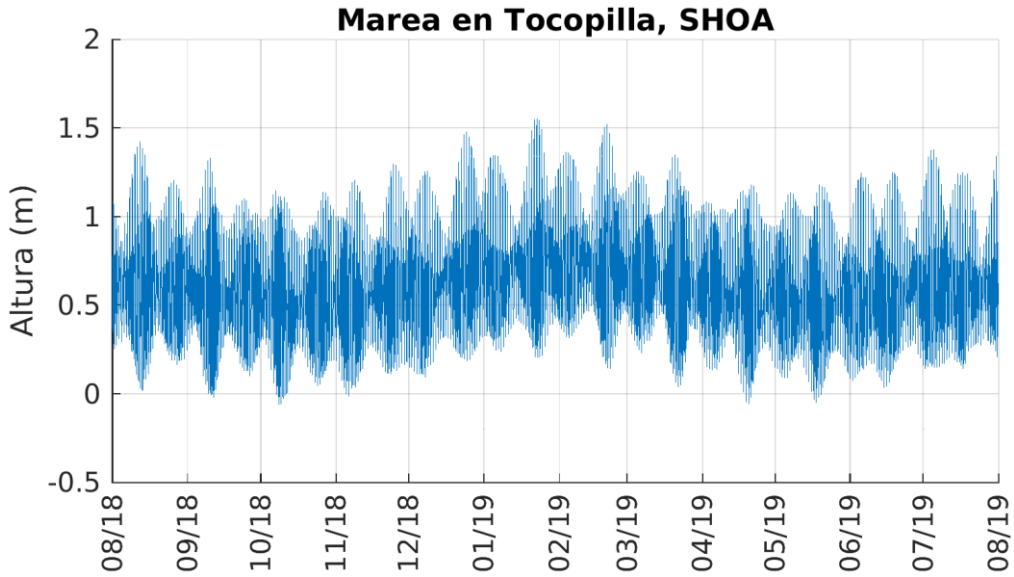


Figura 4.4-8: Serie temporal de marea utilizada como condición de borde, corregida por la presión atmosférica.

4.4.1.4.6 RILES

Respecto a las descargas de RILES en la bahía, se consideraron las fuentes de emisión que se muestran en la Tabla 4.4-4, 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 4.4-5.

Tabla 4.4-4 Plantas asociadas a descargas de RILES en Bahía de Algodonales.

ID	Rut	UTM N	UTM E	Razón Social	Planta	Punto
CRP	96893820-7	7558608	376833	CORPESCA S A	PLANTA TOCOPILLA	C.TOCOPILLA
ECL	88006900-4	7556040	374777	E.CL S.A.	CENTRAL TERMICA TOCOPILLA	UNIDAD.10.11 .14.15
ECL	88006900-4	7556040	374777	E.CL S.A.	CENTRAL TERMICA TOCOPILLA	UNIDAD.12.13
ECL	88006900-4	7556040	374777	E.CL S.A.	CENTRAL TERMICA TOCOPILLA	UNIDAD.16
ECL	88006900-4	7556040	374777	E.CL S.A.	CENTRAL TERMICA TOCOPILLA	UNIDAD.2
AES	94272000-9	7556098	375154	AES GENER S A	CENTRAL TERMOELÉCTRICA NUEVA TOCOPILLA	CENTRAL NUEVA TOC EMISARIO SUBMARINO

Cabe mencionar que el punto de descarga con Razón Social CORPESCA S A, no efectúa descargas según la información de SNIFA[5]. Por lo cual sólo se consideran los puntos de descarga AES y ECL, en donde para obtener un valor representativo de caudal y concentración de contaminantes de ECL se realizó una sumatoria de la carga total que se descarga en términos de masa (para esto se consideró que los contaminantes que no fueron informados, no fueron descargado en la bahía, y por tanto, se le asignó un valor nulo) y una sumatoria del caudal de cada uno de los puntos de descarga ECL. Esto se explica con las expresiones de las ecuaciones (4.4-1) y (4.4-2).

$$Q_T = \sum_i \overline{q_i} \qquad (4.4\text{-}1)$$

[5] http://snifa.sma.gob.cl/v2/UnidadFiscalizable

$$C_n = \frac{\sum_i \overline{c_i^n} \cdot \overline{q_i}}{Q_T} \quad (4.4\text{-}2)$$

En donde Q_T corresponde a la sumatoria de los caudales medios mensuales ($\overline{q_i}$) de todos los puntos de descarga de ECL, es decir de los puntos i = {Unidad.10.11.14.15, Unidad.12.13, Unidad.16., Unidad.2}, C_n es la concentración representativa del contaminante n = {Al, B, Fe, Mb, Zn}, $\overline{c_i^n}$ la concentración media mensual del contaminante n y del punto de descarga i. En base a lo anterior, se obtuvo un RIL equivalente de ECL en las coordenadas de descarga 7556040 UTM N, 374777 UTM E, el cual se caracteriza en la Tabla 4.4-5, junto con el RIL AES, en términos de caudal y concentración de los contaminantes.

Tabla 4.4-5 Valores de concentración de parámetros en mg/l y caudales característicos para cada una de las descargas consideradas.

Parámetro	AES	ECL
Caudal (m³/d)	656909	1841314
Aluminio	0.038	0.18723
Arsénico	0.005	
Boro		0.95028
Cadmio	0.002	
Cobre	0.034	
Cromo Total	0.013	
Hierro Disuelto	0.022	0.36842
Manganeso	0.012	
Mercurio	0.001	
Molibdeno	0.014	0.02753
Níquel	0.018	
Plomo	0.050	
Selenio	0.004	
Temperatura	23.444	23.13250
Zinc	0.024	0.03204

Se consideró modelar como trazador cada uno de los parámetros mencionados, normalizando las concentraciones de cada componente por el mayor valor registrado en las distintas fuentes de emisión (AES y ECL). Estos valores se destacan en verde en la Tabla 4.4-5, y corresponden a C_0 en los resultados gráficos de la modelación.

Se identifica que al normalizar por C_0, se obtiene el mismo vector de concentración para el caso de los elementos As, Cd, Cu, Cr, Mn, Hg, Ni, Pb y Se, puesto que solamente son descargados en AES. A este grupo de contaminantes se les denomina “T2”. En la Tabla 4.4-6 se muestra el set de contaminantes modelados.

Tabla 4.4-6 Contaminantes modelados: Al, T2 {As, Cd, Cu, Cr, Mn, Hg, Ni, Pb y Se}, B, Fe, Mb y Zn. Normalizados por la máxima concentración C_0.

ID	Al	T2	B	Fe	Mb	Zn
AES	0.202	1.000	0.000	0.060	0.518	0.742
ECL	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000

4.4.1.4.7 Condiciones iniciales

Como condiciones iniciales se consideraron los valores de los parámetros de la Tabla 4.4-7.

Tabla 4.4-7: Condiciones iniciales isotrópicas para el dominio considerado.

Parámetro	ID Modelo	Valor	Unidad
Altura superficial del agua	HEIGHT	0,78	msnm
Magnitud de viento	WIND_SPEED	0,0	m/s
Dirección de viento	WIND_DIR	0,0	°
Temperatura del agua	WTR_TEMP	12,0	°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

4.4.1.5 Resultados

Como parte del análisis de los resultados, se evaluará 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 utiliza la *función de costo* (CF), la cual entrega 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 (4.4-3).

$$CF = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|D_i - M_i|}{\sigma_D} \qquad (4.4\text{-}3)$$

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 4.4-8.

Tabla 4.4-8: 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 (4.4-4).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N}(D_i - \bar{D})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(D_i - \bar{D})^2 \sum_{i=1}^{N}(M_i - \bar{M})^2}} \quad (4.4\text{-}4)$$

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 1 y 29 de marzo de 2019. Estas mediciones fueron realizadas en punto con coordenadas 375.925,0 m Este y 7.557.122,2 m Norte, Huso 19 K. Así, se comparan los perfiles promedio mensuales del registro del ADCP con los datos modelados en el periodo concurrente (1-29 de marzo 2019) y se calculan los estadísticos de CF y R de las ecuaciones (4.4-3) y (4.4-4), respectivamente. Los resultados de CF y R, calculados para comparar los promedios temporales mensuales del mes de campaña, se muestran en la Figura 4.4-9.

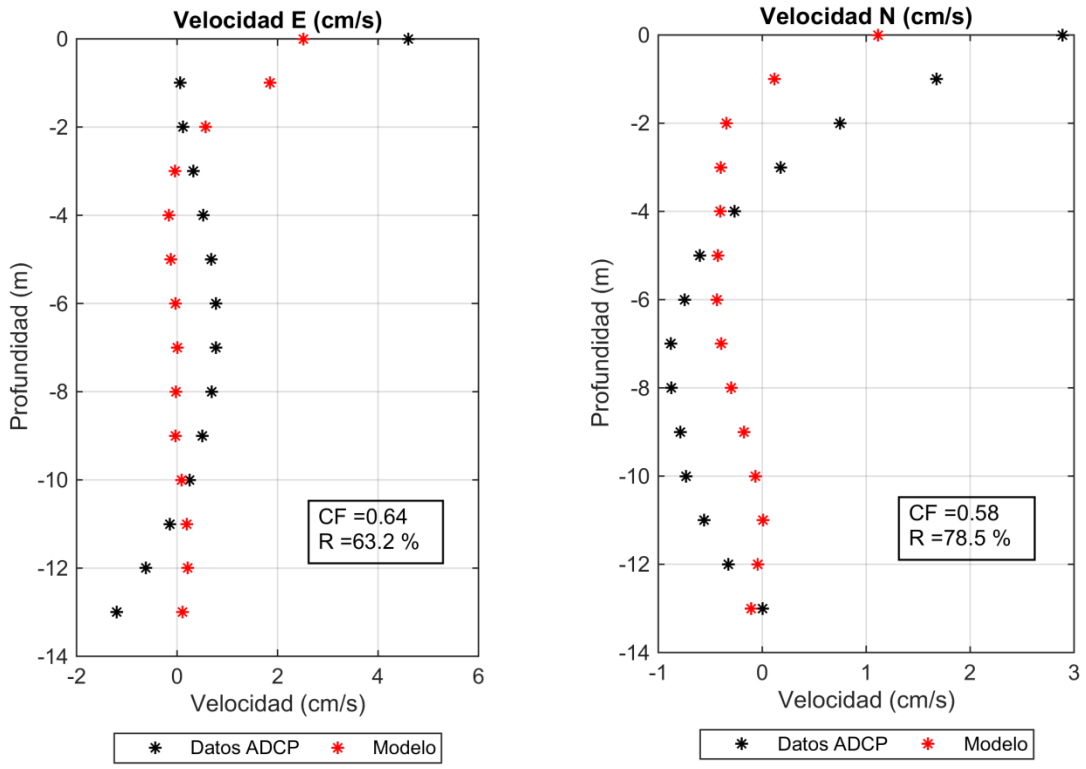


Figura 4.4-9: Resultados de estadísticos CF y R para evaluar la confianza en el ajuste: promedios mensuales de los perfiles verticales de velocidades Este y Norte.

En la Figura 4.4-9 se observa que los coeficientes de correlación de los ajustes del perfil de velocidad promedio temporal Este y Norte son distintos, en el caso de la coordenada E es cercano a 63%, mientras que en la coordenada norte 79%, y que los valores de CF indican que la bondad del ajuste es muy buena en ambas coordenadas, según la categorización presentada en la Tabla 4.4-8.

4.4.1.5.1 Campo de velocidades y tiempos de residencia en Bahía Algodonales

Con el objetivo de representar de formar aproximada la dinámica promedio esperada en la bahía, en la Figura 4.4-10 y Figura 4.4-13 se muestran los resultados del campo de velocidades de la capa promedio vertical y superficial, respectivamente. 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. La información se presenta en rangos horarios cada seis horas (escala sinóptica), y agrupados según temporada (verano, otoño, invierno o primavera).

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 (4.4-5)). En la Figura 4.4-11 y Figura 4.4-14 se grafican los resultados obtenidos de este parámetro para el dominio en estudio: el promedio vertical de las capas y la capa superficial, respectivamente. 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.

$$\mathrm{TR} = \left(\frac{\mathrm{V_x}}{\mathrm{dx}} + \frac{\mathrm{V_y}}{\mathrm{dy}}\right)^{-1} \qquad (4.4\text{-}5)$$

En la Figura 4.4-10, en el promedio vertical de las velocidades, se observa que existe una zona situada al oeste entre las coordenadas 7.553.867 y 7.561.801 norte, en donde se forma una recirculación, principalmente entre las 12:00 y 18:00, la cual se encuentra más marcada en verano y primavera. En general en el borde costero de la bahía, en los horarios 12:00-18:00 y 18:00-24:00, las corrientes son predominantemente en sentido norte y noreste, mientras que en los horarios 00:00-06:00 y 06:00-12:00, se observa que las corrientes van hacia el sur y suroeste, lo cual genera una recirculación en la bahía en esa ventana horaria (00:00-12:00). Esta recirculación está caracterizada por bajas velocidades y altos tiempos de residencia en el borde costero de la bahía y se aprecia de forma más clara, principalmente, en los meses de otoño e invierno entre las horas 06:00 y 12:00, y con menor preponderancia entre 00:00 y 06:00. En la Figura 4.4-12, se realiza un acercamiento a la zona de interés para poder apreciar el fenómeno caracterizado. Además, se observa que, como era de esperar, en Punta Algodonales existe un aumento de las velocidades, que se pronuncia principalmente en el horario entre las 18:00 y 24:00, en las estaciones de verano y otoño y disminuye entre las horas 06:00 y 12:00.

En la Figura 4.4-13, se observa que las corrientes están influenciadas principalmente por el viento y que existe una fuerte dependencia respecto al rango horario, con velocidades en

el sentido noreste entre las 12:00 y 24:00, mientras que entre 00:00 y 06:00 corrientes en sentido norte y oeste y entre 06:00 y 12:00 corrientes hacia el oeste. Además, como era de esperar, se logra apreciar que, por la escala de este gráfico, las velocidades en promedio en la capa superficial son mayores a las del promedio vertical, mostradas en Figura 4.4-10.

En la zona de la bahía, como se esperaba, los tiempos de residencia son mayores (Figura 4.4-11 y Figura 4.4-14). Se destaca que los tiempos de residencia en los estratos superficiales son menores (notar diferente escala), puesto que hay mayor circulación que en estratos inferiores y que en las ventanas horarias entre 00:00-06:00 y 06:00-12:00, se producen los mayores de tiempos de residencia (promedio vertical de capas Figura 4.4-11), en las estaciones de primavera y verano.

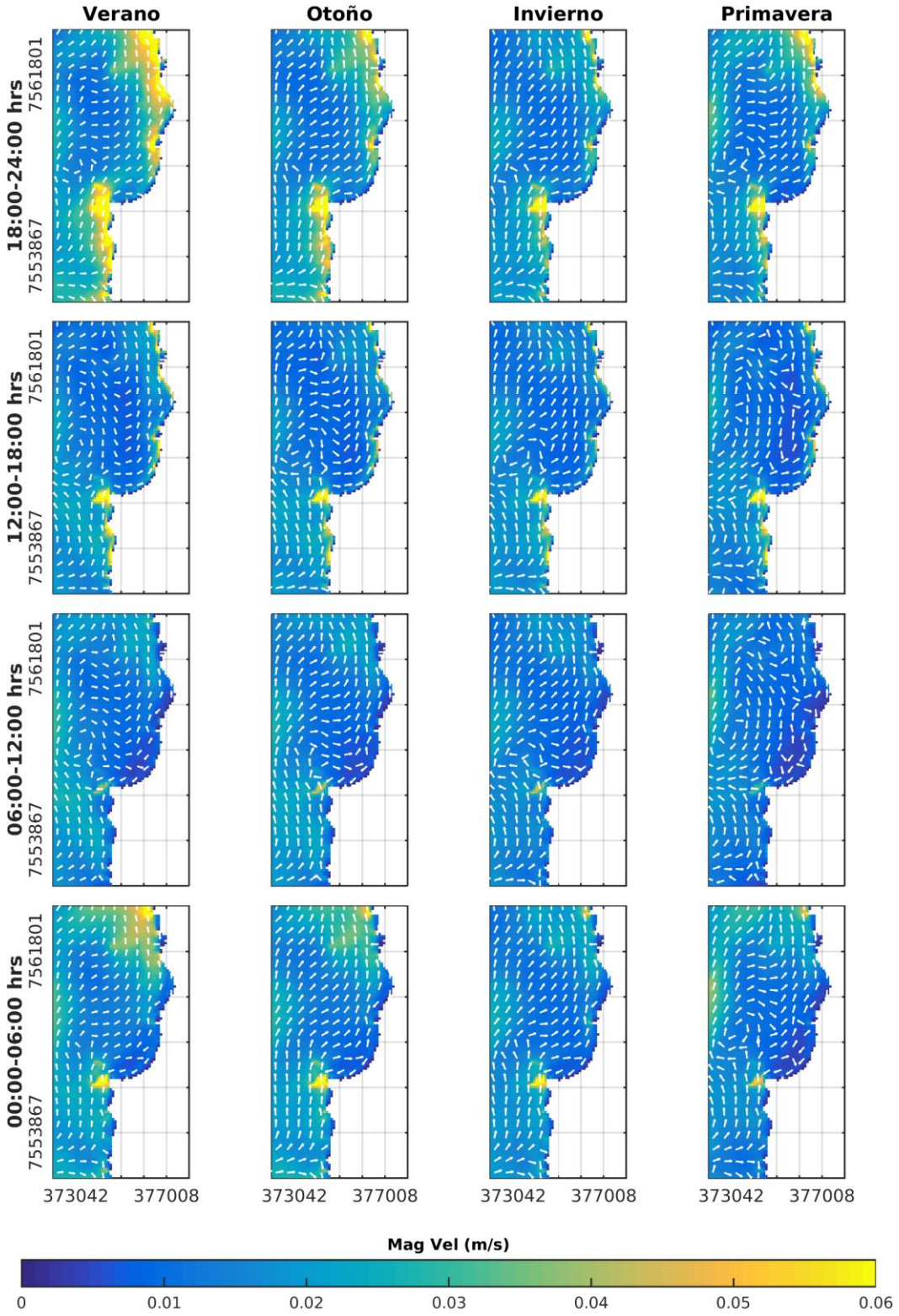


Figura 4.4-10: Campo de velocidades medias en Bahía Algodonales, separadas por estación y rango horario, para promedio vertical de las capas.

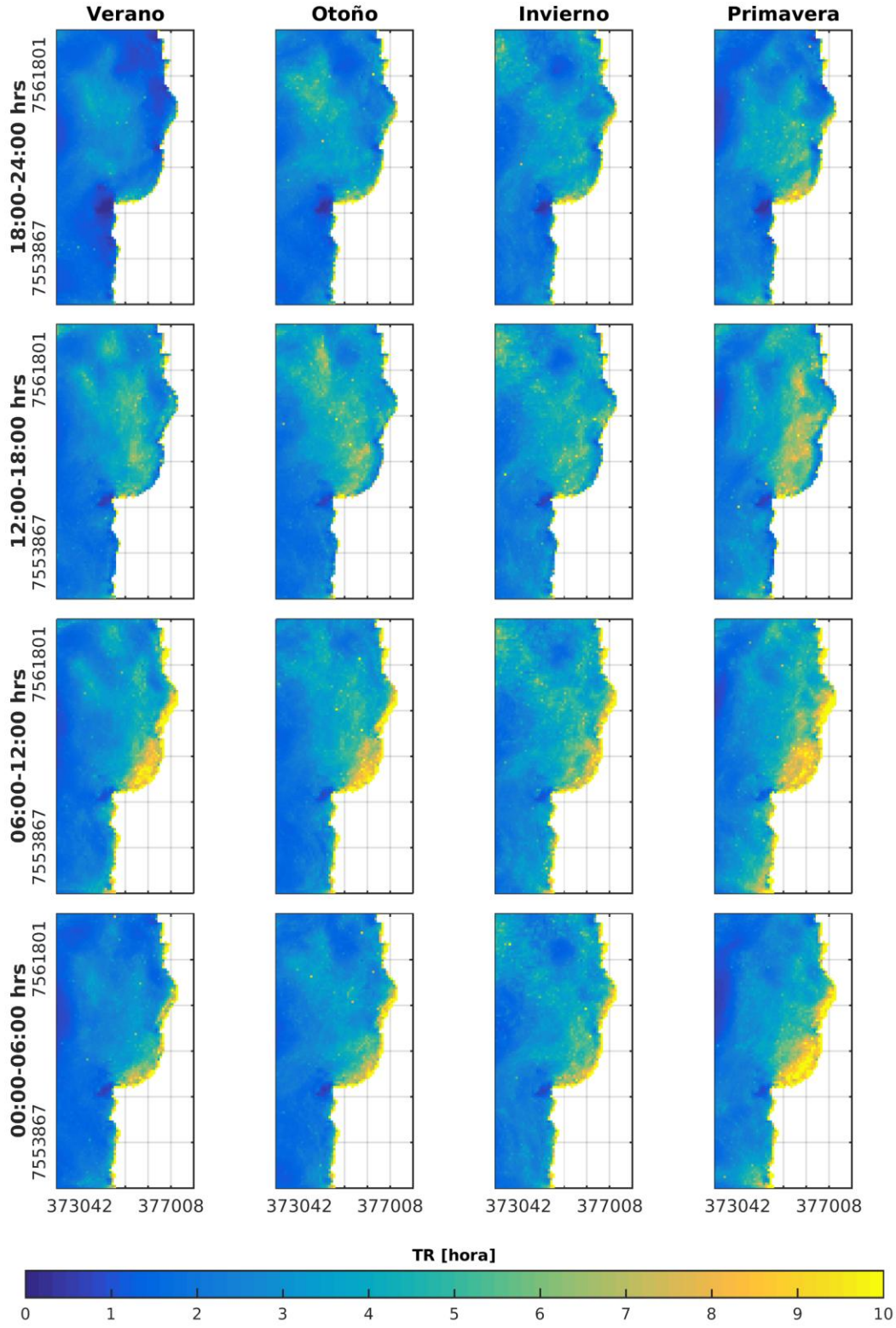


Figura 4.4-11: Tiempos de residencia en Bahía Algodonales, separadas por estación y rango horario, para promedio vertical de las capas.

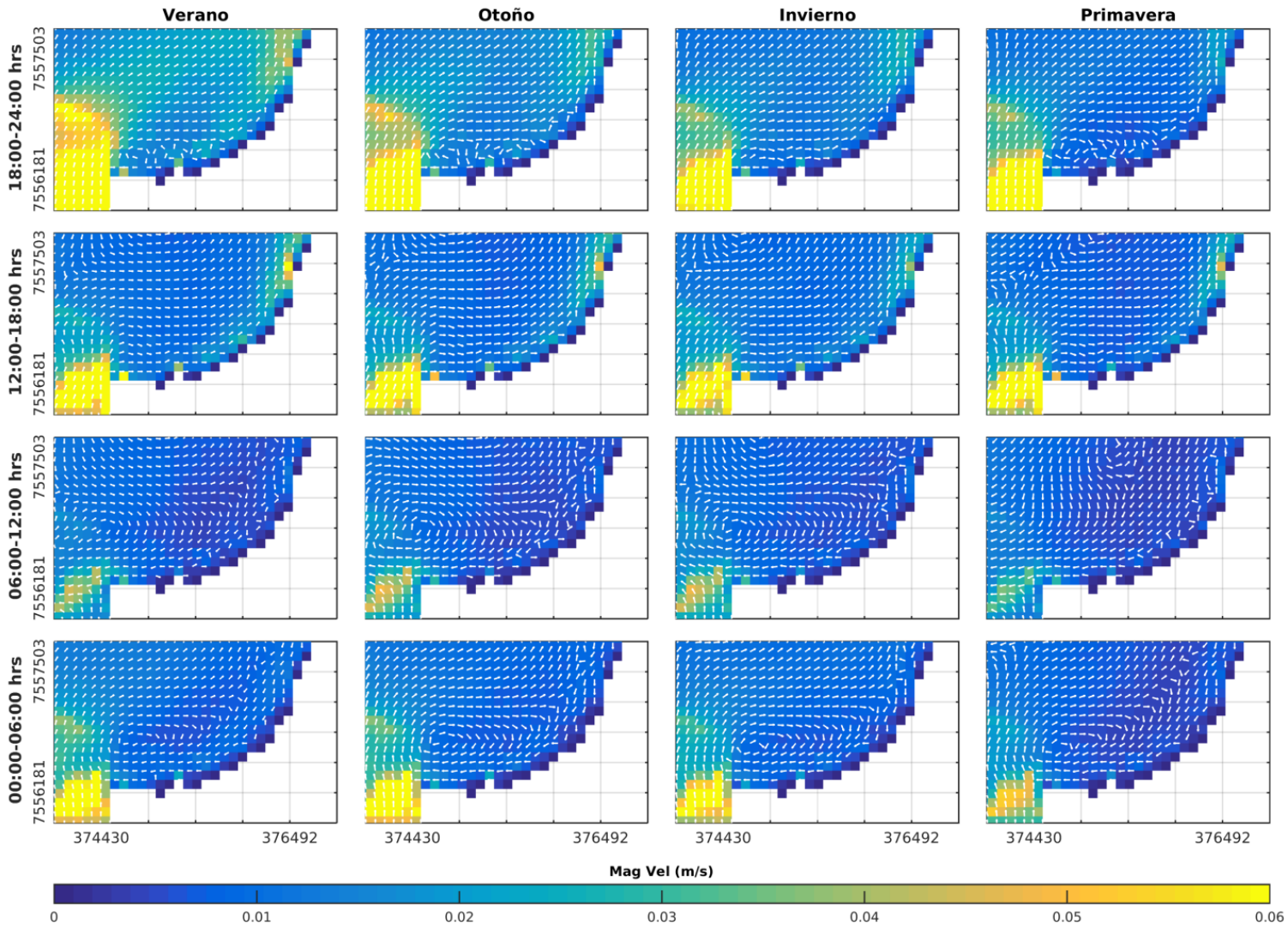


Figura 4.4-12: Acercamiento de campo de velocidades en Bahía Algodonales, separadas por estación y rango horario, para promedio vertical de las capas. Se observa recirculación en otoño-invierno (00:00-12:00).

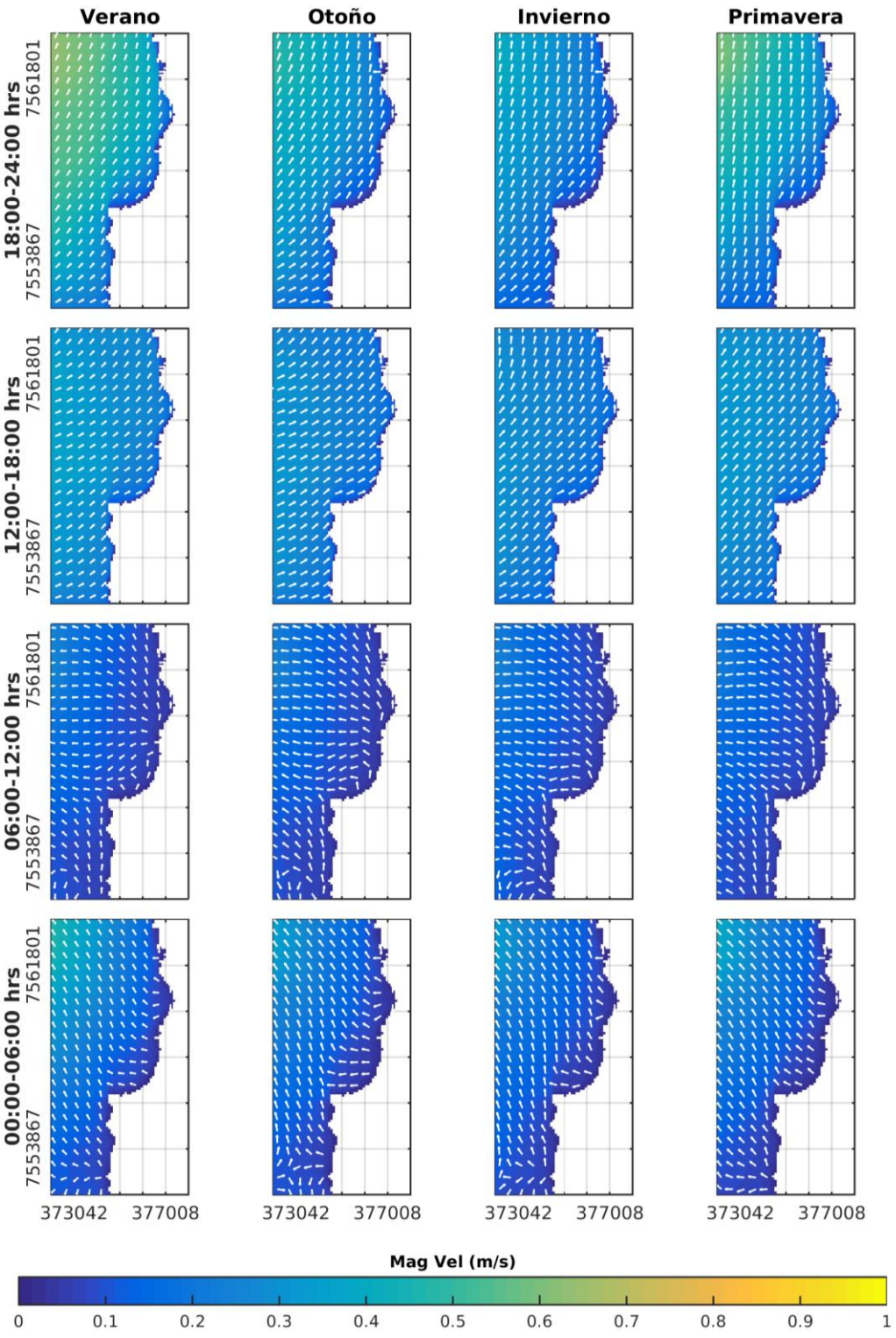


Figura 4.4-13: Campo de velocidades medias en Bahía Algodonales, separadas por estación y rango horario, para la capa superficial.

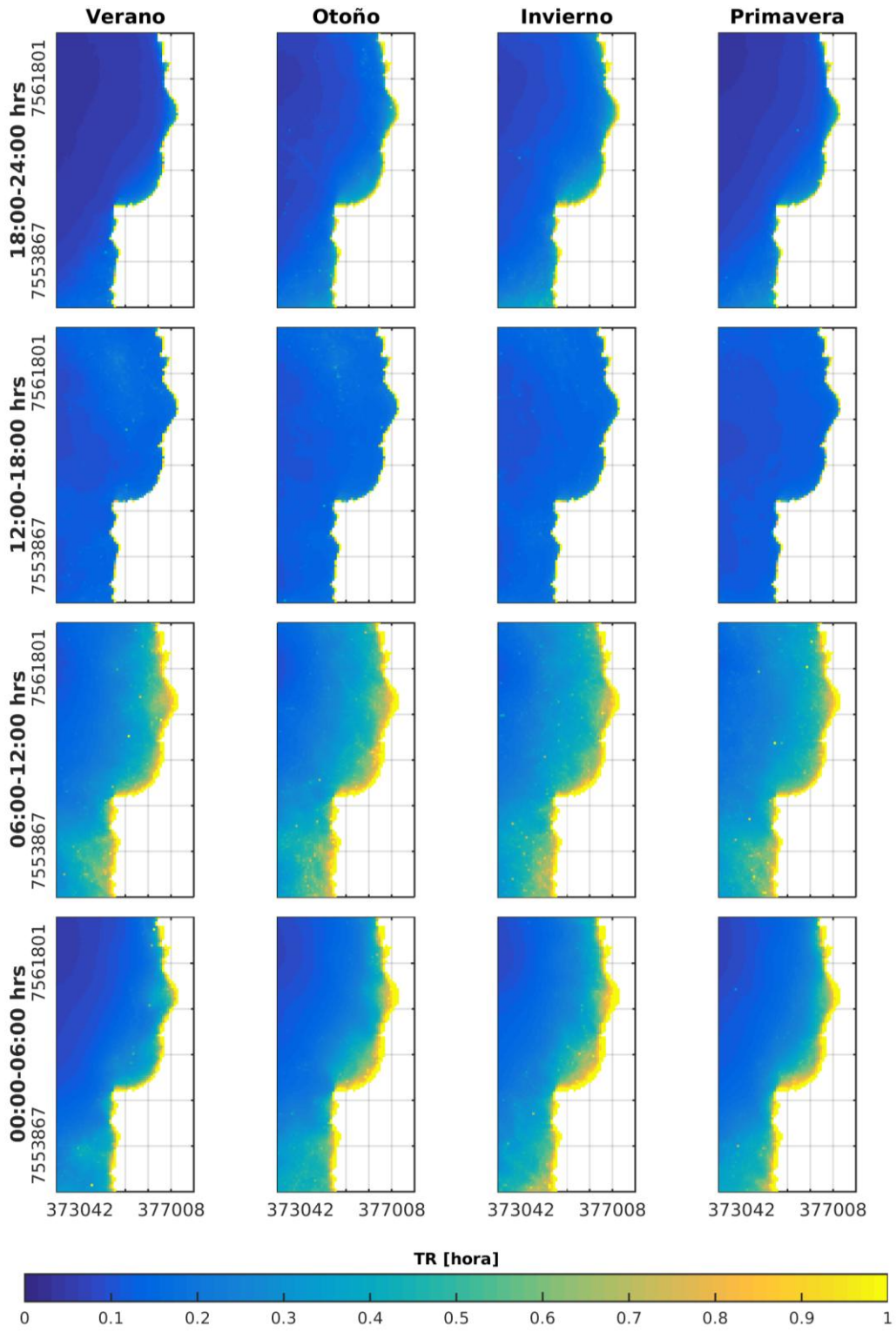


Figura 4.4-14: Tiempos de residencia en Bahía Algodonales, separadas por estación y rango horario, para la capa superficial.

4.4.1.5.2 Distribución de componentes químicas de RILES en la bahía.

De los resultados de las simulaciones, se promedió anualmente la concentración presente en las distintas capas obtenidas, superficial, a 5 m de profundidad, fondo y promedio, para cada una de las componentes de la Tabla 4.4-5, entregando un mapa de concentración normalizada (C/C_0) para el arsénico (Figura 4.4-15), cadmio (Figura 4.4-16), cobre (Figura 4.4-17), cromo total (Figura 4.4-18), cromo hexavalente (Figura 4.4-19), mercurio (Figura 4.4-20).

Las concentraciones de cadmio presentaron un menor valor en la bahía en comparación a la distribución de concentración alcanzada por el resto de las componentes estudiadas. Además, se destaca un comportamiento general de altas concentraciones abarcando mayor superficie en la capa superficial de estudio, mientras que la de fondo y promedio solo presentan un área reducida con mayores concentraciones en los sectores de costa y bahía.

En cuanto a la distribución espacial de cada uno de los elementos, se infiere que depende fuertemente del punto de descarga (ubicación) de cada uno de ellos. Por ejemplo, el punto de descarga con concentraciones de cadmio se encuentra en una zona más expuesta a mayores velocidades y en consecuencia menor tiempo de residencia, mientras que el resto de las descargas se encuentran en zonas de menor circulación y mayor tiempo de residencia (Figura 4.4-10 y Figura 4.4-11).

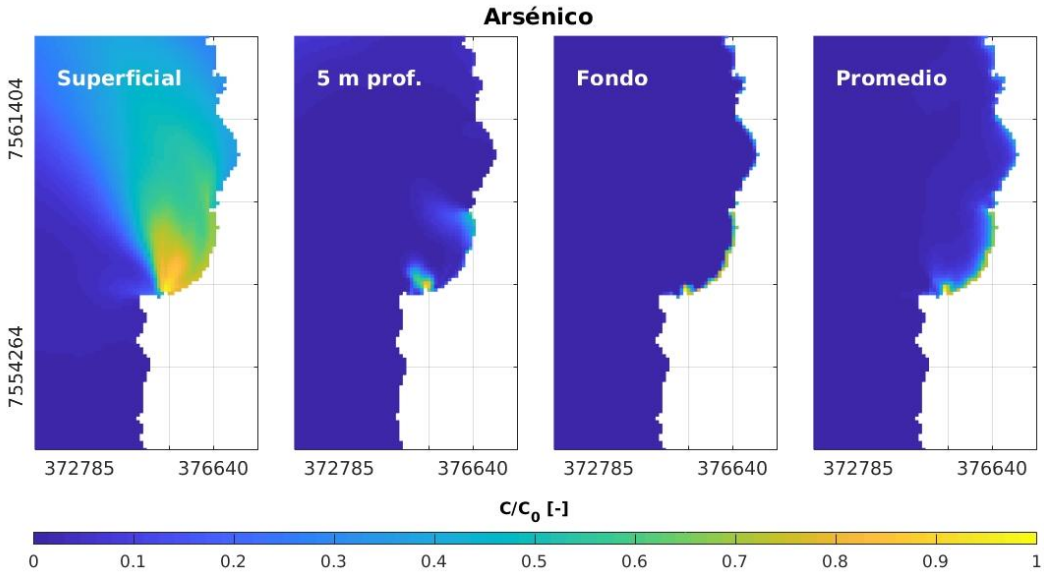


Figura 4.4-15: Concentración normalizada promedio anual de arsénico para las capas superficial, a 5 m de profundidad, fondo y promedio.

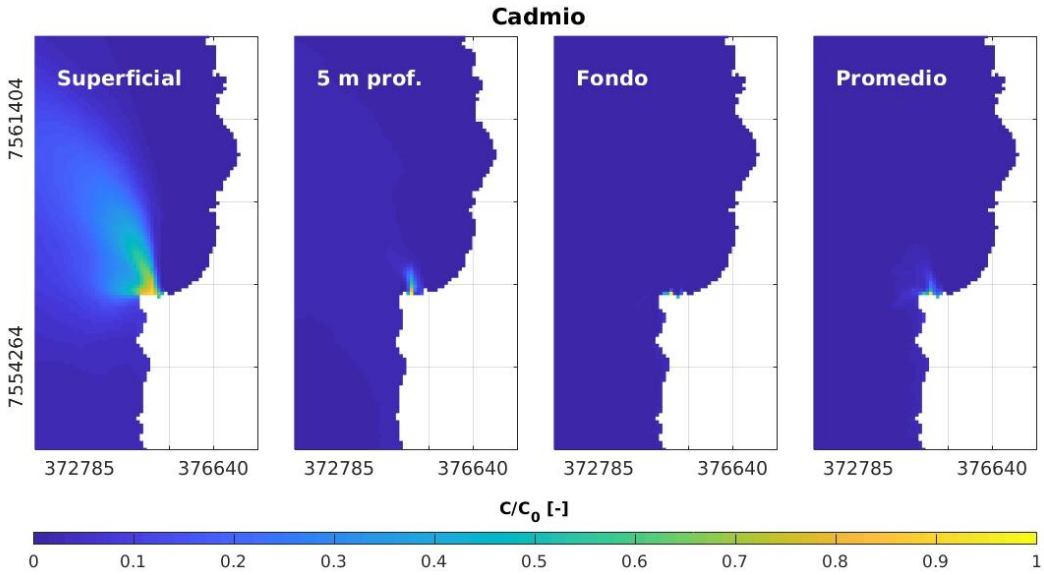


Figura 4.4-16: Concentración promedio anual de cadmio para las capas superficial, a 5 m de profundidad, fondo y promedio.

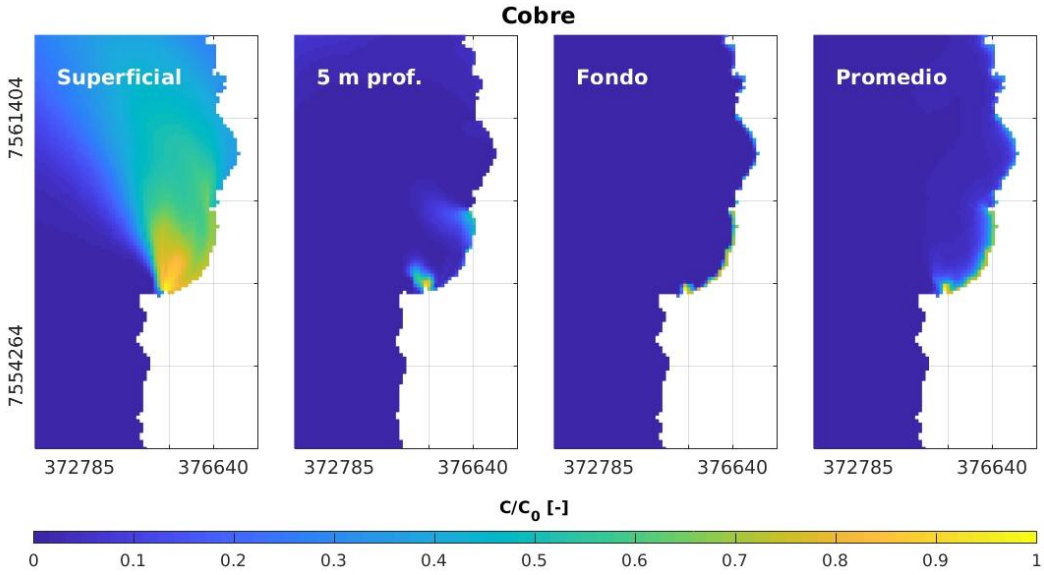


Figura 4.4-17: Concentración promedio anual de cobre para las capas superficial, a 5 m de profundidad, fondo y promedio.

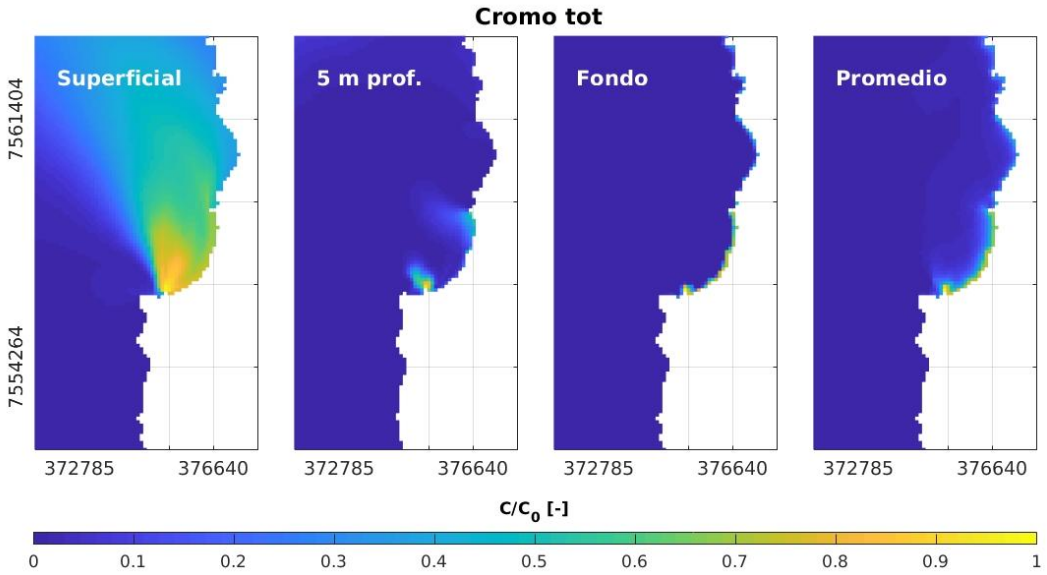


Figura 4.4-18 Concentración promedio anual de cromo total para las capas superficial, a 5 m de profundidad, fondo y promedio.

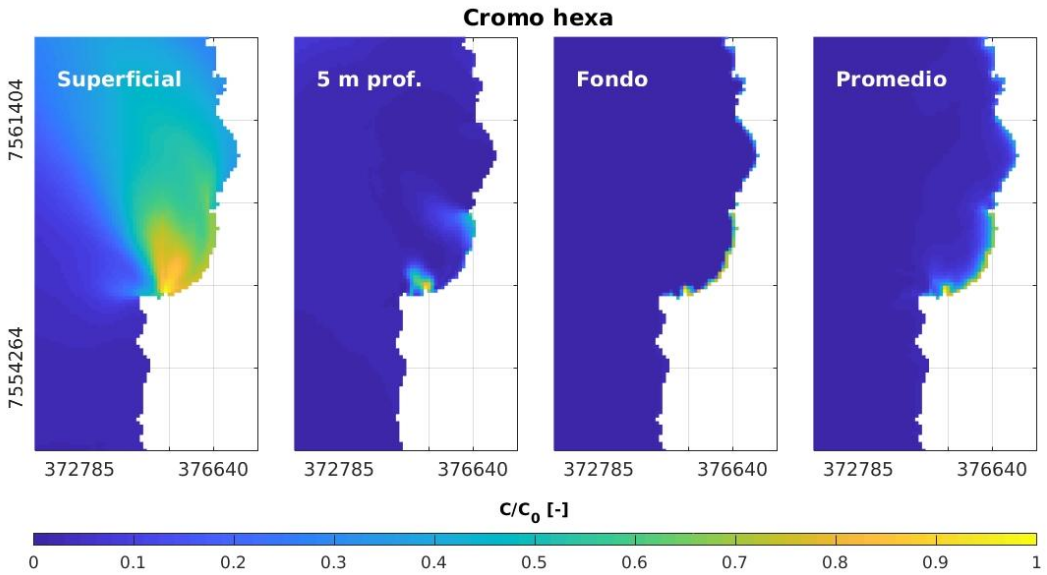


Figura 4.4-19: Concentración promedio anual de cromo hexavalente para las capas superficial, a 5 m de profundidad, fondo y promedio.

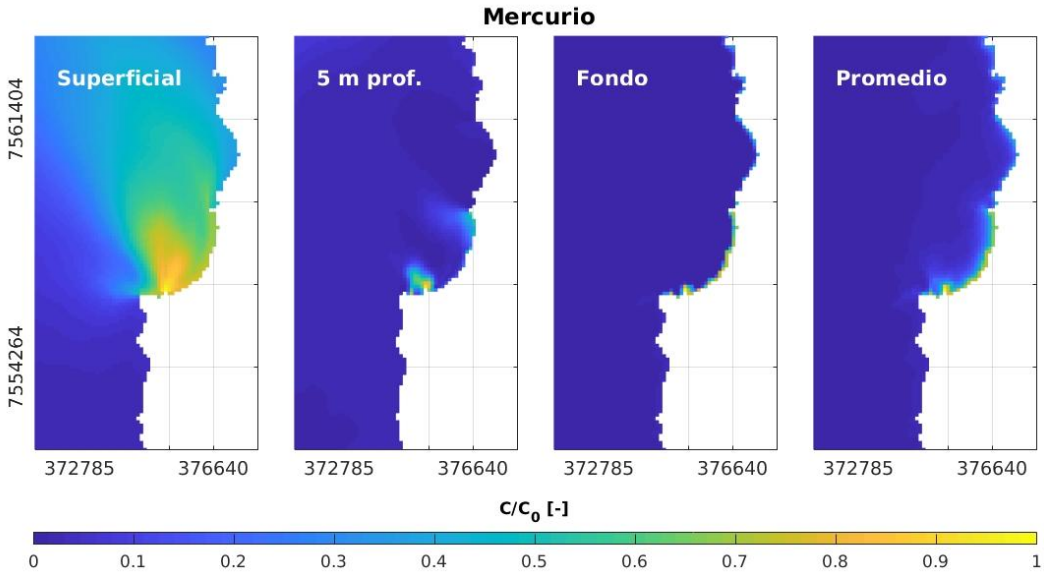


Figura 4.4-20: Concentración promedio anual de mercurio para las capas superficial, a 5 m de profundidad, fondo y promedio.

4.4.1.6 Discusión y conclusiones de la hidrodinámica y flujo de contaminantes

- Se observó de los resultados de la capa promedio, una zona de baja circulación presente durante todo el año, correspondiente a la zona costera de la bahía, al norte de la Punta Algodonales.
- Se observó de los resultados de la capa promedio, la predominancia de las corrientes en dirección norte hacia mar adentro, mientras que en la bahía Algodonales se observa una predominancia hacia el Este.
- Los resultados del tiempo de residencia se condicen con los resultados del campo de velocidades, existiendo altos valores de este parámetro a lo largo de la costa.
- Los tiempos de residencia de primavera son más altos en comparación a los obtenidos el resto del año, por lo que la condición de limpieza de la bahía es más lenta en esa época.
- El campo de velocidades de la capa superficial mostró una gran dependencia del viento, teniendo un comportamiento similar durante el año.
- Los tiempos de residencia promedio de la capa superficial mostraron valores altos en la zona cercana a la costa, por lo que en esta zona se presentan menores tasas de limpieza que mar adentro.

4.4.2 Integración de la información obtenida en la recopilación de información y monitoreos estacionales

En el presente capítulo se integró la información recopilada en el Objetivo Específico 1 (OE1), y la información obtenida del sistema de monitoreo integrado realizado en cuatro campañas entre el año 2018 al año 2020 por CEA (OE-2).

La recopilación de información presentada en el objetivo específico 1 (OE-1) compila los monitoreos históricos de calidad de agua y sedimento a lo largo de la bahía Algodonales. El objetivo específico 2 (OE-2) da cuenta de la información de calidad química de agua, calidad química de sedimentos, comunidades bentónicas y planctónicas, entre otras, recolectada en 4 campañas de terreno realizadas entre invierno de 2018 y verano de 2020.

Para el análisis de las componentes de calidad química de agua, calidad química de sedimentos y biota, se definieron 8 zonas de estudio considerando un buffer de un kilómetro respecto a la línea de costa, llegando a una profundidad entre las isobatas 40m y 60m, además de los puntos de muestreo realizadas por CEA desarrollado en el Objetivo Específico 2 (capítulo 4.2) y que se adjuntan en la Tabla 4.4-9. El criterio considerado tuvo en cuenta 4 elementos:

I. Mayor cantidad posible de componentes: calidad química de agua, calidad química de sedimentos, comunidades planctónicas, comunidades bentónicas.
II. Distribución geográfica
III. Oceanografía física: Tiempos de Retención obtenidos de la modelación (Figura 4.4-23).
IV. Singularidades de puntos: ubicación cercana a zonas particulares.

Tabla 4.4-9: Ubicación y descripción de puntos de muestreo considerados en el diseño experimental.

ID Punto de muestreo	Componentes muestreadas
TOC1@7	Calidad química de la columna de agua (S y F), Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal, Calidad química de sedimentos submareales.
SED1@6	Calidad química de sedimentos intermareales
TIR1@6	Biota sustrato rocoso submareal (TSR) e intermareal (TIR), metales e hidrocarburos en biota
TIB1@6	Macroinfauna intermareal

Así, englobando los 4 elementos de definición de las zonas de estudio, los puntos de muestreo quedaron distribuidos en grupos como se describe en la Tabla 4.4-10 y Figura 4.4-22.

Posteriormente, se obtuvo el centroide entre los puntos de muestreo de cada grupo de puntos, de manera tal que cada zona de estudio quedó definida por la distancia media entre

dos centroides contiguos, trazando una línea perpendicular a la línea que une dichos centroides.

Tabla 4.4-10: Grupos de puntos de medición, componentes presentes y sectores representativos.

Punto	Grupo	Componentes	Sector
SED-1 TIB-1 TIR-1 TOC-1	1	Calidad química de sedimentos intermareales y submareales; Calidad química en columna de agua; Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal; Macrofauina intermareal blanda; Biota estrato rocoso intermareal	-Caleta Vieja -Cenizales
SED-2 TIB-2 TIR-2 TOC-2	2	Calidad química de sedimentos intermareales y submareales; Calidad química en columna de agua; Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal; Macrofauina intermareal blanda; Biota estrato rocoso intermareal	-Caleta Duendes
SED-3 TIB-3 TIR-3	3	Calidad química de sedimentos intermareales; Macrofauina intermareal blanda; Biota estrato rocoso intermareal	-Playa el arenal
SED-4 TIB-4 TIR-4 TOC-3 TOC-4	4	Calidad química de sedimentos intermareales y submareales; Calidad química en columna de agua; Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal; Macrofauina intermareal blanda; Biota estrato rocoso intermareal	-Playa el salitre
SED-5 TIB-5 TOC-5	5	Calidad química de sedimentos intermareales y submareales; Calidad química en columna de agua; Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal; Macrofauina intermareal blanda	-Puerto de Tocopilla -Descarga NORGENER
TOC-6	6	Calidad química de sedimentos intermareales y submareales; Calidad química en columna de agua; Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal	-Punta Algodonales -Acopio Carbón
SED-6 TIB-6 TIR-5 TIR-6	7	Calidad química de sedimentos intermareales; Macrofauina intermareal blanda; Biota estrato rocoso intermareal; Biota estrato rocoso intermareal	-Playa Covadonga
TOC-7	8	Calidad química de sedimentos intermareales y submareales; Calidad química en columna de agua; Comunidades planctónicas, macroinfauna submareal	-LIPESED

Luego, los tiempos de retención (TR) presentaron importancia en la definición de los grupos 2 y 3, pues los valores obtenidos en 2 fueron superiores a los obtenidos en 3 en los 40 metros de distancia hacia mar adentro respecto a la costa. Este fenómeno se explica en la presencia de una convexidad local que proteje al sector de las corrientes costeras. A pesar de esto, al obtener el valor promedio con el buffer considerado en la zonas de estudio propuestsa, el valor de TR promedio en 2 es inferior al de 3. Del mismo modo, los grupos1,6, 7 y 8 están más expuestos a las corrientes litorales, presentando flujos de mayor velocidad y por ende, menores tiempos de retención. Los grupos 4 y 5 están ubicados en las zonas de mayores tiempos de retención, presentando los máximos valores. En la Figura 4.4-21 se adjuntan los valores promedio de los TR por zona de estudio propuesta.

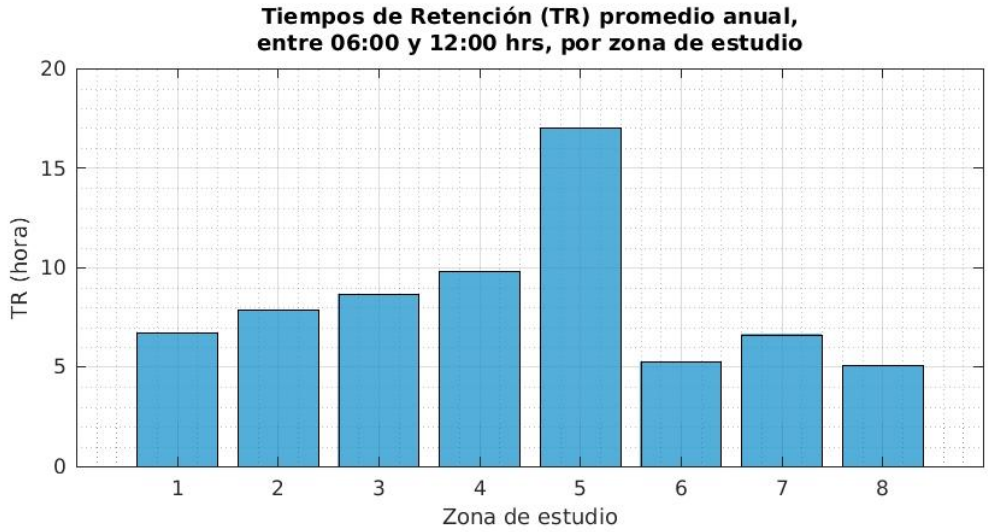


Figura 4.4-21: Tiempos de Retención (TR) promedio por zonas de estudio propuestas.

En la Figura 4.4-24 se adjunta la ubicación espacial del conjunto de registros de calidad química de agua y de sedimentos considerados en la integración de información, además de la ubicación de las áreas de estudio mencionadas anteriormente.

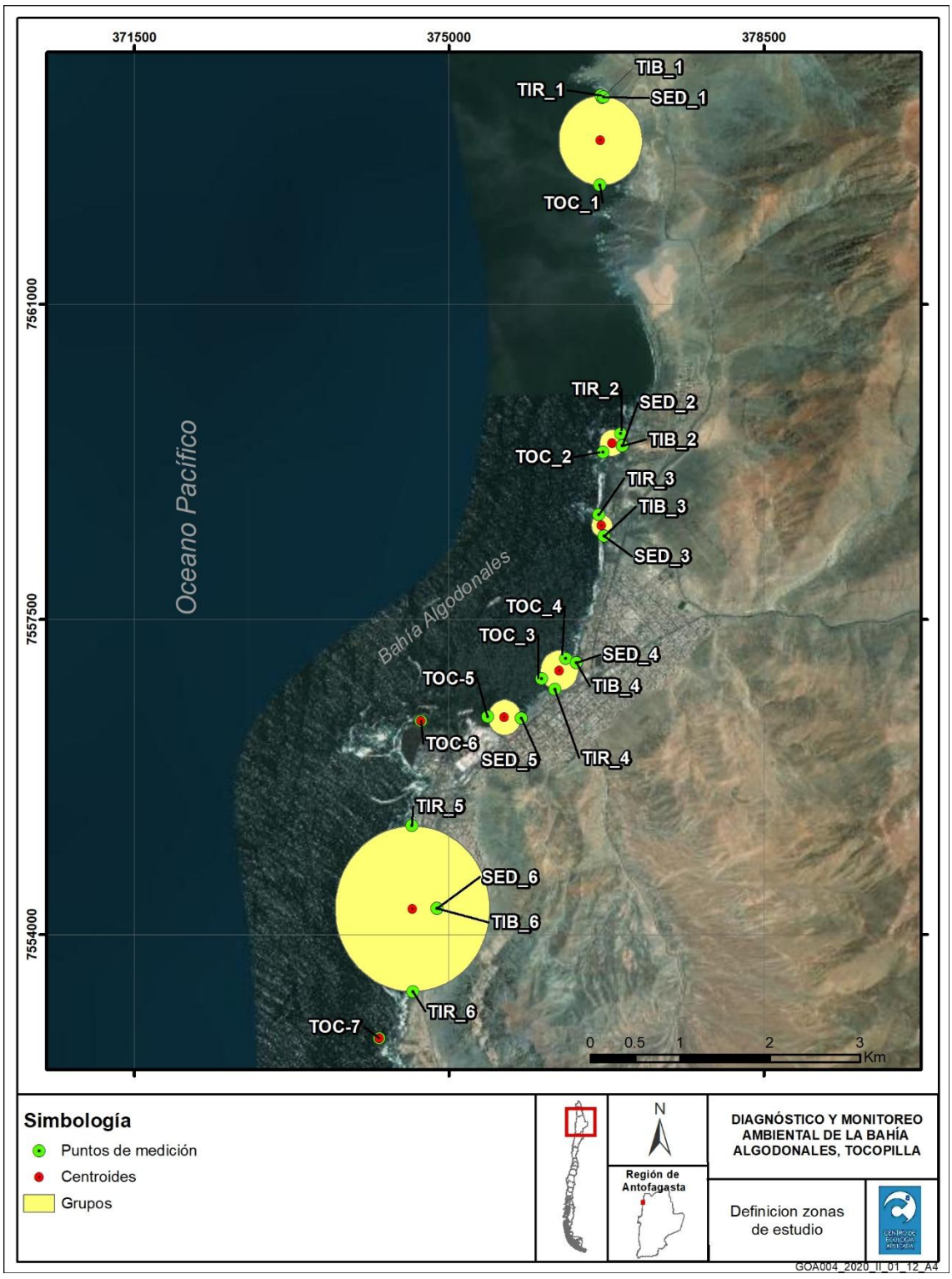


Figura 4.4-22: Puntos de muestreo del sistema de monitoreo integrado llevado a cabo en el presente estudio y las zonas de estudio.

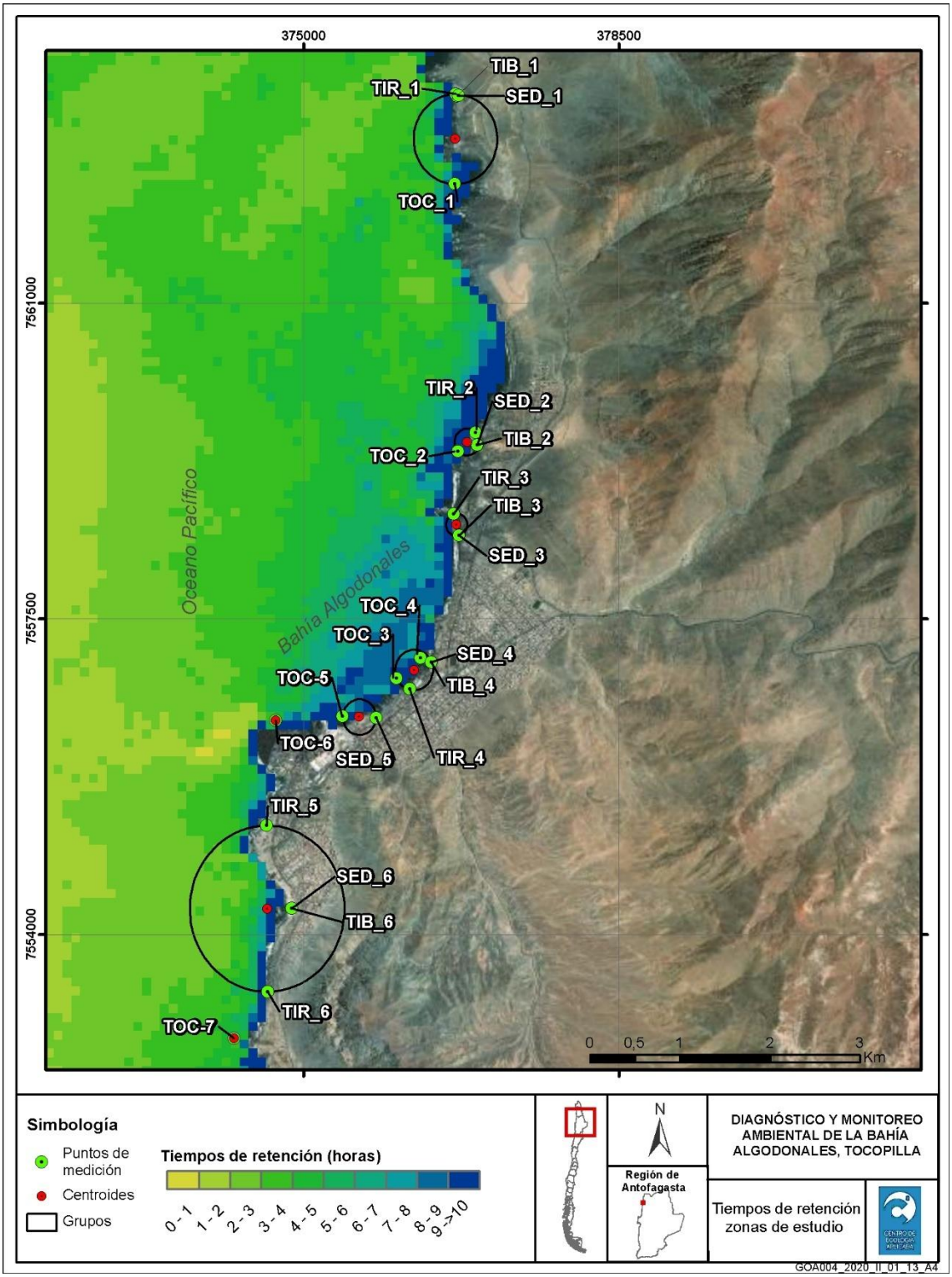


Figura 4.4-23:Tiempos de Retención en Bahía Algodonales obtenidos de la modelación numérica, en conjunto de los grupos de puntos considerados.

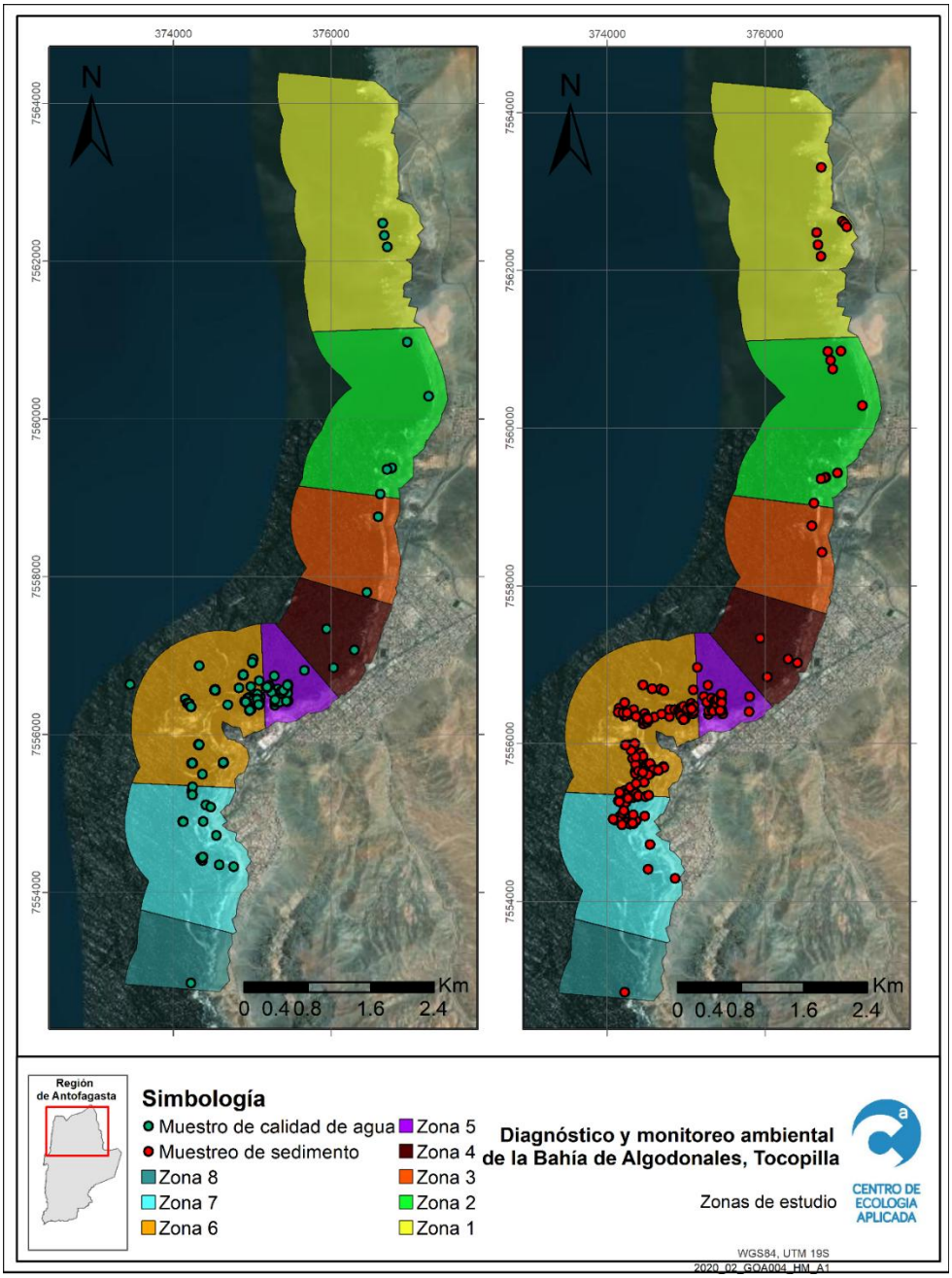


Figura 4.4-24: Puntos de monitoreo de calidad de agua y sedimento de los cuales se tiene información a partir del registro histórico o de campañas de monitoreo. Además, se destacan las zonas de estudio en bahía Algodonales consideradas.

A continuación, se describe la integración física de los componentes abióticos de manera general en la bahía, la integración fisicoquímica de los componentes abióticos e integración de los componentes bióticos por zona de estudio, y la caracterización de la descarga de flujos antrópicos a la bahía obtenidos del RETC. Con toda la información recopilada, se realizó una caracterización funcional del ecosistema.

4.4.2.1 Integración de la física de los componentes abióticos

Como parte de la revisión para la caracterización del sistema, se tiene que tanto la bahía Algodonales como otras bahías cercanas presentan un comportamiento (en esencia) similar. Esto se asocia a comportamientos hidrodinámicos similares y a fenómenos particulares como lo son la presencia de surgencias en la zona. El principal antecedente sobre la estructura térmica del sistema está dado por las mediciones y caracterización vertical de la columna de agua realizada por Aquacien (2016), en donde se describen perfiles de temperatura para las temporadas de invierno y verano del año 1993 en bahía Mejillones, la que se asume similar, considerando lo antes indicado. De los perfiles de la Figura 4.4-25 , se observa que en la temporada de invierno la temperatura es prácticamente uniforme, con un valor medio aproximado de 14.7°C en toda la vertical. Este valor es similar a los valores medios registrados en las campañas de invierno de 2018 y 2019 (Tabla 4.4-11) y para todos los perfiles registrados. En cuanto a la forma de los perfiles registrados, en la Tabla 4.4-11 se observan los valores medios en superficie y fondo, los que en algunos casos muestran diferencias de un par de grados entre la superficie y el fondo. Aun con ello, estas diferencias no dan cuenta de una estratificación del perfil en esta temporada.

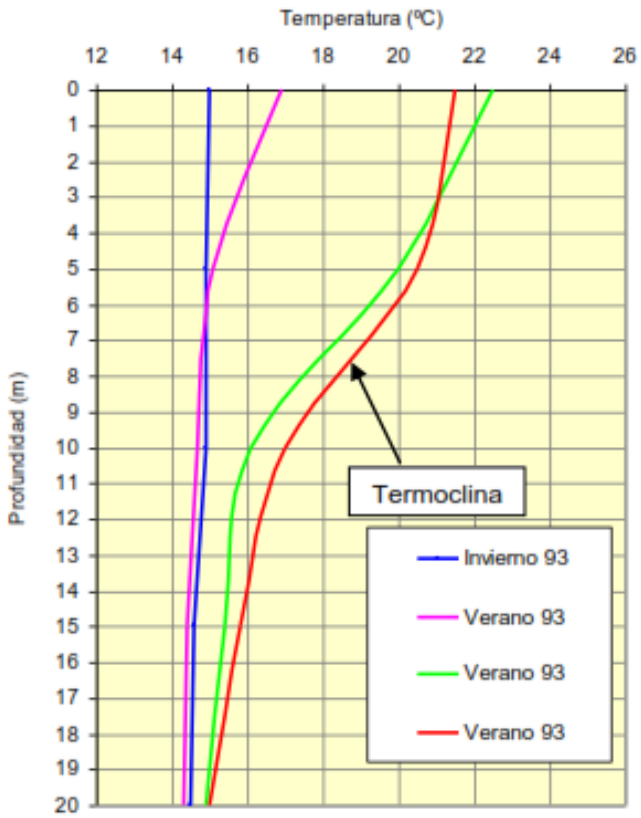


Figura 4.4-25: Perfiles de temperatura en Bahía Mejillones. (Fuente: Aquacien, 2016).

Tabla 4.4-11 .Valores medios por perfil de mediciones in situ registrados en las campañas de invierno en Bahía de Algodonales, para parámetros temperatura.

Punto de muestreo	Temperatura (Invierno 2018)	Temperatura (Invierno 2019)
	°C	°C
TOC1-S	14,50	14,96
TOC1-F	13,96	14,46
TOC2-S	14,18	15,01
TOC2-F	14,05	14,93
TOC3-S	15,39	15,14
TOC3-F	13,61	14,42
TOC4-S	16,23	15,28
TOC4-F	13,95	14,16
TOC5-S	14,75	16,48
TOC5-F	14,52	14,54
TOC6-S	14,69	14,97
TOC6-F	14,27	14,60
TOC7-S	14,77	14,59
TOC7-F	14,22	14,07

Los perfiles de temperatura en la Figura 4.4-26, no dan cuenta de la existencia de una estratificación clara, presentado diferencias de temperatura de algunos grados entre superficie y fondo. Estas formas del perfil y diferencias de temperaturas fueron descritas en uno de los perfiles de las mediciones de verano de 1993 de Aquacien (2016) (ver Figura 4.4-25). Con ello, se desprende que las condiciones de mezcla existentes durante las campañas de terreno desarrolladas entre el 2019 y 2020, correspondieron a condiciones de alta mezcla y circulación, lo cual no permite el desarrollo de la estratificación de temperaturas en la columna de agua.

En la Figura 4.4-26, solo se puede apreciar una leve estratificación en 2 puntos de monitoreo. Estos corresponden al punto TOC-4 en invierno de 2018 y al punto TOC-5 en invierno de 2019 y verano de 2020. Estos puntos se ubican en una zona más resguardada de la bahía (ver Figura 4.2 1), que según la modelación hidrodinámica, está caracterizada por menores velocidades de corriente (Figura 4.4-10), teniendo como consecuencia mayor tiempo de residencia (Figura 4.4-11) y por tanto menor flujo de energía. Debido a esta menor exposición a las corrientes oceánicas, localmente se puede generar cierta estratificación.

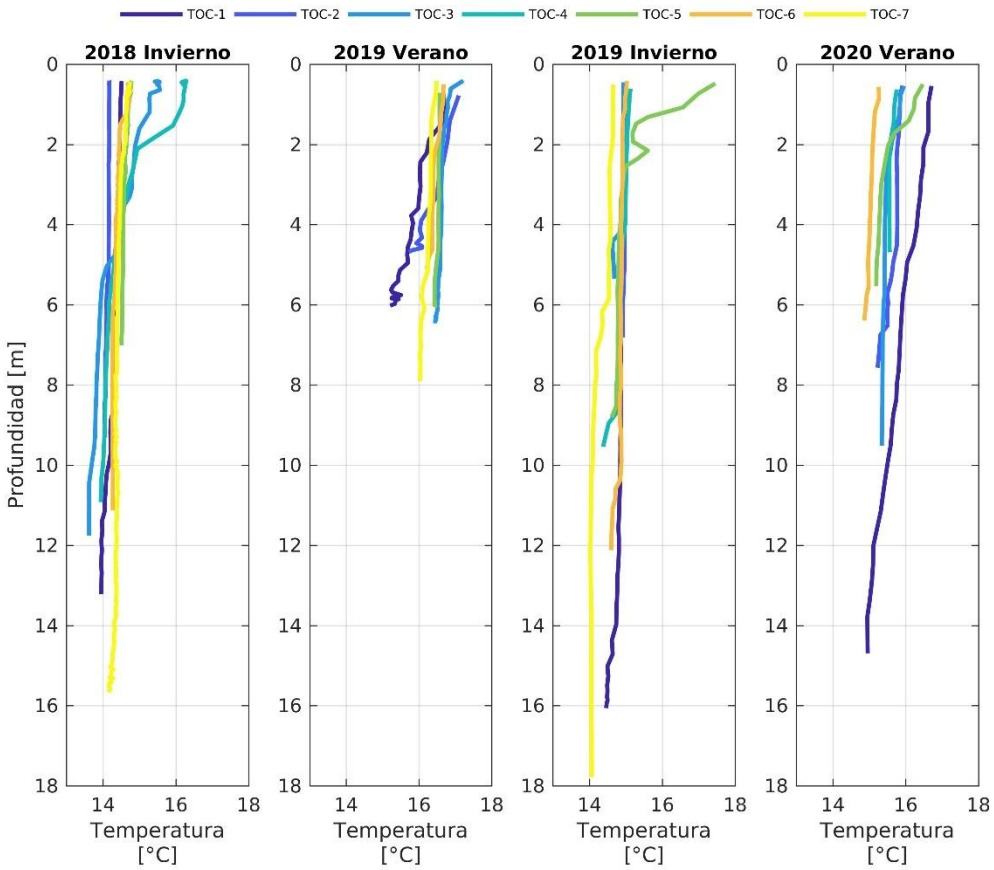


Figura 4.4-26: Perfiles de temperatura en Bahía Algodonales registrados durante todas las campañas de monitoreo realizadas.

4.4.2.1 Batimetría

La batimetría del área de estudio presenta una profundidad con la misma forma que el borde costero, encontrándose las menores profundidades en las cercanías de la costa. No se sobrepasan los 50 metros de profundidad hasta una distancia de 1 km hacia mar adentro. Unos 3 a 5 kilómetros mar adentro se presentan profundidades incluso mayores a 150 metros (ver Figura 4.4-27).

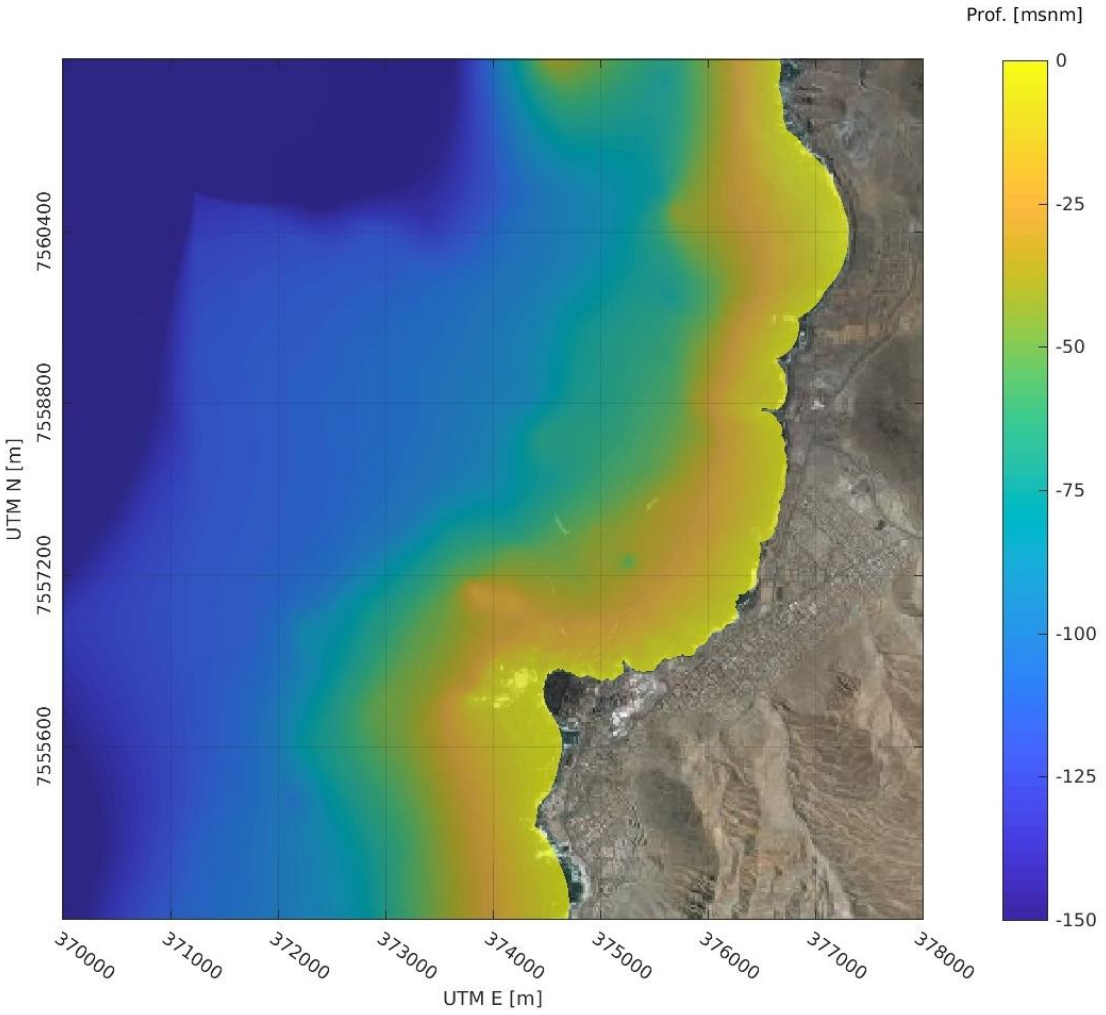


Figura 4.4-27 Batimetría de la Bahía Algodonales. *Fuente: Elaboración propia con información cartográfica del SHOA.*

Al observar en mayor detalle la batimetría del borde costero, tal como se grafica en la Figura 4.4-28, se observa que en las cercanías de la coordenada UTM 7562384 m norte, existe un montículo en el fondo, el cual hacia mar adentro aumenta la profundidad abruptamente.

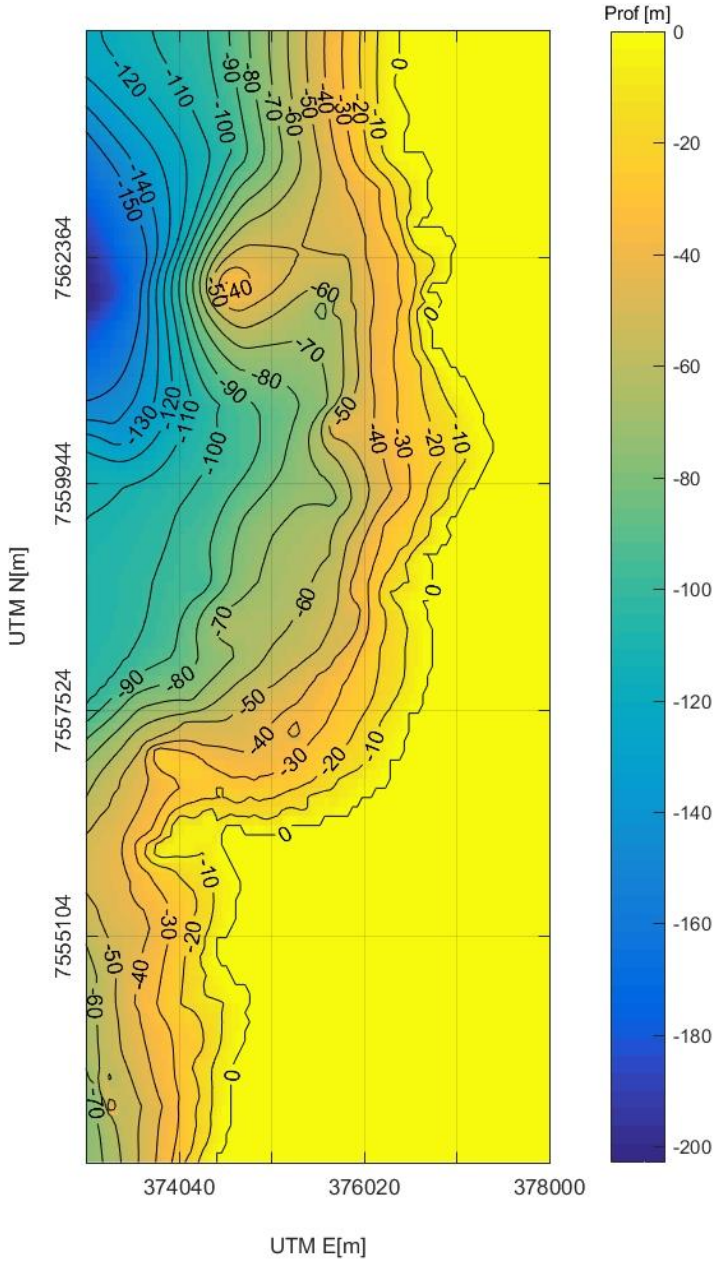


Figura 4.4-28 Batimetría de la Bahía Algodonales. *Fuente: Elaboración propia con información cartográfica del SHOA.*

4.4.2.1.1 Meteorología

En el capítulo 4.4.1.4.4 del presente informe, se realiza un análisis más detallado de la meteorología del área de estudio enfocada en la consideración de las condiciones de borde adoptadas en el modelo hidrodinámico. A modo de caracterizar los datos anteriores, en la Tabla 4.4-12, se presentan los valores máximos, mínimos y promedios de la presión atmosférica, temperatura del aire, humedad relativa y radiación. Los valores son obtenidos principalmente de la estación meteorológica de DIRECTEMAR, instalada en Capitanía de Puerto de Tocopilla.

Tabla 4.4-12 .Valores máximos, mínimos y promedios de los parámetros meteorológicos.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Promedio
Presión atmosférica	hPa	1006,5	1022,2	1013,7
Temperatura del aire	°C	11,7	27,7	18,3
Humedad relativa	%	45	100	75,2
Radiación de onda corta	W/m^2	600	1083,5	

Respecto a las precipitaciones, se presentan escasamente, dentro de las cuales se destacan dos eventos de precipitación de 3,0 mm/d en verano y 3,8 mm/d en otoño, en la serie analizada entre 2018 y 2019

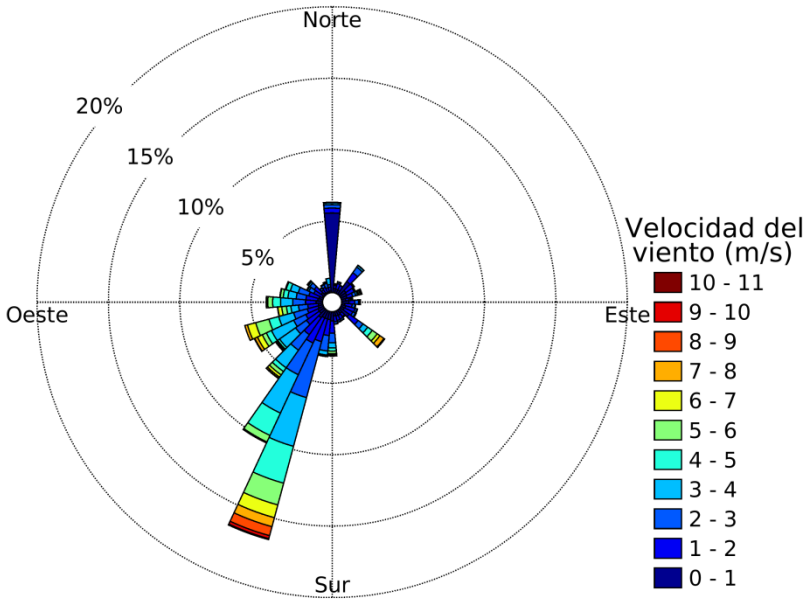


Figura 4.4-29 Rosa de vientos en Tocopilla, del 01-08-2018 al 01-08-2019. Barras indican procedencia del viento. *Fuente: Elaboración propia con datos* de la estación meteorológica de DIRECTEMAR, instalada en Capitanía de Puerto de Tocopilla)

El valor promedio de la serie de vientos es 2,5 m/s y se alcanza un máximo de 10,8 m/s, en el periodo entre el 01/08/2018 y el 01/08/2019. Se observa una predominancia de los

vientos provenientes del suroeste, tal como se observa en la rosa de los vientos de la Figura 4.4-29.

4.4.2.1.2 Oceanografía

Al observar los datos obtenidos de la modelación se observa que hacía mar adentro, las velocidades de corrientes tienen una predominancia en dirección norte y nornoreste. Estas direcciones coinciden con la dirección preferente del viendo desde el suroeste (Figura 4.4-30).

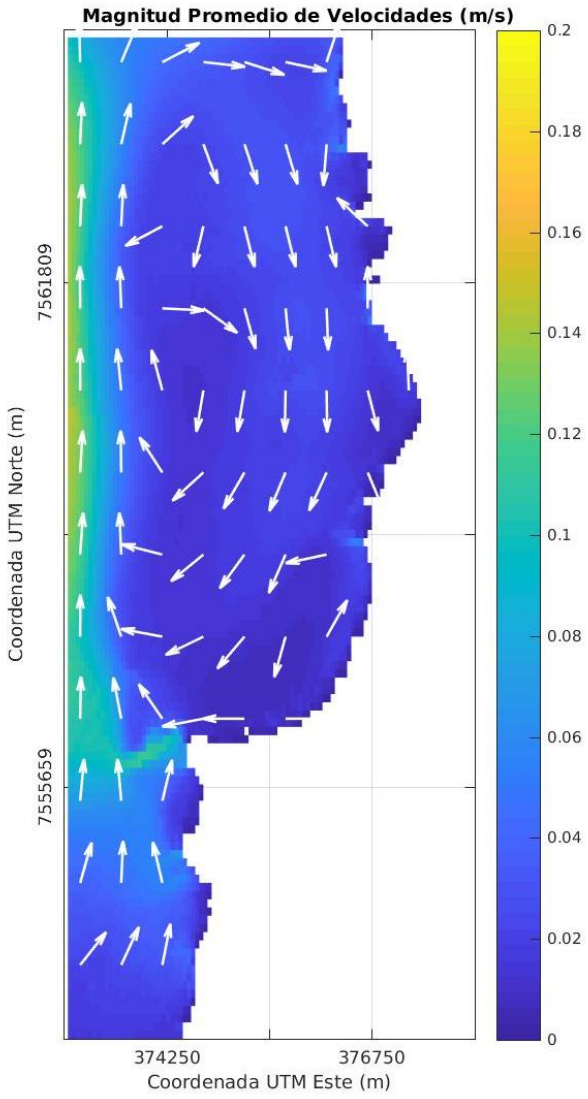


Figura 4.4-30 Patrón de circulación promedio obtenido de la modelación numérica de la bahía Algodonales.
Fuente: Elaboración propia.

Las corrientes hacia el norte, al acercarse a la bahía Algodonales, entran a ésta generándose una recirculación en sentido horario con menores magnitudes que en alta mar. En

particular, en el sector de Punta Algodonales se forma un aumento de las magnitudes de velocidad localmente dada la morfología del lugar.

4.4.2.2 Integración de la fisicoquímica de los componentes abióticos

4.4.2.2.1 Columna de agua

Para el análisis de los registros de concentración de los distintos parámetros de interés en la matriz de agua, se consideraron diagramas de "caja y bigote" (*box and whiskers* en inglés) que agrupan los registros por año según las fechas de medición. Este tipo de gráficos muestran la distribución de una variable usando cuartiles, de modo que de manera visual se pueda inferir características de la dispersión, ubicación y simetría de los datos. Si el total de registros corresponde a "N" valores, ordenados de menor a mayor, los cuartiles considerados quedan definidos por las posiciones N/4, N/2 y 3N/4 respectivamente. Luego, la gráfica es tal que las "cajas" quedan definidas por los cuartiles 25% y 75% (N/4 y 3N/4), donde el valor de la mediana, representado por un círculo con un punto azul en su interior, toma el valor de la posición 50% (N/2). Los bigotes, o líneas de menor grosor que la caja en este desarrollo, representan los valores extremos de los registros considerados, siempre y cuando no sean catalogados como *"outliers"* o valores atípicos. Los valores atípicos quedan definidos cuando están fuera de tres veces la desviación absoluta escalada de la mediana (DAM_c), y se representan como un círculo vacío, donde:

$$DAM_c = c \cdot mediana(|A_i - mediana(A)|)$$

$$c = -\frac{1}{\sqrt{2} \cdot erfcinv\left(\frac{3}{2}\right)}$$

$$erfcinv = función\ error\ inversa\ complementaria$$

Para poder comparar espacialmente los registros obtenidos para las distintas componentes en las zonas de estudio, se consideraron todos los datos dentro de cada uno de los polígonos para el periodo de estudio considerado, graficando los diagramas de "caja y bigote" para cada estrato, intermareal y submareal, y zona de estudio.

Adicionalmente, para poder conocer la significancia de los registros considerados en este análisis, se utilizaron los mismos niveles de referencia usados en el desarrollo llevado en el Objetivo Específico 1 del presente estudio (acápite 4.1). Así, las normativas utilizadas para agua y sus criterios son los siguientes:

- Decreto Nº 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 4.4-13 muestra los valores referenciales utilizados para comparar los parámetros de calidad ambiental del agua marina.

Tabla 4.4-13 Normativa nacional e internacional utilizada para contrastar los parámetros de calidad ambiental del agua marina en bahía Algodonales

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

Parámetros	Unidad	DS N°144, 2009	EPA, 2009 (US)		CCME, 2007 (Canadá)	Australia and New Zealand Environment, 2000
			CMC (Agudo)	CCC (Crónico)		
Heptacloro Epóxido	µg/L	-	0	0	-	-
Lindano	µg/L	-	0	-	-	-
Paratión	µg/L	-	-	-	-	-
Cobre disuelto	µg/L	-	5	3	-	0
Cromo Total	µg/L	550	-	-	-	-
Níquel disuelto	µg/L	-	74	8	-	7
Selenio disuelto	µg/L	-	290	71	-	-
Zinc disuelto	µg/L	-	90	81	-	7
Aluminio disuelto	µg/L	-	-	-	-	-
Estaño disuelto	µg/L	-	-	-	-	-
Mercurio disuelto	µg/L	11	2	1	-	-
Plomo Disuelto	µg/L	110	210	8	-	2
Cromo Trivalente disuelto	µg/L	-	-	-	56	8
Cromo Hexavalente	µg/L	-	1.100	50	2	0
Arsénico disuelto	µg/L	110	69	36	13	-
Cadmio disuelto	µg/L	33	40	9	0	1
Mercurio Inorgánico disuelto	µg/L	-	-	-	0	0
Coliformes Fecales	NMP $100mL^{-1}$	1.000	-	-	-	-
Coliformes Totales	NMP $100mL^{-1}$	-	-	-	-	-
Naftaleno	µg/L	-	-	-	1	50
Aldicarb	µg/L	-	-	-	0	-
Benceno	µg/L	-	-	-	110	500
Carbaril	µg/L	-	-	-	0	-
Monoclorobenceno	µg/L	-	-	-	25	-
1,2 -Diclorobenceno	µg/L	-	-	-	42	-
1,2,4 Triclorobenceno	µg/L	-	-	-	5	20
Clorotalonil	µg/L	-	-	-	0	-
Clorpirifos	µg/L	-	-	-	0	0
Etilbenceno	µg/L	-	-	-	25	-
MTBE	µg/L	-	-	-	5.000	-
Nitrato	µg/L	-	-	-	16.000	-
Tributilestaño	µg/L	-	-	-	0	-
La Permetrina	µg/L	-	-	-	0	-
Tolueno	µg/L	-	-	-	215	-
Plata	µg/L	-	2	-	-	1
α-Endosulfan	µg/L	-	0	0	-	-
β-Endosulfan	µg/L	-	0	0	-	-

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

4.4.2.2.1.1 Perfiles de parámetros fisicoquímicos (sonda CTD)

A continuación, se presentan los gráficos de conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial Redox y turbidez, obtenidos de las 4 las campañas de monitoreo realizadas por CEA S.A. Además, en la Figura 4.4-26 se pueden observar los datos de temperatura.

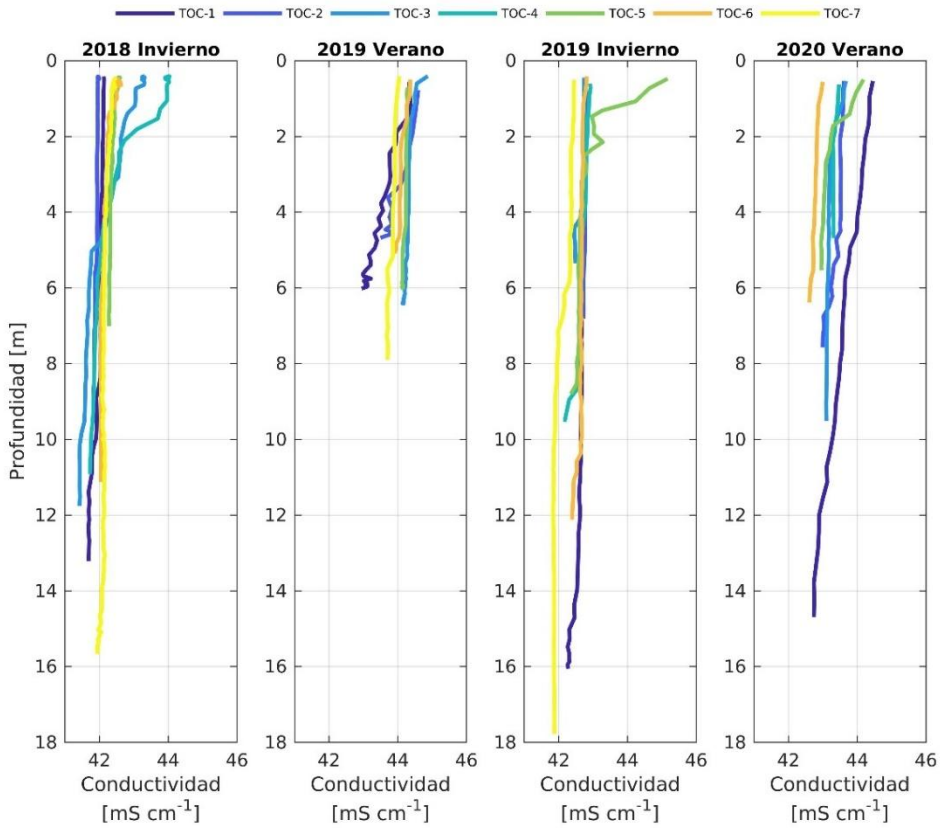


Figura 4.4-31: Conductividad eléctrica en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en todas las campañas de monitoreo realizadas.

Respecto a la conductividad eléctrica, según la Figura 4.4-31, se observa que en superficie llega a valores máximos cercanos a los 45 mS/cm, mientras que hacia las zonas profundas este valor es de aproximadamente 42 mS/cm. En verano se tiene diferencias más abruptas entre los primeros 2 metros de profundidad y las zonas más profundas. Al comparar los datos de la conductividad con los de temperatura se puede notar una fuerte dependencia (Figura 4.4-31 y Figura 4.4-26).

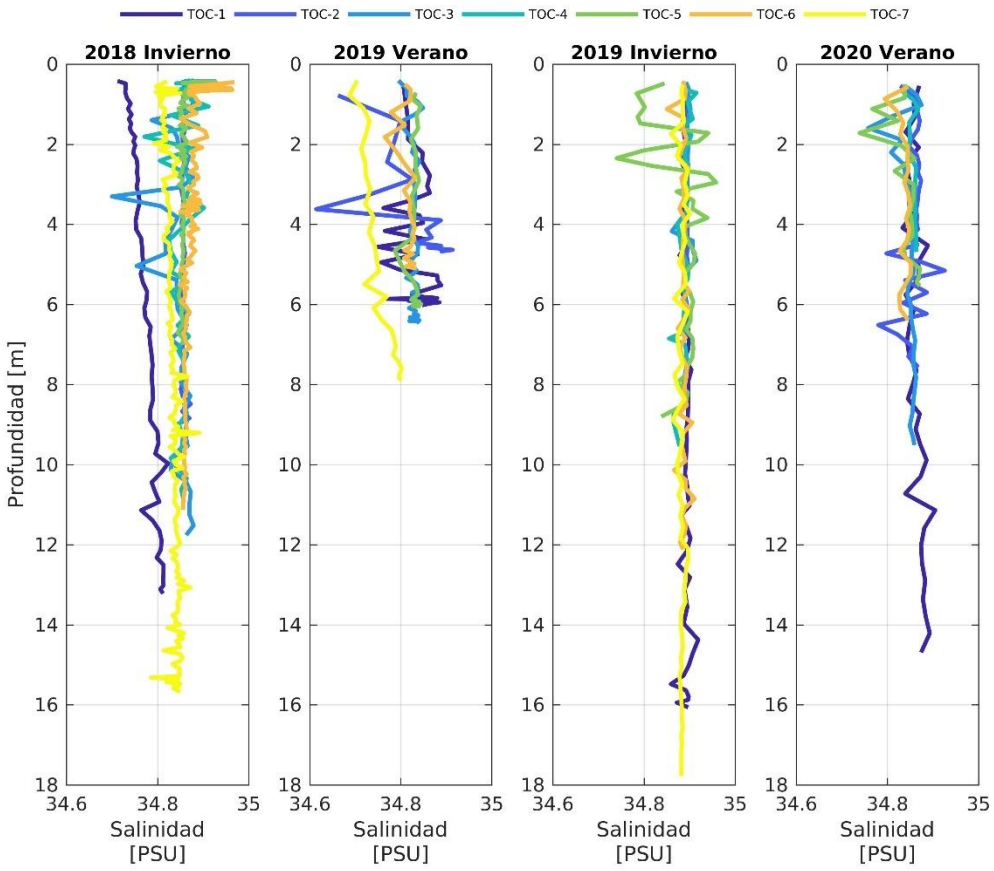


Figura 4.4-32: Salinidad en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en todas las campañas de monitoreo realizadas.

Al analizar los datos de salinidad presentados en la Figura 4.4-32, se observa un comportamiento bastante errático, sin embargo, los valores son bastante similares en toda la profundidad de la columna de agua y a lo largo de las diferentes campañas de terreno. Todos los datos se encuentran entre los 34,6 PSU y 35,0 PSU, que son valores característicos en agua de mar.

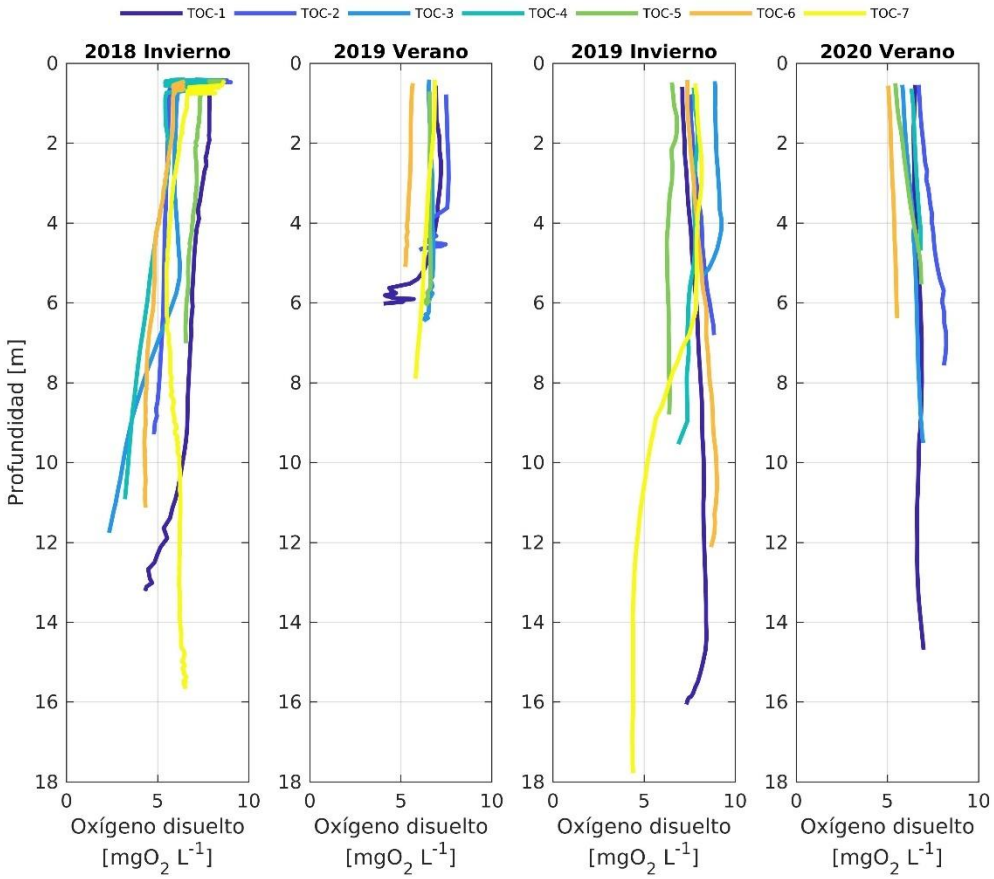


Figura 4.4-33: Oxígeno disuelto en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en todas las campañas de monitoreo realizadas.

El oxígeno disuelto en la columna de agua, según la Figura 4.4-33, presenta un patrón de comportamiento similar en todas las campañas. Con valores relativamente uniformes en la vertical, con magnitudes concentradas entre 5 y 8 mg/L. En algunos puntos se observa que a mayores profundidades disminuye la concentración.

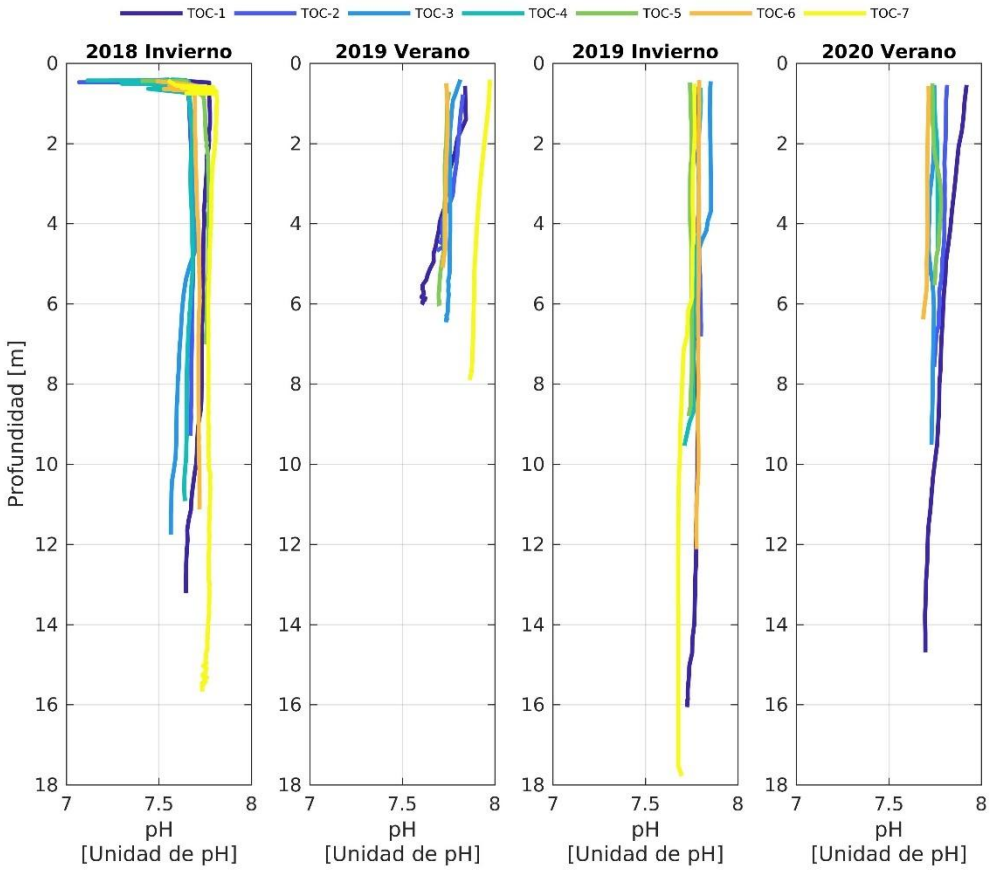


Figura 4.4-34: pH en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en todas las campañas de monitoreo realizadas.

Tal como se observa en la Figura 4.4-34, el pH de la columna de agua presenta un patrón de comportamiento similar en todas las campañas. Con valores relativamente uniformes en la vertical, con magnitudes concentradas entre 7,5 y 8 unidades, lo cual indica un pH que varía de neutro a moderadamente alcalino.

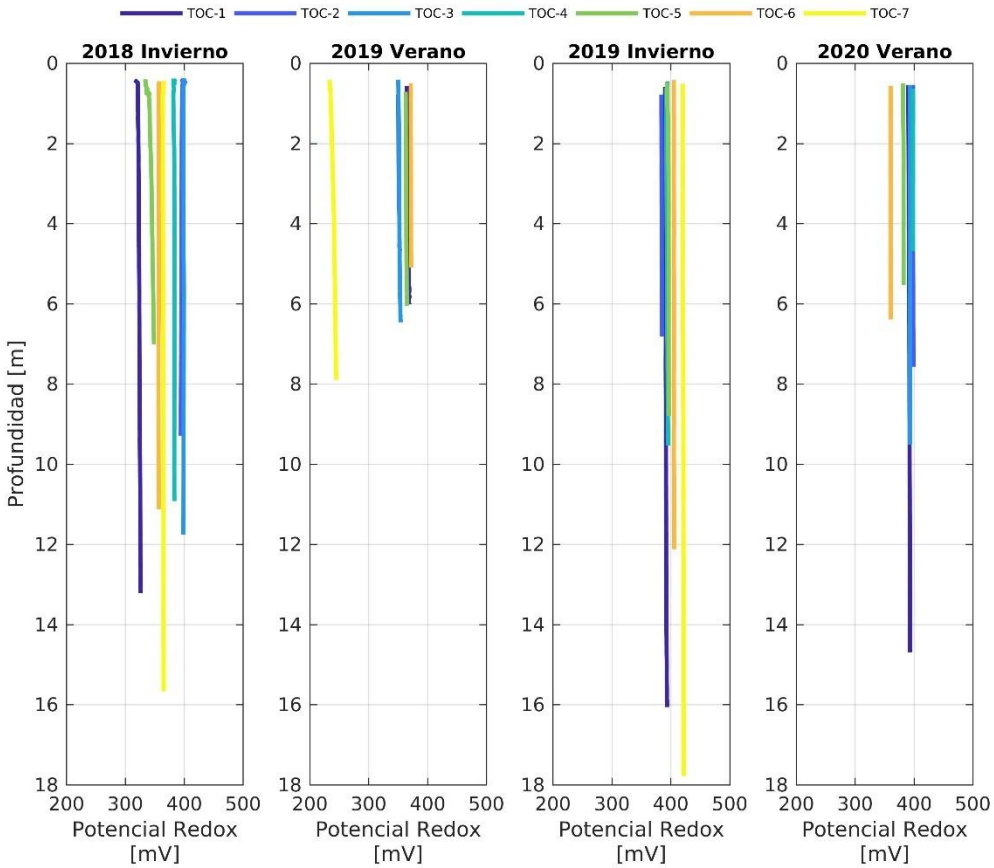


Figura 4.4-35: Potencial Redox en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en todas las campañas de monitoreo realizadas.

Respecto al potencial redox en la columna de agua (ver Figura 4.4-35), se tienen valores prácticamente sin variación a medida que aumenta la profundidad. En general se presentan valores entre los 300 y 400 mV, exceptuando el punto TOC-7 en la campaña de verano de 2019, que presenta valores de aproximadamente 240 mV. No obstante, son valores característicos de sistemas que favorecen las reacciones de oxidación.

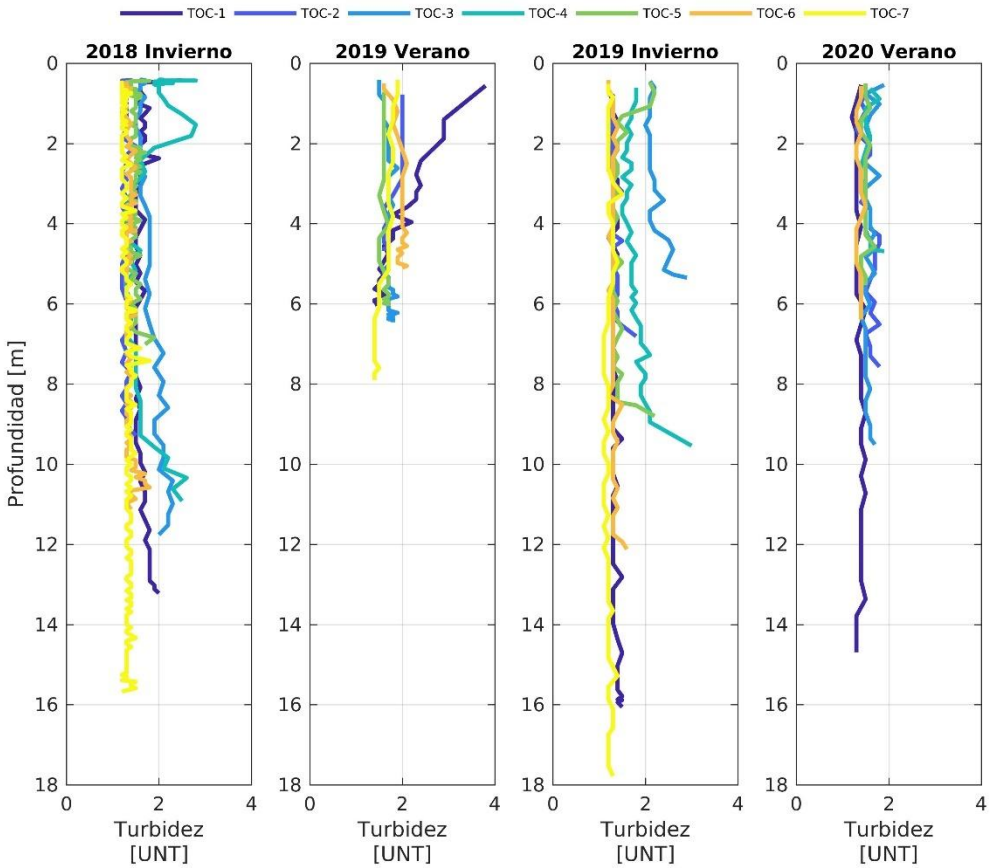


Figura 4.4-36: Turbidez en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía. Datos obtenidos de la medición con CTD en todas las campañas de monitoreo realizadas.

Por último, la turbidez en la columna de agua, graficada para las distintas campañas realizadas en la Figura 4.4-36, presentan valores que en general no superan los 2 UNT. Los casos en que se sobrepasa este valor corresponden a valores de la capa superficial (menor a 2 m) y zonas cercanas al fondo de cada punto de monitoreo. En algunos casos la mayor turbidez en el fondo puede deberse al contacto de la estructura del equipo CTD con el sedimento de fondo.

4.4.2.2.1.2 Contenido de metales en la matriz de agua

i. Arsénico disuelto

En la Figura 4.4-38 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de arsénico disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Se destaca en todas las zonas de estudio los menores valores de concentración de este parámetro respecto a los obtenidos en los años anteriores. Además, se destaca que, en todas las zonas de estudio con registros del parámetro, los valores estuvieron bajo los niveles de referencia considerados. El cambio en los órdenes de magnitud de concentración se debe a un cambio en el límite de detección de los laboratorios considerados.

En la Figura 4.4-37 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de arsénico disuelto en agua en las distintas zonas de estudio para el periodo comprendido entre los años 2010-2020. Al ser un compendio de la información mostrada en la Figura 4.4-38, se destaca que todos los registros están bajo los niveles de referencia considerados. En cuanto a los valores medios observados (circulo blanco con punto azul en su interior), en las zonas 2 y 5 fueron mayores debido a que el número de registros en ellas fue superior al de las demás zonas, siendo estos los obtenidos con un límite de detección superior.

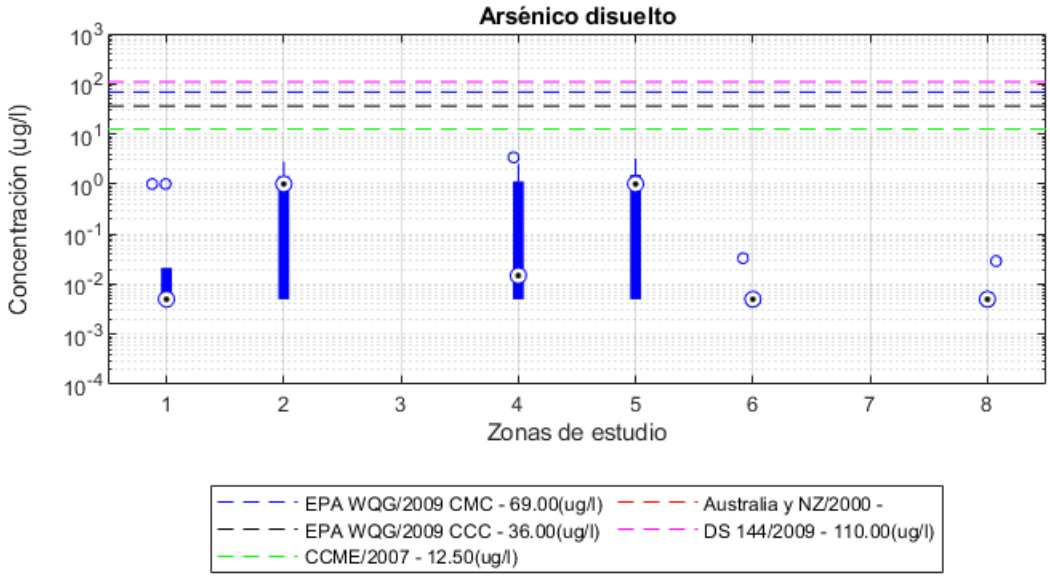


Figura 4.4-37: Diagramas de caja de concentración de arsénico disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

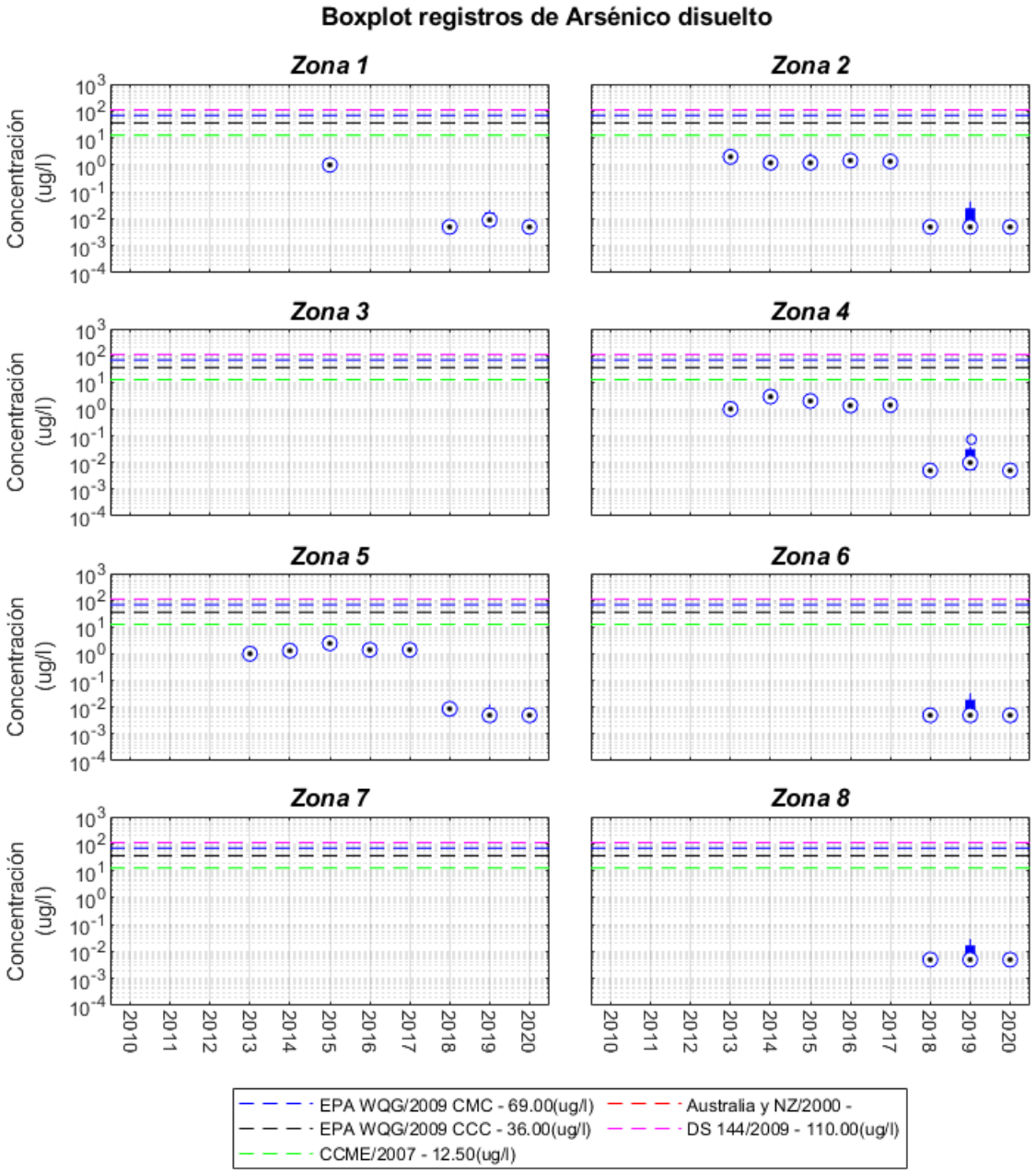


Figura 4.4-38: Gráfico de caja y bigote de los registros de arsénico disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

ii. Cadmio disuelto

En la Figura 4.4-40 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de cadmio disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. El periodo comprendido entre los años 2010 y 2012, tiene registros con límite de detección de 0,05 ug/l. En este periodo se destaca que todas las concentraciones se encontraron bajo los niveles de referencia utilizados. Para el periodo comprendido entre los años 2013 y 2020,

los resultados de laboratorio tuvieron un límite de detección sobre 1 ug/l. Luego, los registros para este periodo estuvieron todos bajo el límite de detección, por lo que solo se puede decir con certeza que las concentraciones estuvieron bajo los límites de referencia establecidos por EPA WQG/2009 CMC (40 ug/l), EPQ WQG CCC (8 ug/l) y el DS 144/2009 (33 ug/l).

En la Figura 4.4-39 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de cadmio disuelto en agua en las distintas zonas de estudio para el periodo comprendido entre los años 2010-2020. Se destaca el mismo comportamiento descrito para la Figura 4.4-40, donde los valores medios (círculos blancos con puntos azules) quedaron definidos por los registros de concentración con límite de detección de 1 ug/l.

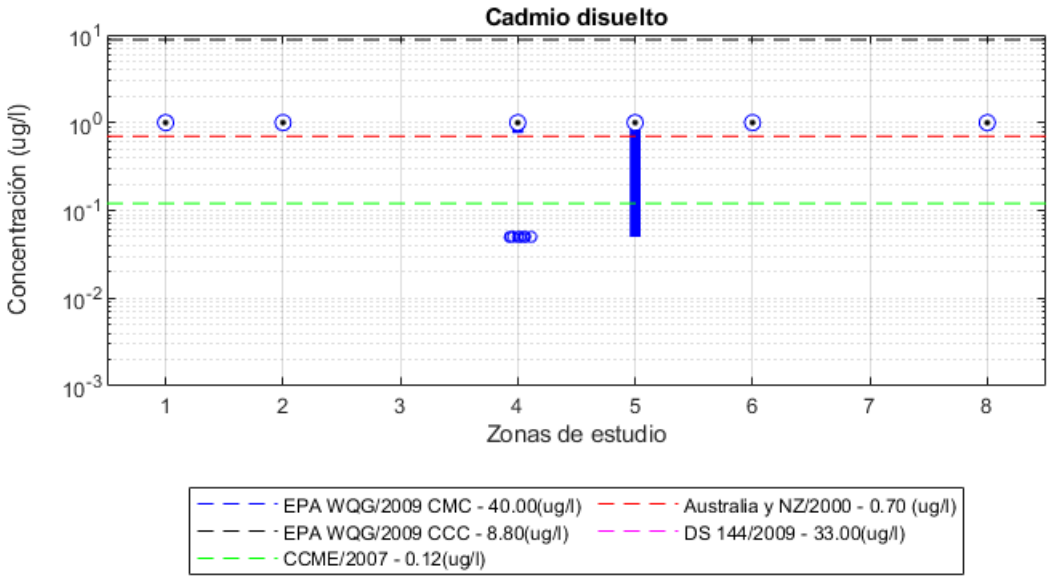


Figura 4.4-39: Diagramas de caja de concentración de arsénico disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

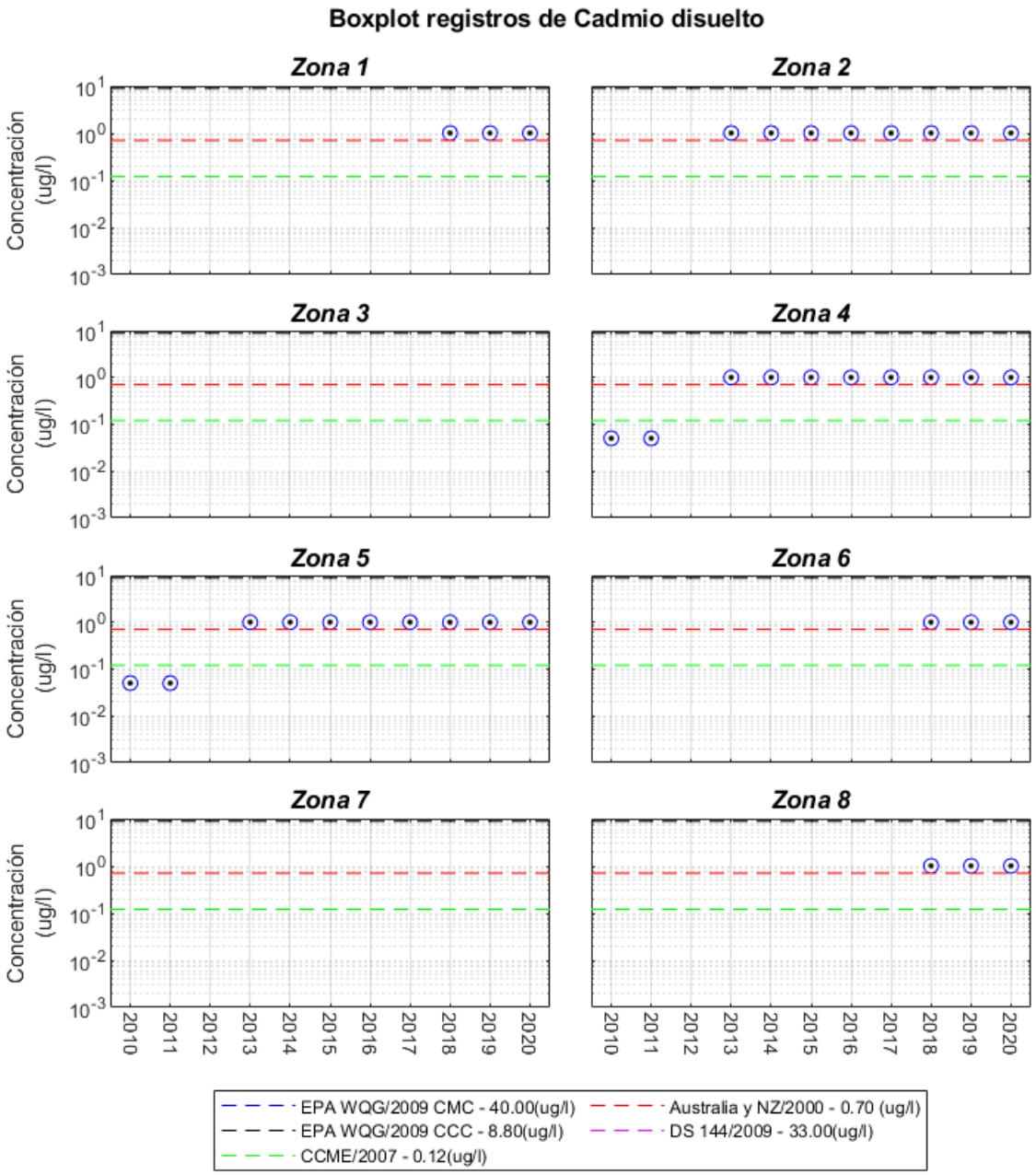


Figura 4.4-40: Gráfico de caja y bigote de los registros de cadmio disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

iii. Cobre disuelto

En la Figura 4.4-42 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de cobre disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Se destaca que en los últimos 3 años en las zonas de estudio 1, 5, 6 y 8, los registros estuvieron bajo el límite de detección de 3 ug/l, estando bajo los niveles de referencia de la EPA

WQG/2009 CMC y CCC (4,8 ug/l y 3,1 ug/l respectivamente). Debido a que el resto de los registros tuvieron como límites de detección 0,05 ug/l y 1 ug/l, en las zonas de estudio 2, 4 y 5 se observan valores oscilantes con aumentos y disminuciones en el tiempo.

En la Figura 4.4-41 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de cobre disuelto en agua en las distintas zonas de estudio para el periodo comprendido entre los años 2010-2020. Se observa que los valores medios estuvieron bajo los niveles de referencia de la EPA CMC y CCC, mientras que la zona de estudio con los mayores valores de concentración registrados fue la zona 4, con registros de concentración sobre todos los niveles de referencia considerados.

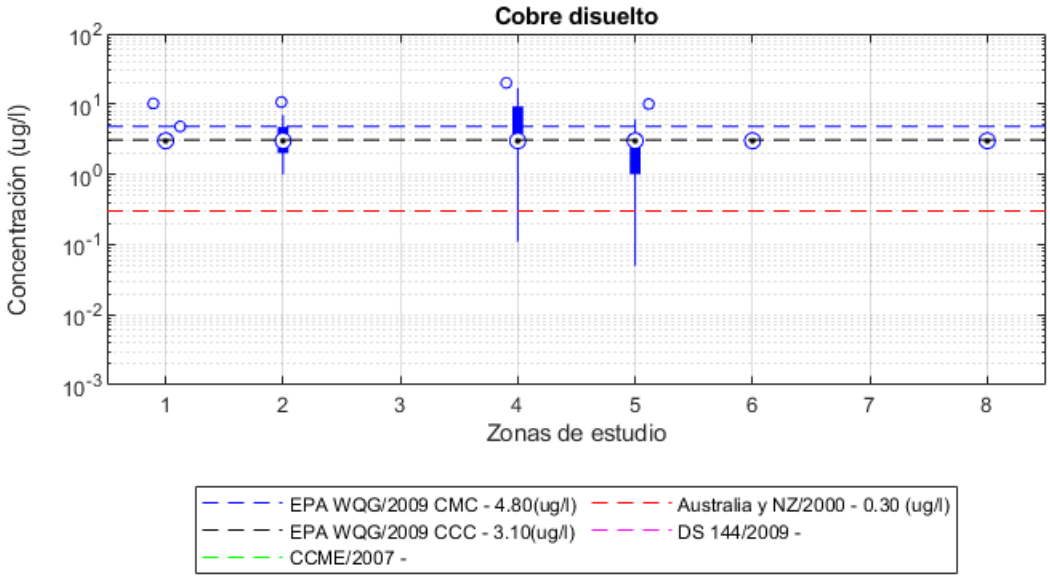


Figura 4.4-41: Diagramas de caja de concentración de cobre disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

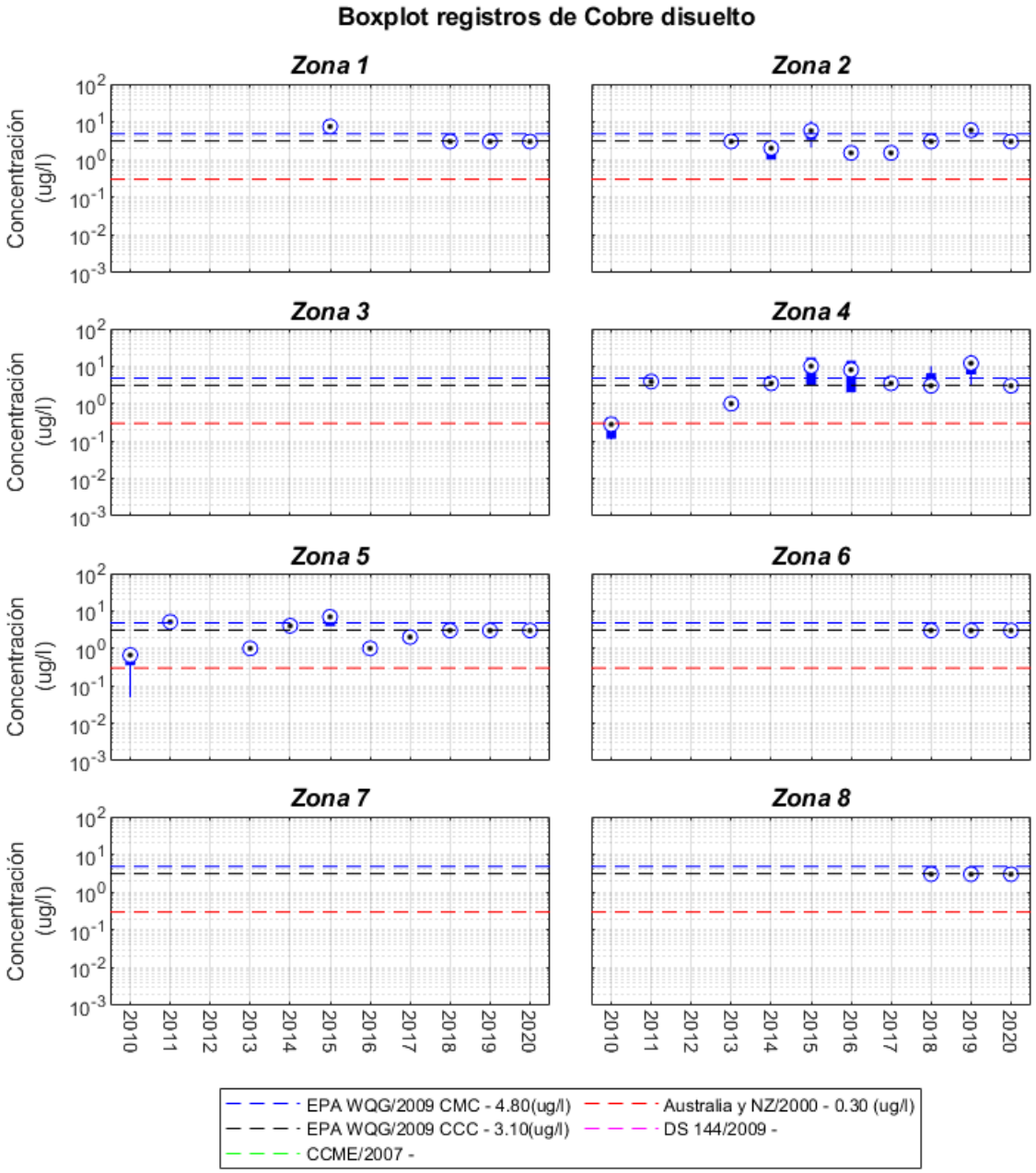


Figura 4.4-42: Gráfico de caja y bigote de los registros de cobre disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

iv. Cromo disuelto

En la Figura 4.4-44 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de cromo disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Se destaca que, en los últimos 3 años de registro, todas las zonas de estudio estuvieron bajo

el límite de detección de 2 ug/l. Las zonas de estudio 4 y 5 tuvieron registros para los años 2010 y 2011 bajo un límite de detección de 0,05 ug/l.

En la Figura 4.4-43 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de cromo disuelto en agua en las distintas zonas de estudio para el periodo comprendido entre los años 2010-2020. Se destaca que el valor medio de concentración (circulo blanco con punto azul en el centro) es de 2 ug/l para todas las zonas de estudio, a excepción de la zona 5, en la cual se presentaron más registros con el límite de detección inferior. Así, el comportamiento general de la bahía es el de tener concentraciones de cadmio disuelto bajo los límites de detección.

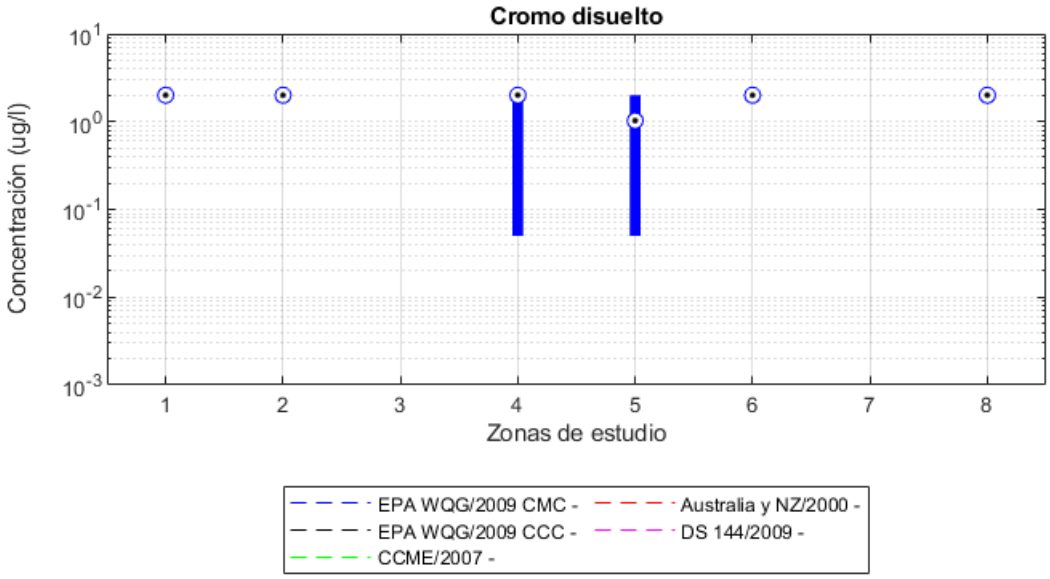


Figura 4.4-43: Diagramas de caja de concentración de cromo disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

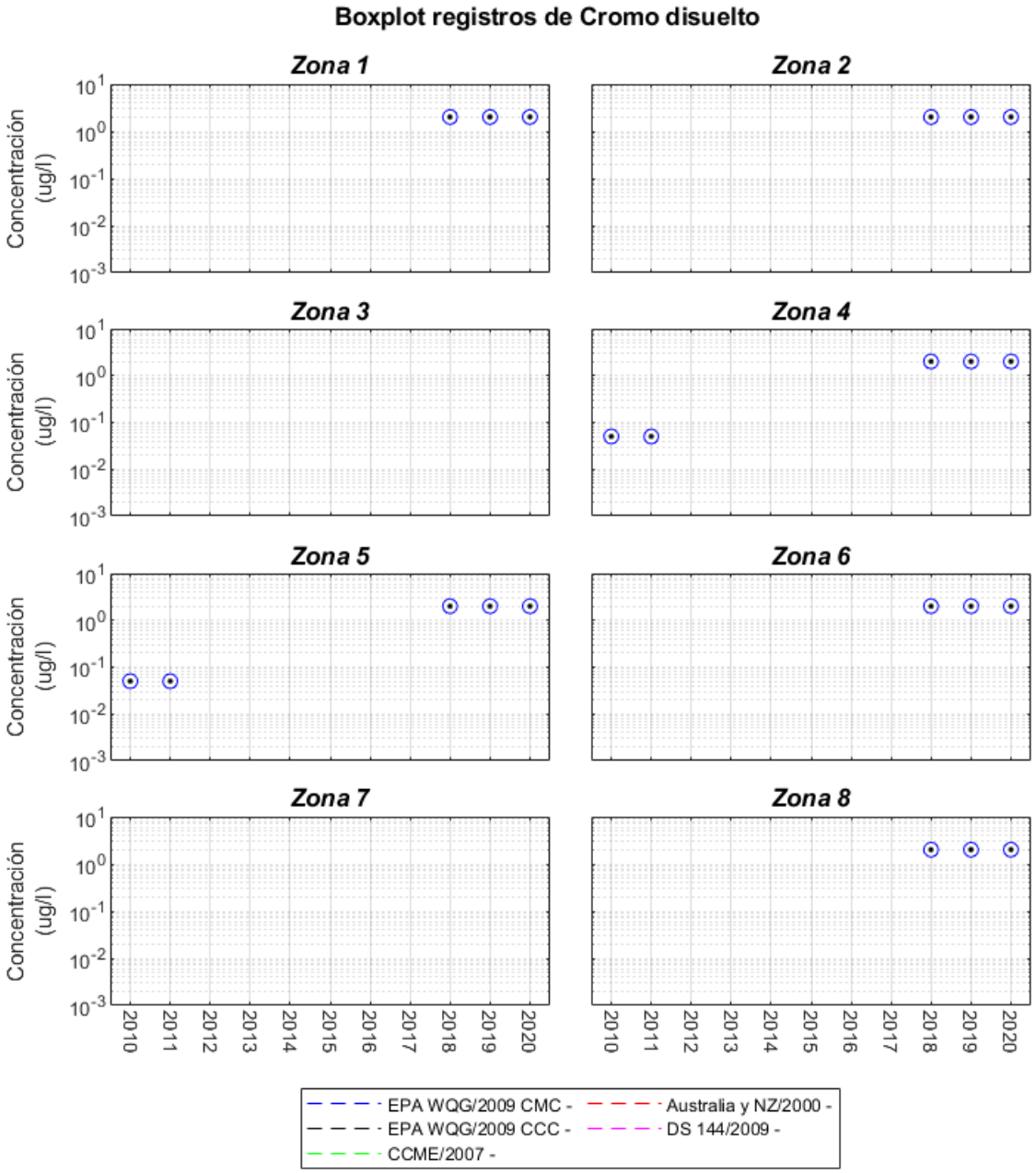


Figura 4.4-44: Gráfico de caja y bigote de los registros de cromo disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

v. Hierro disuelto

En la Figura 4.4-46 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de hierro disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Se destaca que en el periodo 2018-2020, todas las zonas de estudio presentaron valores medios de concentración bajo los 10,00 ug/l, con tendencias temporales de disminución en

las zonas 2 y 5. Las zonas de estudio 1 y 2 presentaron elevados valores de concentración en el año 2015, correspondiente al año donde ocurrió el evento de aluvión que llevó material sólido desde el sector con altitud positiva hacia la costa. En la zona 4 se observó una alta variabilidad en la concentración del año 2020, donde se obtuvieron concentraciones de hasta 28,62 ug/l.

En la Figura 4.4-45 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de hierro disuelto en agua en las distintas zonas de estudio para el periodo comprendido entre los años 2010-2020. Se destaca que el mayor valor de concentración media fue en la zona de estudio 2 con aproximadamente 4,5 ug/l de hierro disuelto. Se observa también que los rangos de registros de concentración son similares entre las zonas de estudio 2 y 5, y 4 y 8 (barras azules). Para este componente, las referencias consideradas no presentaron valores límites.

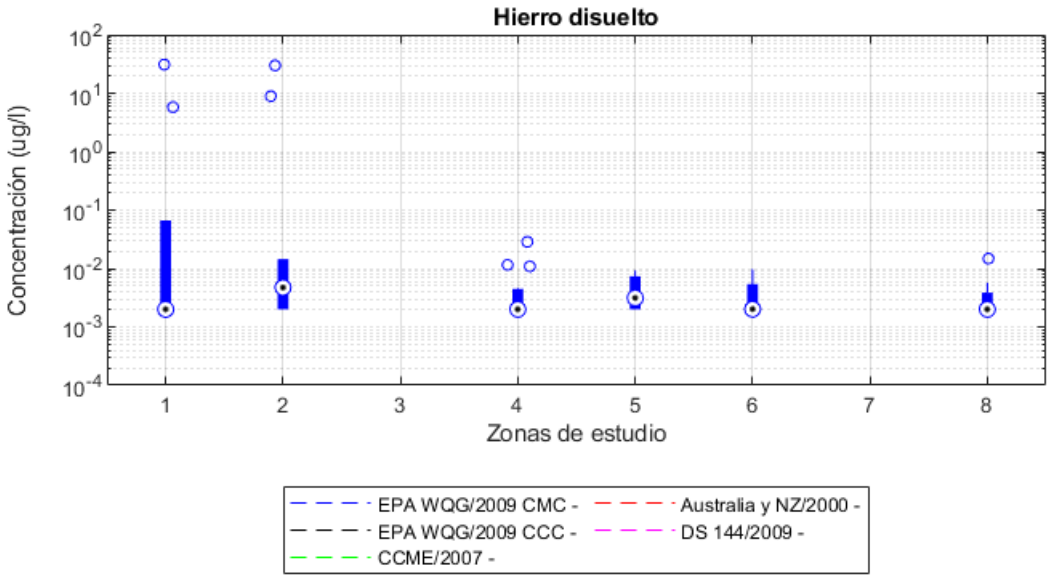


Figura 4.4-45: Diagramas de caja de concentración de hierro disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

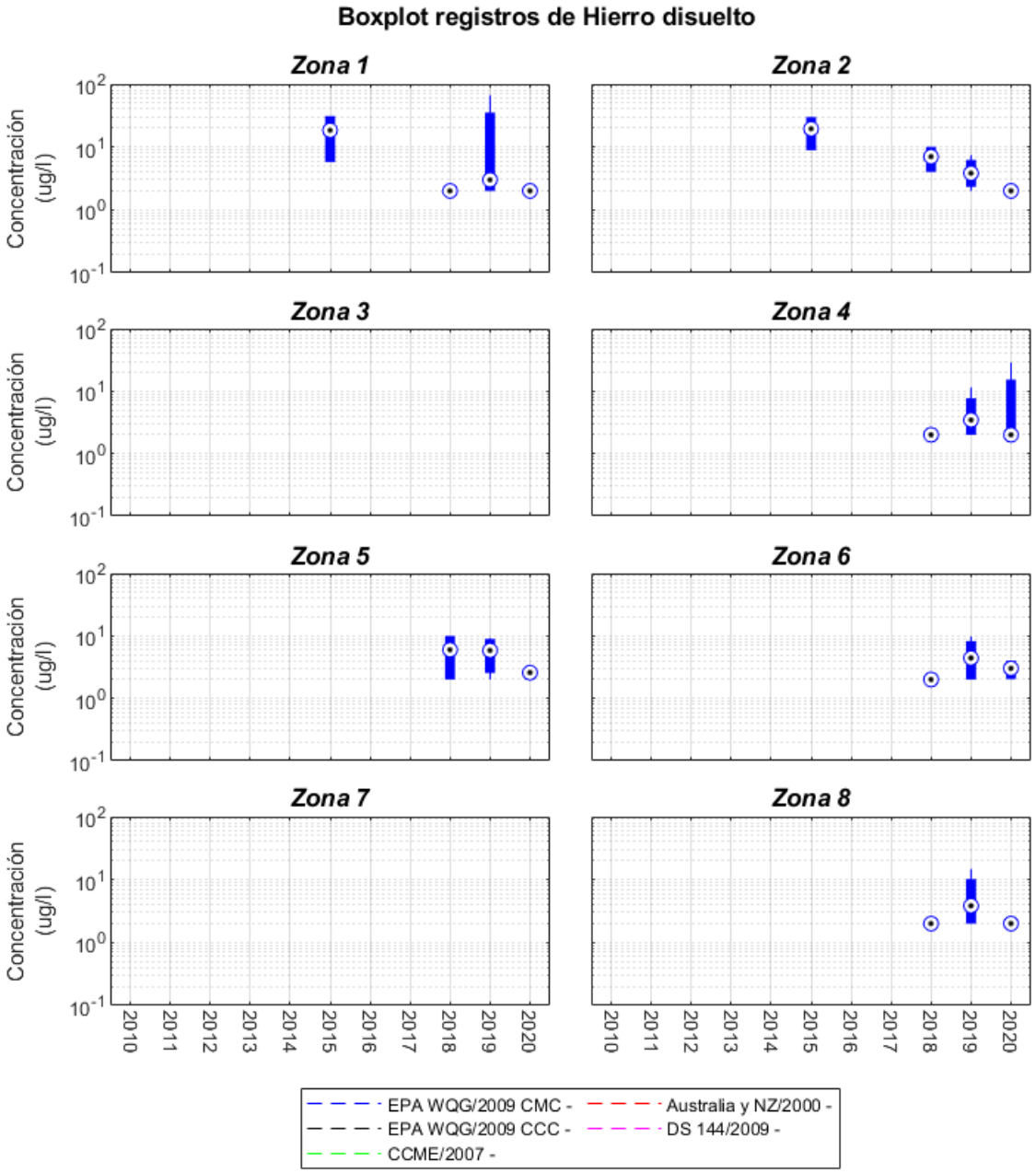


Figura 4.4-46: Gráfico de caja y bigote de los registros de hierro disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

vi. Mercurio disuelto

En la Figura 4.4-47 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de hierro disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla, mientras que en la Figura 4.4-48 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de hierro disuelto para cada zona de estudio para el periodo 2010-2020. Los

registros obtenidos para todas las zonas de estudio y para todo el periodo considerado, estuvieron bajo el límite de detección, siendo este 1 ug/l para el periodo 2018-2020 y para el periodo 2007-2011. Para el periodo 2014-2017 el límite reportado por POAL es de 0,0005 ug/l. Luego, se destaca que en los últimos 3 años los niveles de concentración están por debajo de la referencia considerada de la EPA WQG/2009 CMC (1,8 ug/l).

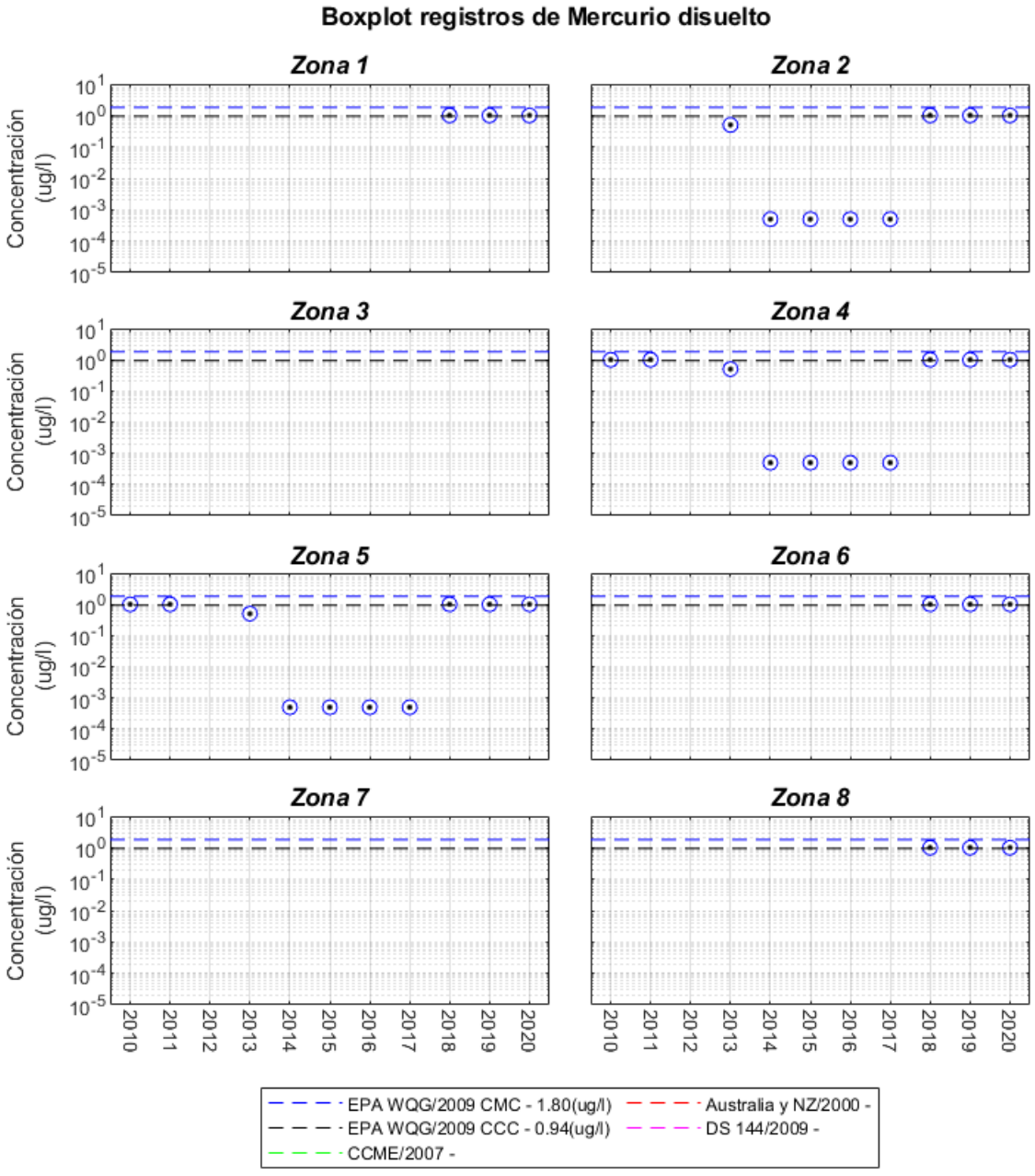


Figura 4.4-47: Gráfico de caja y bigote de los registros de mercurio disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

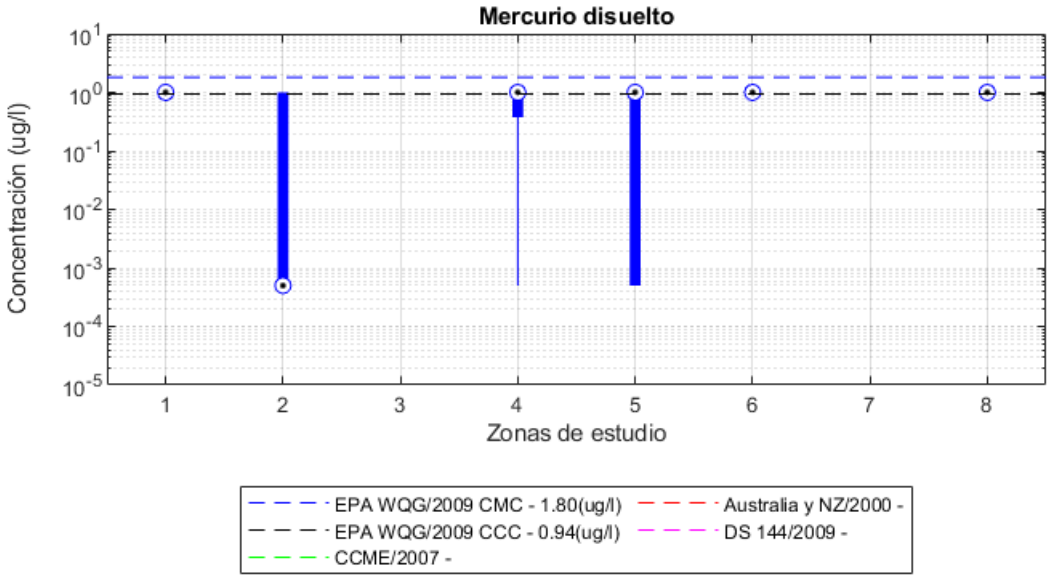


Figura 4.4-48: Diagramas de caja de concentración de mercurio disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

vii. Níquel disuelto

En la Figura 4.4-49 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de níquel disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla, mientras que en la Figura 4.4-50 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de níquel disuelto para cada zona de estudio para el periodo 2010-2020. Los registros obtenidos para todas las zonas de estudio y para todo el periodo considerado, estuvieron bajo el límite de detección, a excepción de un valor atípico obtenido el año 2019 de 8,4 ug/l en la zona de estudio 4. El comportamiento general de los registros y valores medios de concentración fue el de estar bajo los niveles referenciales considerados, con la excepción del obtenido el año 2015 para la zona de estudio 7. Al integrar la información en el periodo 2010-2020 para cada zona de estudio (Figura 4.4-50), se destaca que todos los valores medios de concentración estuvieron bajo los niveles referenciales.

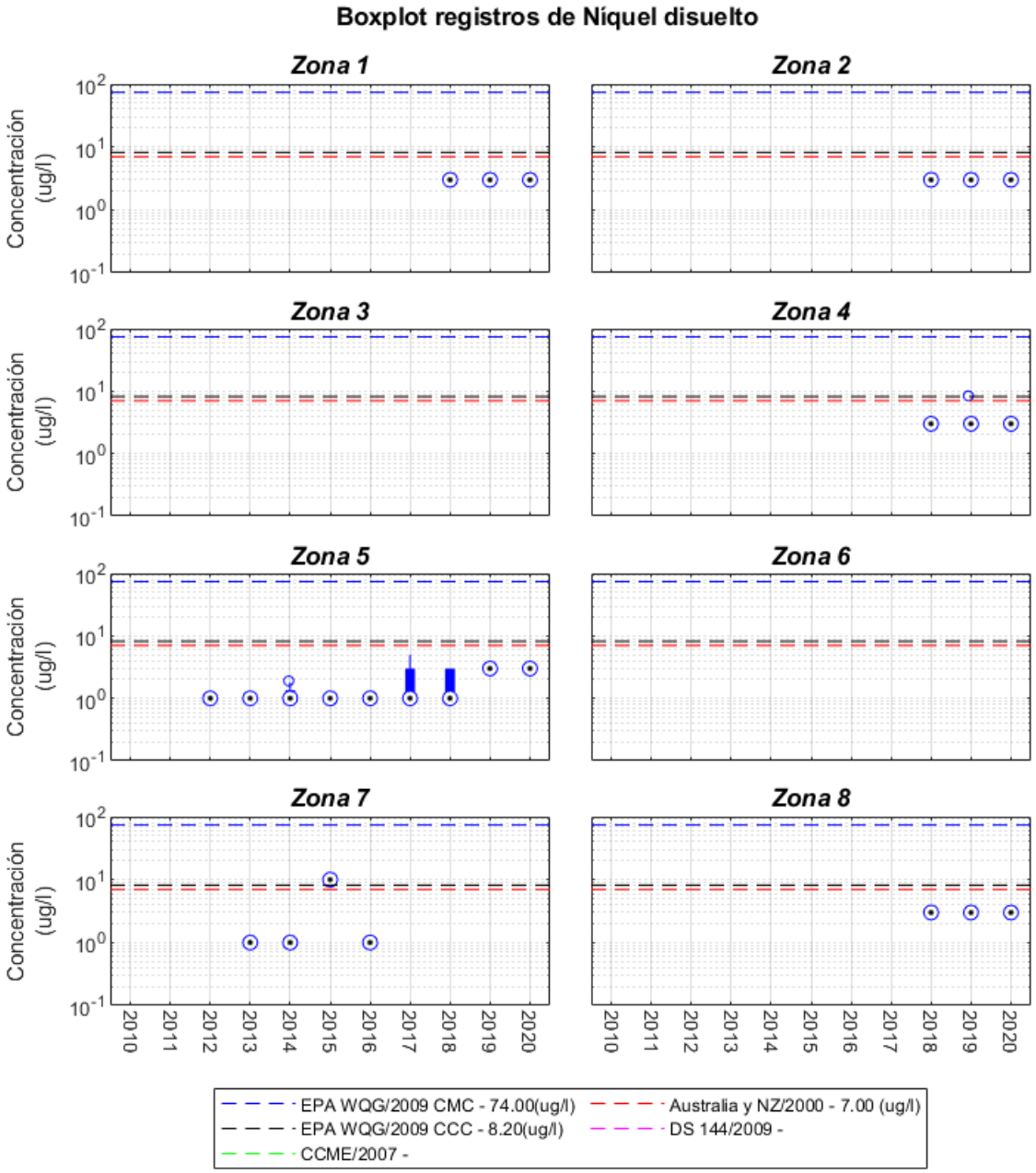


Figura 4.4-49: Gráfico de caja y bigote de los registros de níquel disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

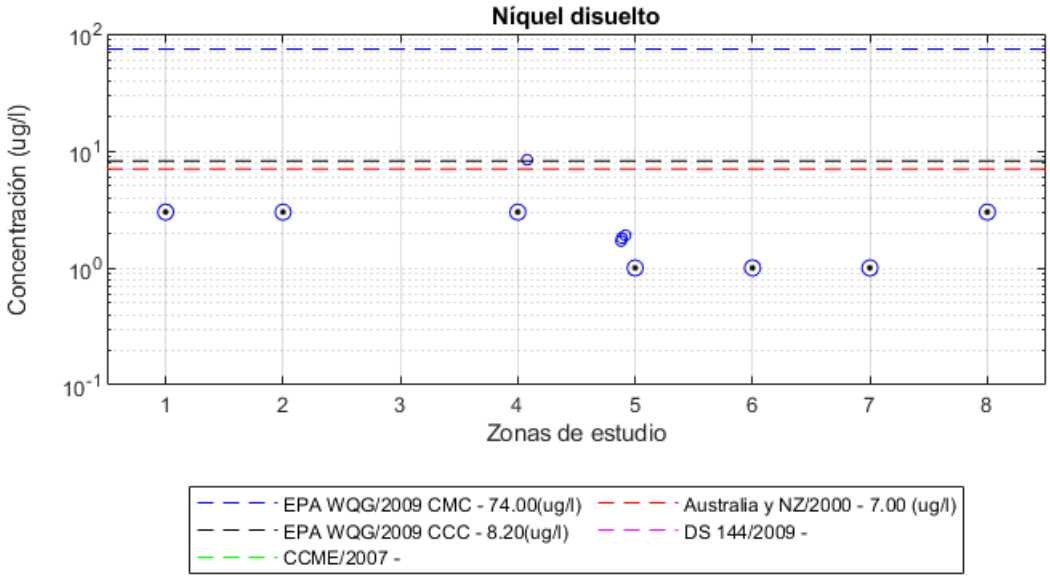


Figura 4.4-50: Diagramas de caja de concentración de níquel disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

viii. Plomo disuelto

En la Figura 4.4-51 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de plomo disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla, mientras que en la Figura 4.4-52 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de plomo disuelto para cada zona de estudio para el periodo 2010-2020. Se destaca que las concentraciones estuvieron bajo los límites de detección respectivos, donde para el periodo 2010-2011 fue de 0,05 ug/l, para el periodo 2013-2017 fue de 2,5 ug/l y para el periodo 2018-2020 fue de 8 ug/l. Con estos resultados se observa que para el periodo 2010-2020 en todas las zonas de estudio, la concentración de plomo disuelto estuvo bajo los niveles de referencia establecidos por la EPA WQG/2009 CMC y CCC (210,0 ug/l y 8,1 ug/l respectivamente).

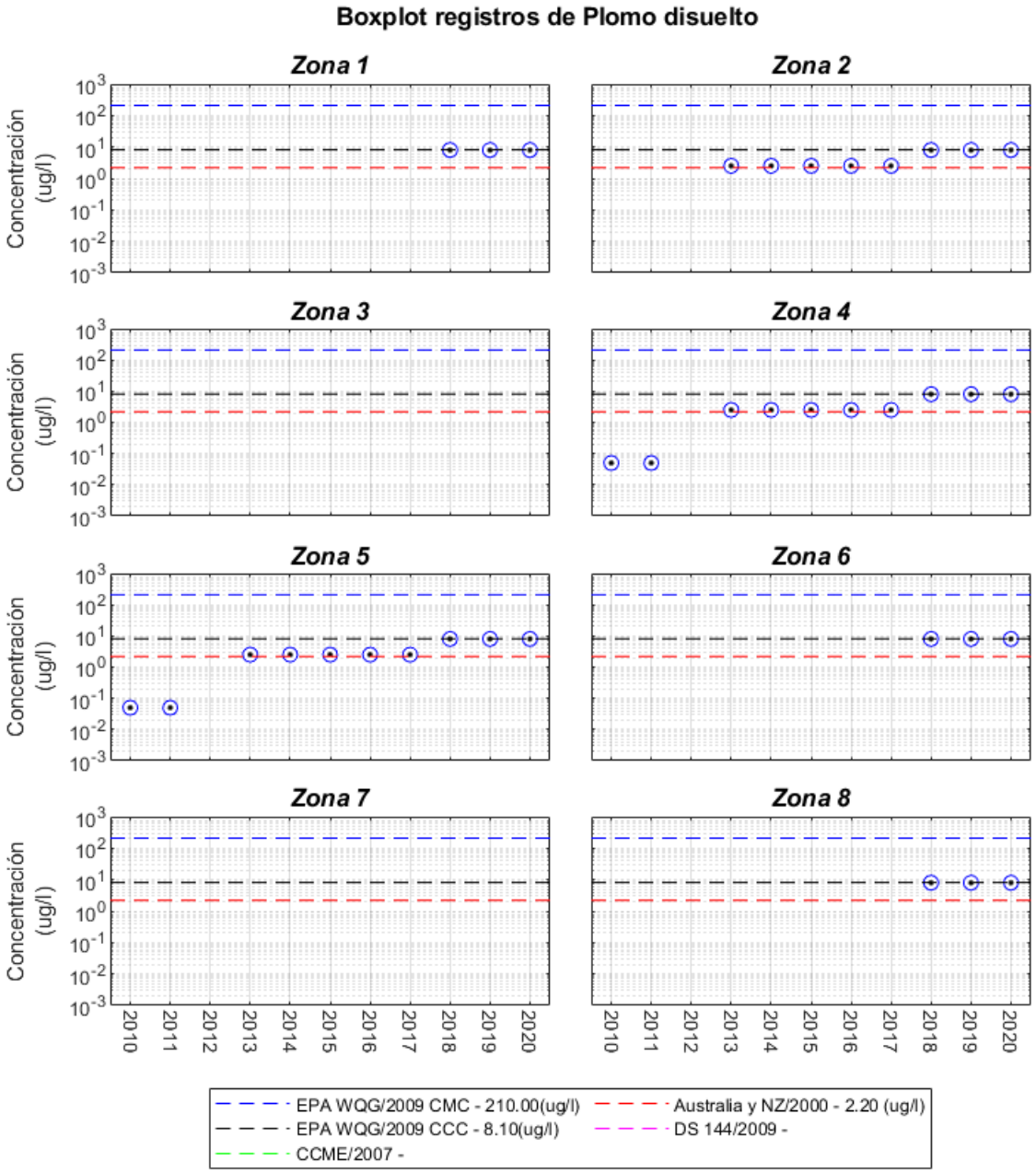


Figura 4.4-51: Gráfico de caja y bigote de los registros de plomo disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

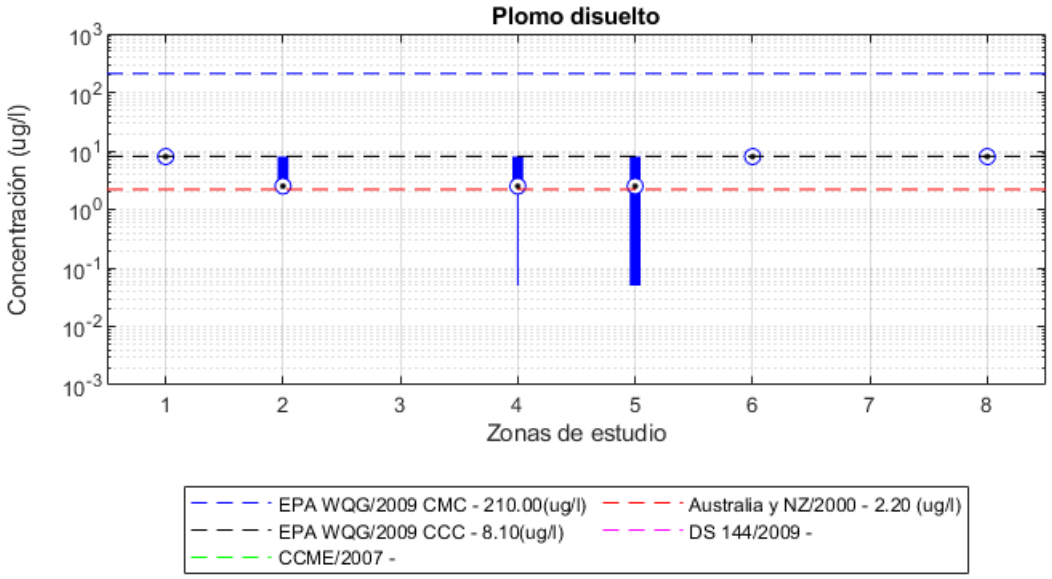


Figura 4.4-52: Diagramas de caja de concentración de plomo disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

ix. Vanadio disuelto

En la Figura 4.4-53 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de vanadio disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Se destaca que los registros correspondientes a los años 2016, 2017 y 2020 fueron bajo los límites de detección respectivos, siendo estos 2,5 ug/l para el primer semestre del año 2016 y 8 ug/l para el resto. Por otro lado, se observa que los valores medios de concentración asociados al año 2018 fueron los mayores para las zonas de estudio 1, 2, 4 y 8, ubicándose sobre la referencia considerada de Australia y Nueva Zelanda2000 (50 ug/l). Los años 2019 y 2020 se presentaron valores de concentración bajo el nivel de referencia en todas las zonas de estudio.

En la Figura 4.4-54 se adjunta el gráfico de “caja y bigotes” del total de registros de concentración de cadmio disuelto en agua en las distintas zonas de estudio para el periodo comprendido entre los años 2010-2020. Se destaca la presencia de valores atípicos en las zonas de estudio 1, 2, 4 y 5. Por otro lado, los valores medios de concentración (círculos blancos con punto azul) estuvieron bajo el nivel de referencia considerado en todas las zonas de estudio.

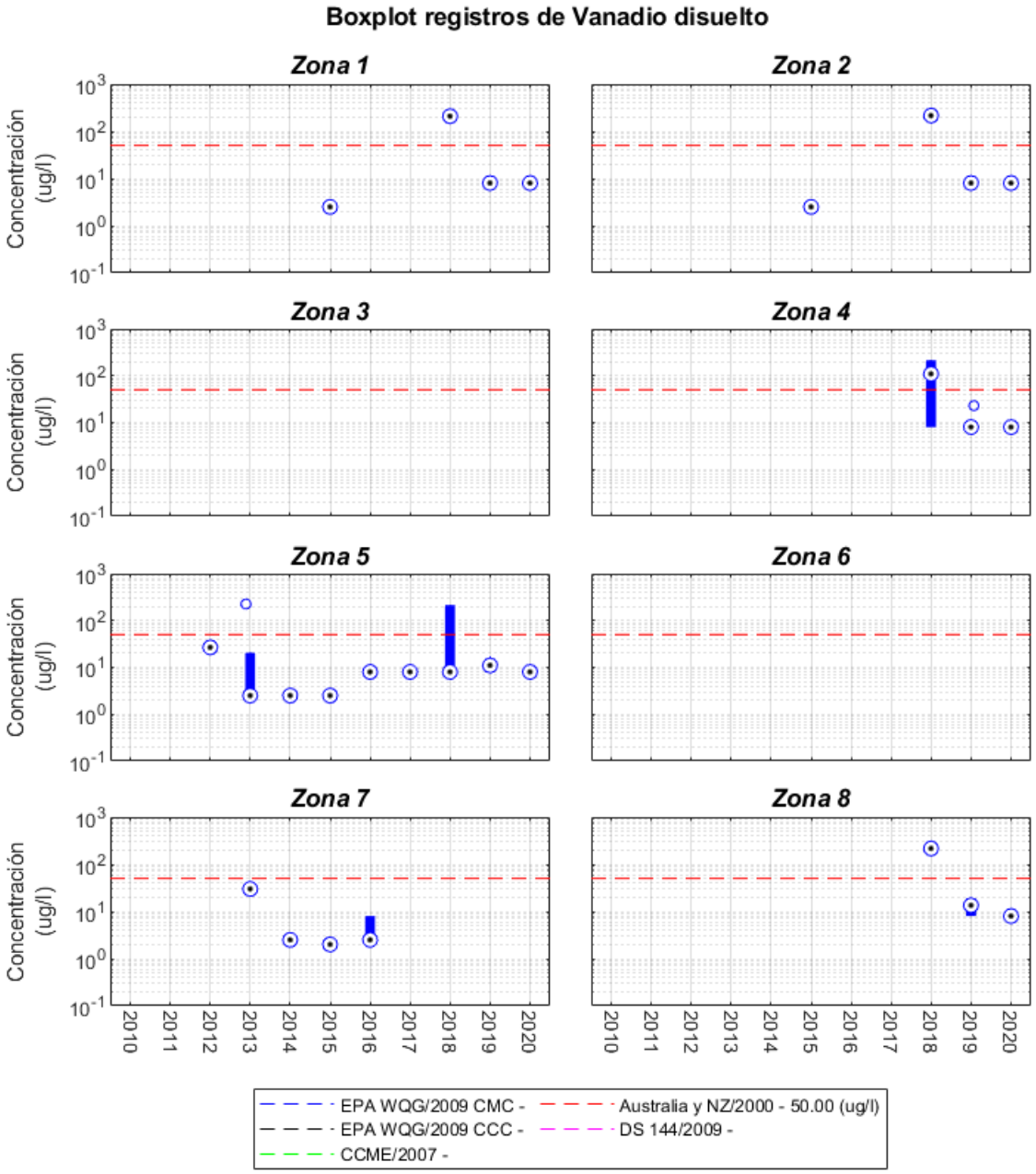


Figura 4.4-53: Gráfico de caja y bigote de los registros de vanadio disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

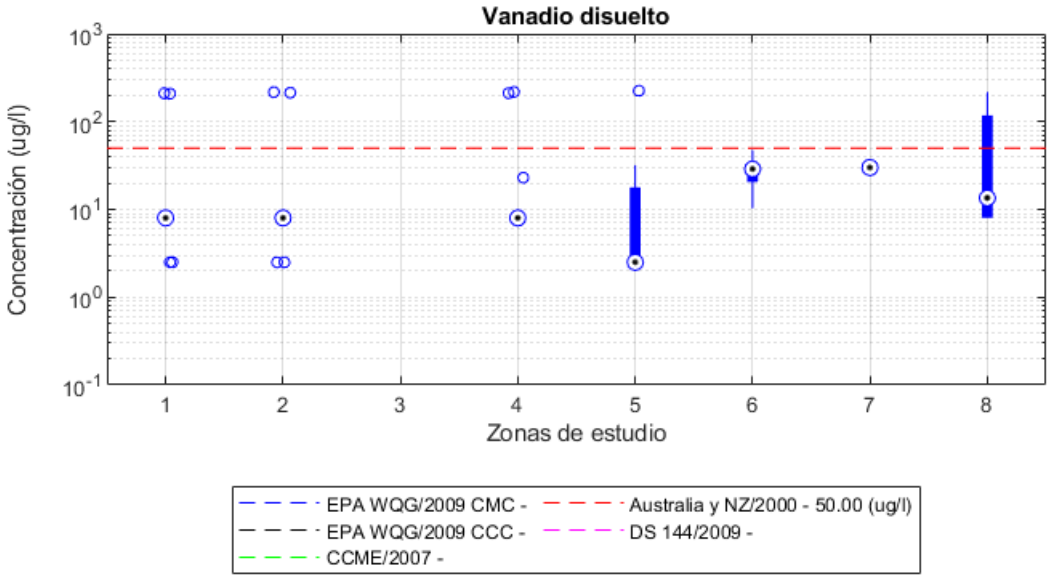


Figura 4.4-54: Diagramas de caja de concentración de vanadio disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

x. Zinc disuelto

En la Figura 4.4-55 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de zinc disuelto en la matriz agua para las distintas zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Se destaca que en el periodo 2018-2019, las zonas de estudio 1, 2, 4 y 6 presentaron valores medios de concentración bajo los niveles de referencia considerados, mientras que las zonas de estudio 5 y 8 presentaron valores medios sobre la concentración de referencia más restrictiva (Australia y NZ/2000, 7 ug/l) el año 2019.

En la Figura 4.4-56 se adjunta el gráfico de “caja y bigotes” del total de registros de concentración de zinc disuelto para cada zona de estudio para el periodo 2010-2020, donde se destaca que los valores medios de concentración (circulo blanco con punto azul) en todas las zonas de estudio fueron menores a los niveles de referencia considerados. Por otro lado, se registraron valores atípicos de concentración en todas las zonas de estudio.

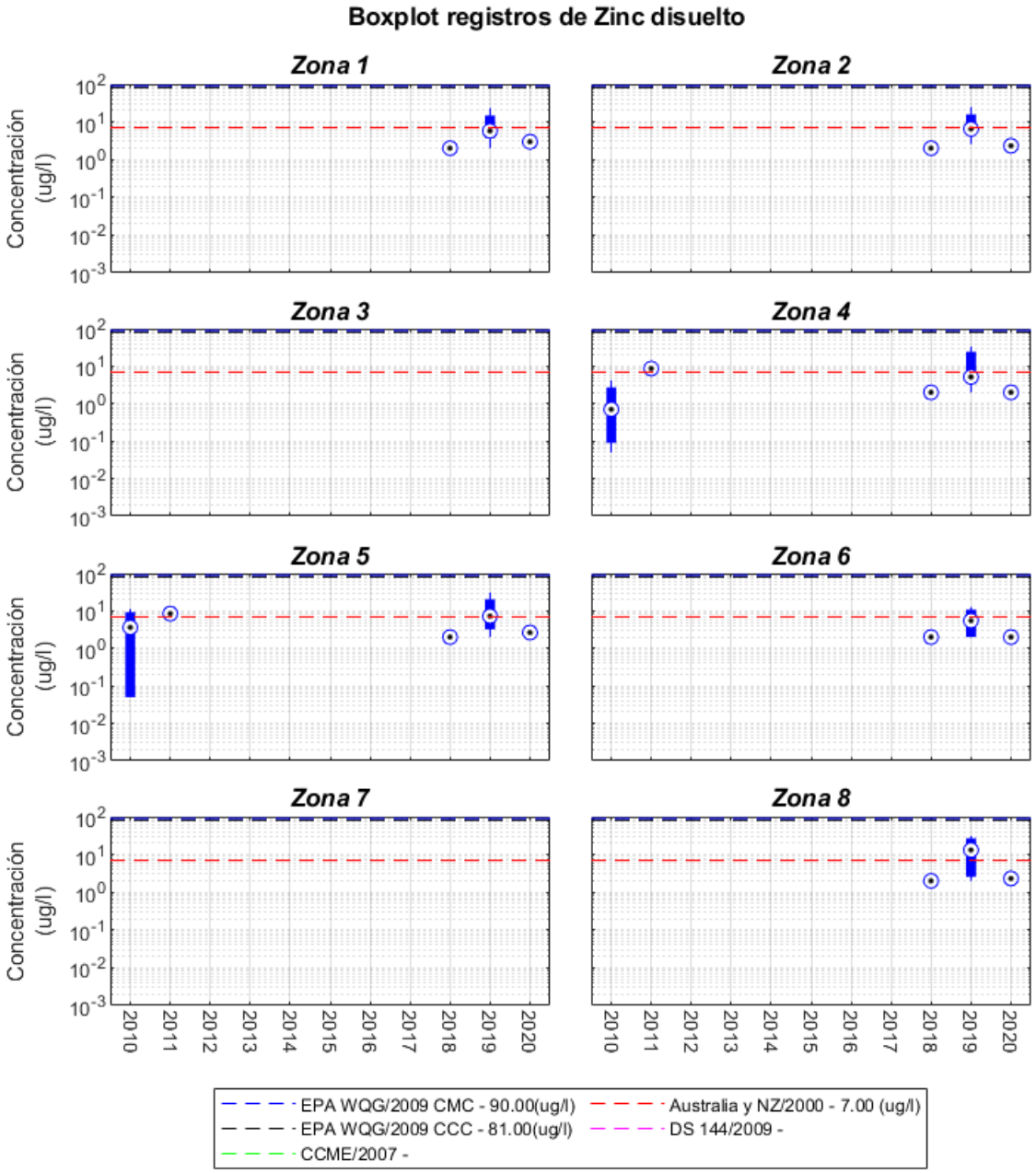


Figura 4.4-55: Gráfico de caja y bigote de los registros de zinc disuelto en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

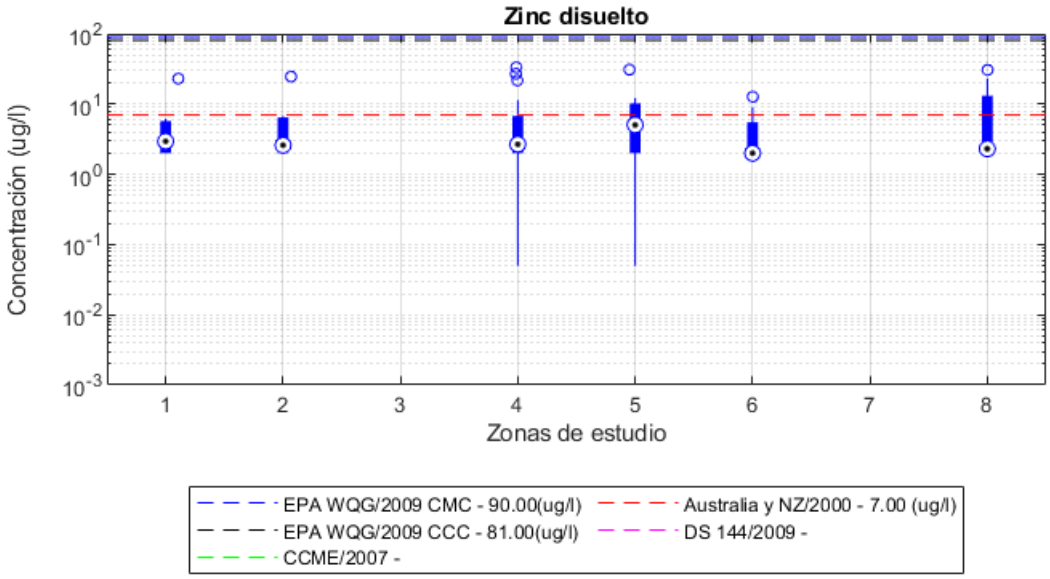


Figura 4.4-56: Diagramas de caja de concentración de zinc disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

4.4.2.2.1.3 Otras componentes de interés en la matriz agua

En las mediciones realizadas por CEA en el monitoreo de la bahía durante el periodo 2018-2020 (Objetivo específico 2, acápite 4.2.1), se obtuvo que las concentraciones de aceites y grasas e hidrocarburos totales estuvieron bajo los límites de detección, por lo que son de baja relevancia en cuanto al estado de la bahía. Del mismo modo, la concentración de coliformes fecales presentó en general valores bajo el límite de detección, siendo valores bajos de concentración en el caso de estar sobre dicho límite. Así, el máximo valor obtenido fue de 240 NMP/100 ml en la campaña de invierno 2018, un valor atípico al considerar lo recopilados para el resto de las campañas. Así, los valores de concentración estuvieron bajo los niveles de referencia del DS144/2009.En cuanto a los valores de clorofila “a”, las concentraciones presentaron en general valores tipos de un estado oligotrófico a lo largo de la bahía[6], con un valor promedio en ella de 0,99 mg/m3.

Los parámetros de Temperatura, Oxígeno disuelto, pH y Potencial Redox se desarrollan a continuación:

xi. Temperatura

En la Figura 4.4-58 y en la Figura 4.4-59 se muestran los gráficos de caja y bigote de los registros de temperatura en los estratos de fondo y superficie, respectivamente, en la

[6] Smith et al. (1999). “Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems”. Environmental Pollution. 100, 179-196.

matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla. En ambos estratos, no todas las zonas tienen la misma cantidad de registros, por tal razón podemos observar que entre los años 2018 y 2020, las temperaturas del 2019 fueron más altas en todas las zonas en que se registraron datos. Las zonas 6 y 7, que presentan un mayor periodo de registros, muestran que las temperaturas del año 2015 han sido las más altas, superando las del año 2019. De la comparación espacial se observa poca variación entre zonas, tanto en el estrato de fondo como superficial y así como entre estratos (Figura 4.4-57).

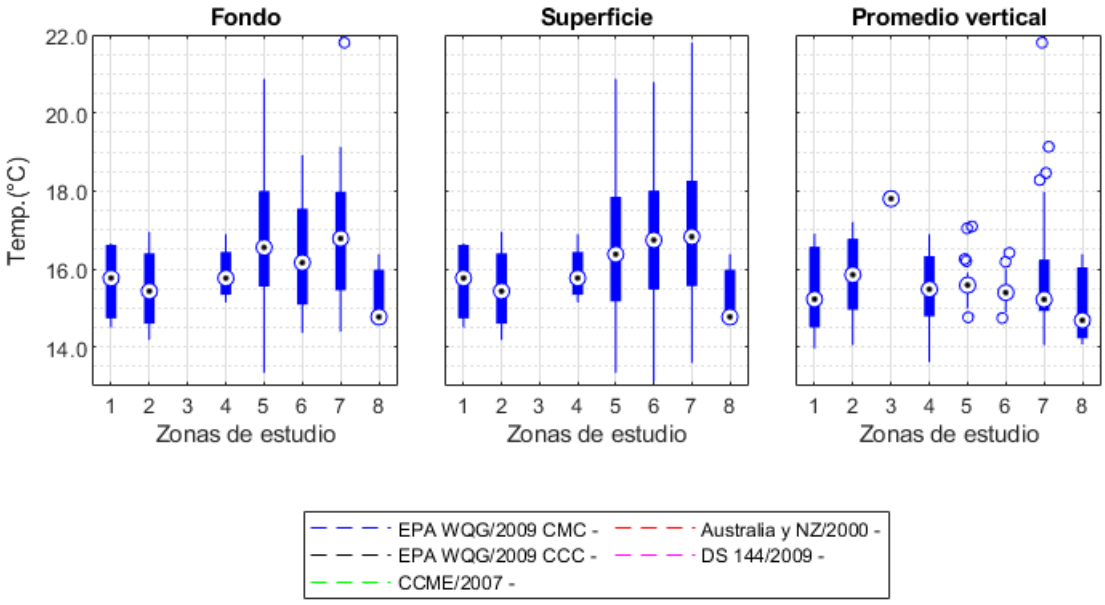


Figura 4.4-57: Diagramas de caja de temperatura en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

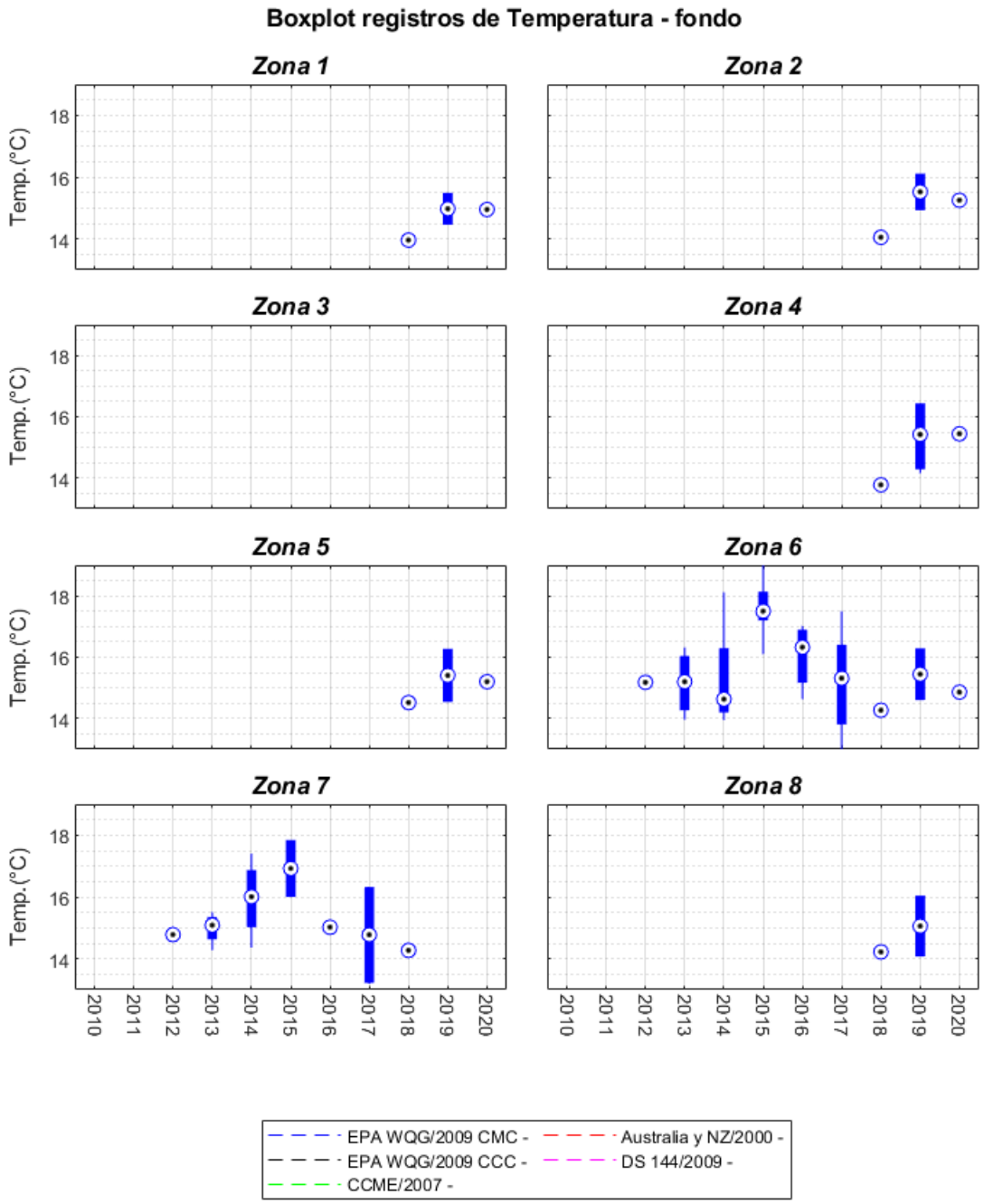


Figura 4.4-58: Gráfico de caja y bigote de los registros de temperatura en el estrato de fondo en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

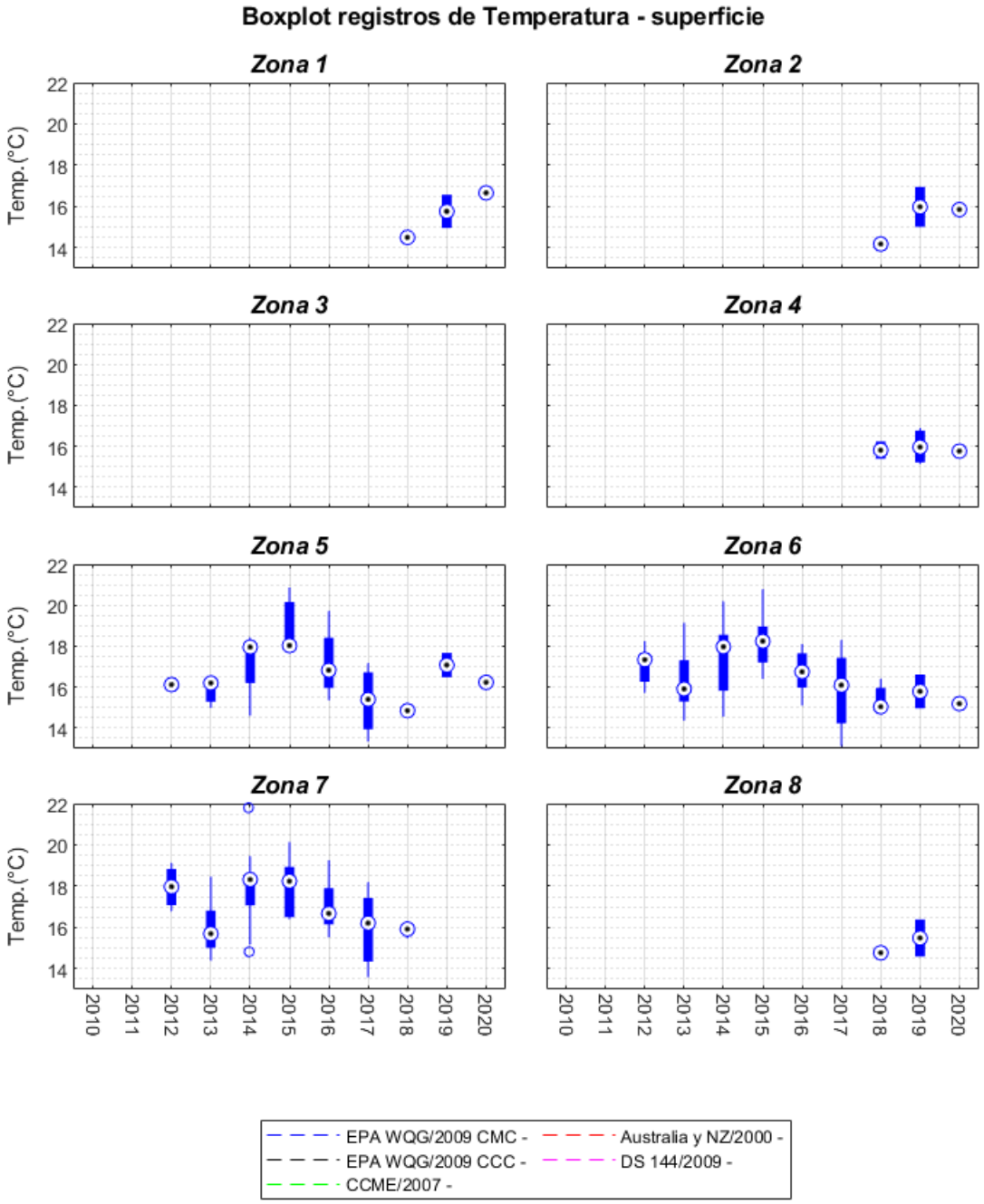


Figura 4.4-59: Gráfico de caja y bigote de los registros de temperatura en el estrato de superficie en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

xii. Oxígeno disuelto

En la Figura 4.4-61 y Figura 4.4-62 se muestran los gráficos de caja y bigote de los registros de oxígeno disuelto en los estratos de fondo y superficie, respectivamente, para la matriz agua en las distintas zonas de estudio. En los estratos superficial y fondo de las zonas 5 y 6 se observaron bajas concentraciones de oxígeno disuelto en la mayoría de los años, con excepción del último período. En la zona 7 la concentración de oxígeno disuelto en el fondo también presentó concentraciones bajas de oxígeno en la mayoría de los años, no así en el estrato superficial donde a partir del año 2014 al 2018 aumentaron. Las zonas 1,2 y 4 presentaron aguas oxigenadas entre el año 2018 al 2020. Espacialmente, en promedio, las zonas 5 y 6 presentaron aguas poco oxigenadas en relación al resto de las zonas, También se observa que las zonas 1,2,3 y 5 presentaron mayores concentraciones de oxígeno disuelto respecto al resto de las zonas (Figura 4.4-60).

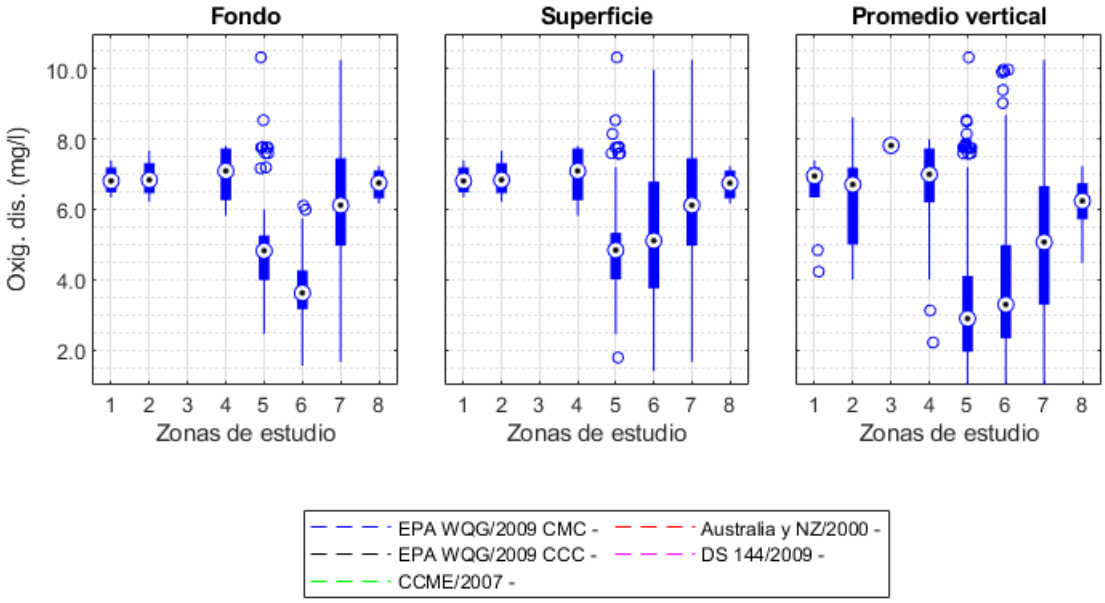


Figura 4.4-60: Diagramas de caja de Oxígeno disuelto en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

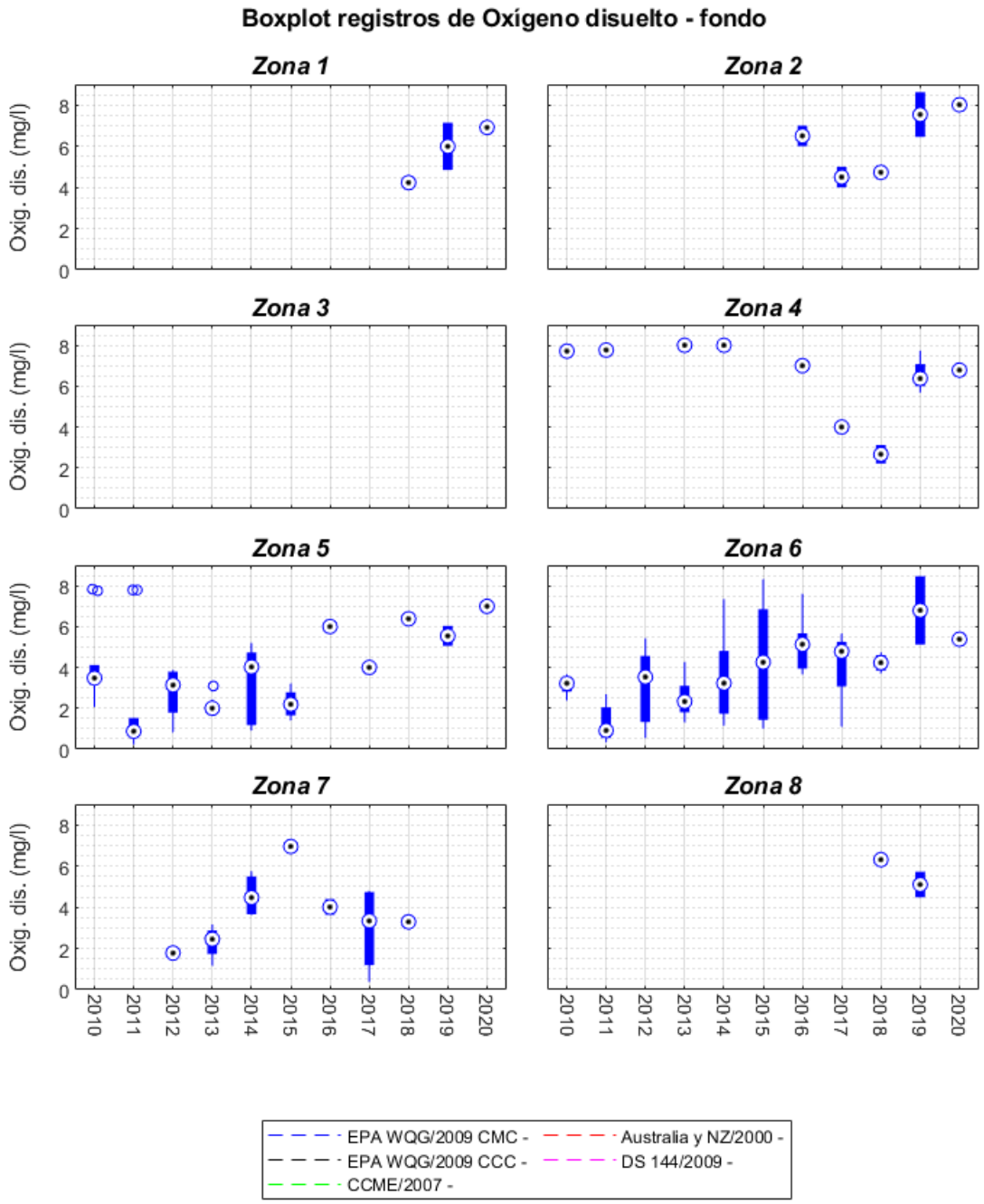


Figura 4.4-61: Gráfico de caja y bigote de los registros de oxígeno disuelto en el estrato de fondo en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

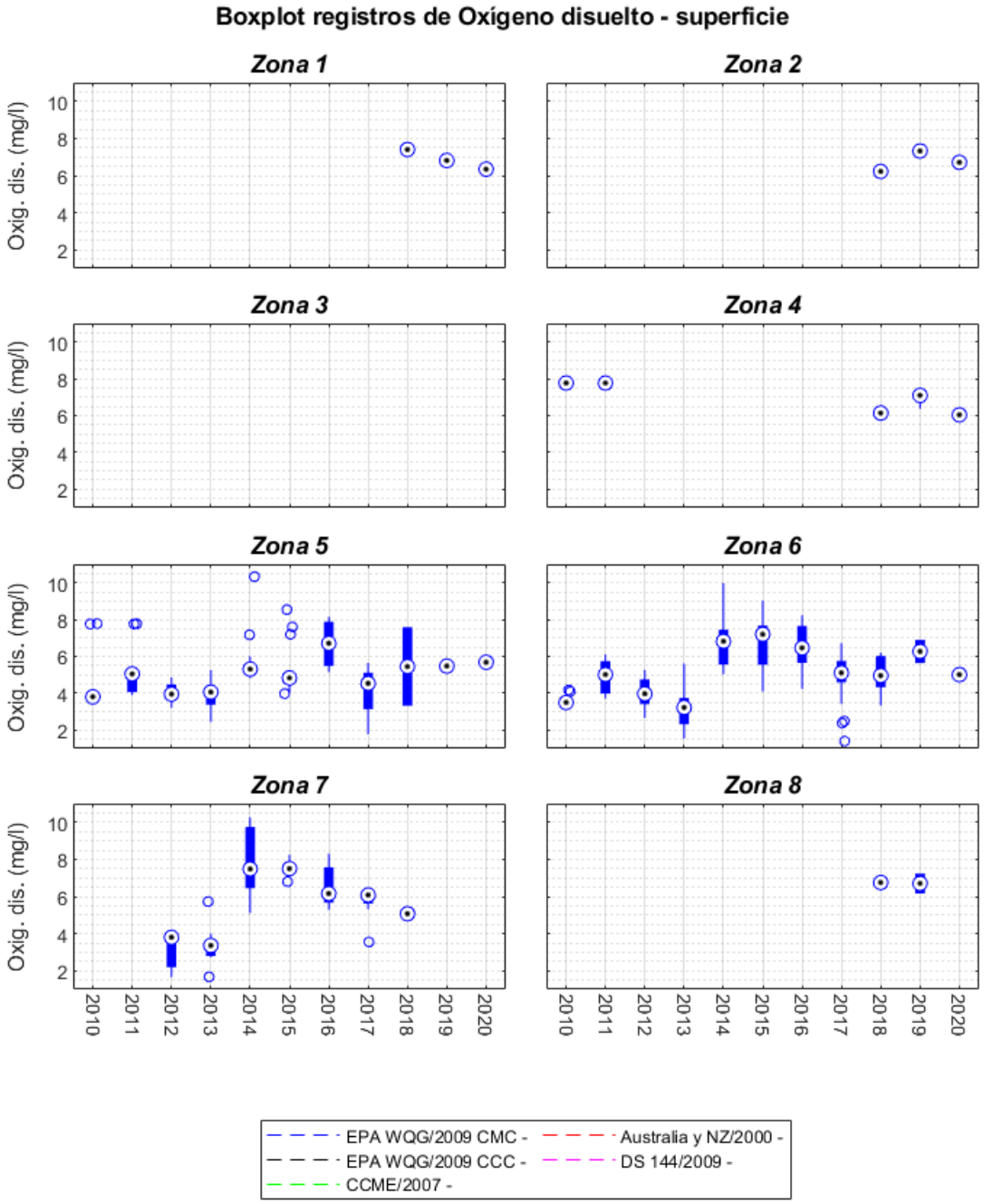


Figura 4.4-62: Gráfico de caja y bigote de los registros de oxígeno disuelto en el estrato de superficie en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

xiii. pH

En la Figura 4.4-64 y Figura 4.4-65 se muestran los gráficos de caja y bigote de los registros de pH en los estratos de fondo y superficie, respectivamente, para la matriz agua en las distintas zonas de estudio. Se observó en todas las zonas y estratos valores de pH dentro de los límites establecidos que variaron de neutro a moderadamente alcalino, durante todo el periodo de estudio. Espacialmente, en promedio, las zonas registraron pH similares y la zona 7 fue levemente superior al resto (Figura 4.4-63).

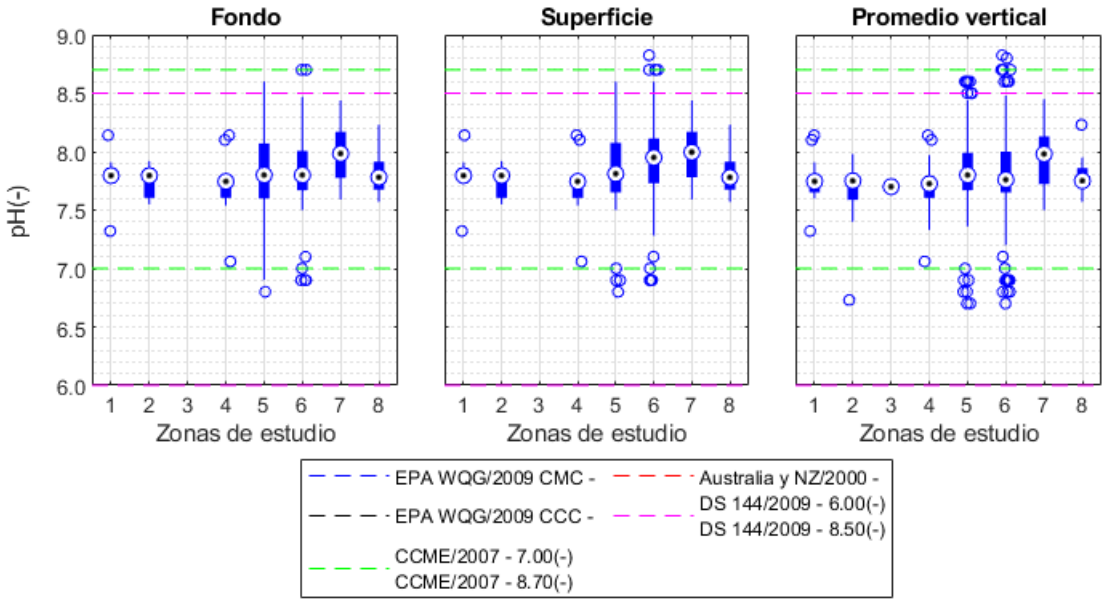


Figura 4.4-63: Diagramas de caja de pH en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

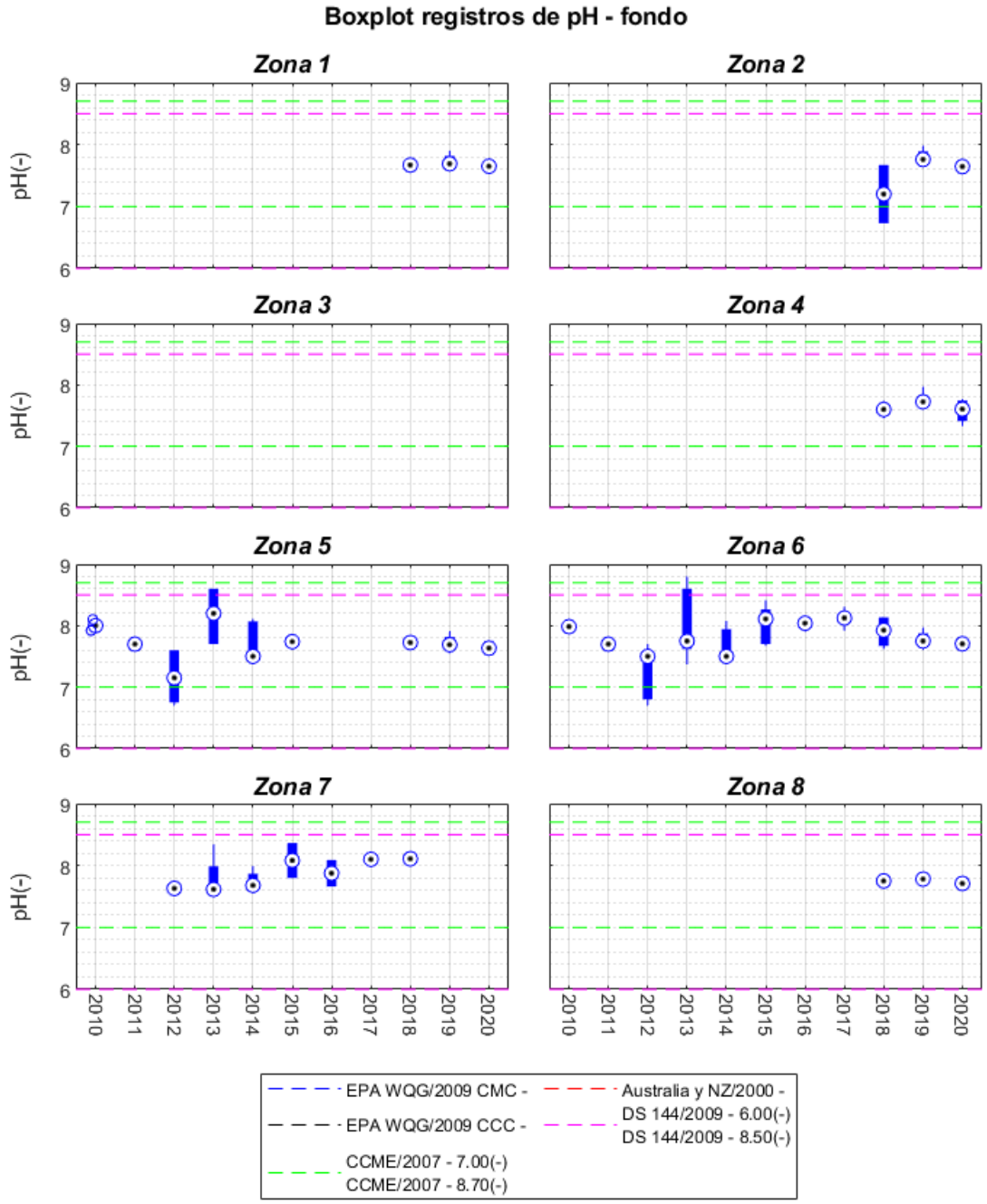


Figura 4.4-64: Gráfico de caja y bigote de los registros de pH en el estrato de fondo en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

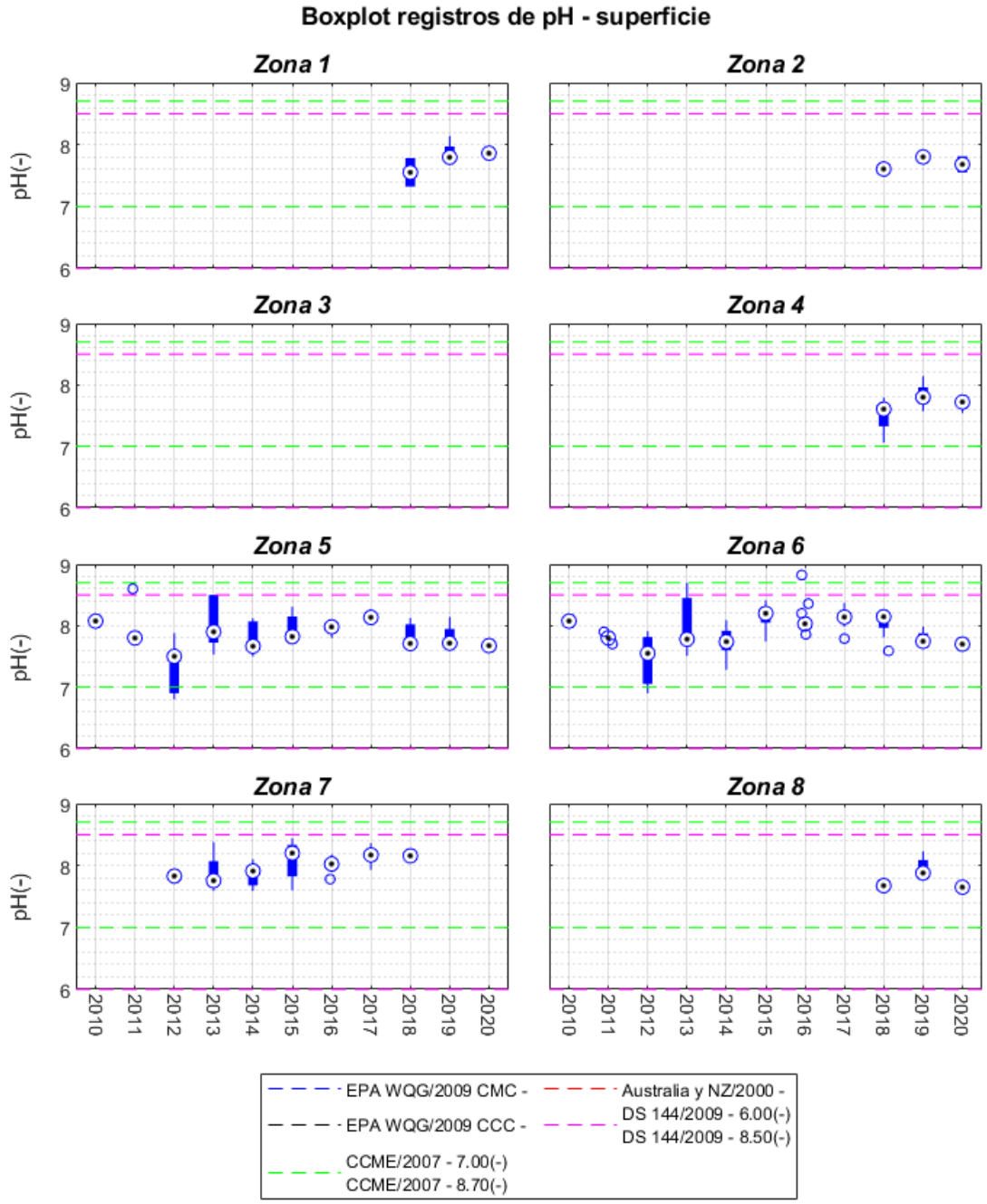


Figura 4.4-65: Gráfico de caja y bigote de los registros de pH en el estrato de superficie en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

xiv. Potencial Redox

En la Figura 4.4-67 y Figura 4.4-68 se muestran los gráficos de caja y bigote de los registros de potencial redox en los estratos de fondo y superficie, respectivamente, para la matriz agua en las distintas zonas de estudio. Se observó en todas las zonas y estratos valores de potencial redox positivos. Durante el año 2018 en las zonas 1, 5 y 6 se registraron los menores valores y en las zonas 2, 4 y 8 durante el 2019. Espacialmente, en promedio, la zona 8 registró el mínimo y la zona 4 la máxima, no obstante, todas las zonas presentaron condiciones de sistemas que favorecen las reacciones de oxidación (Figura 4.4-66).

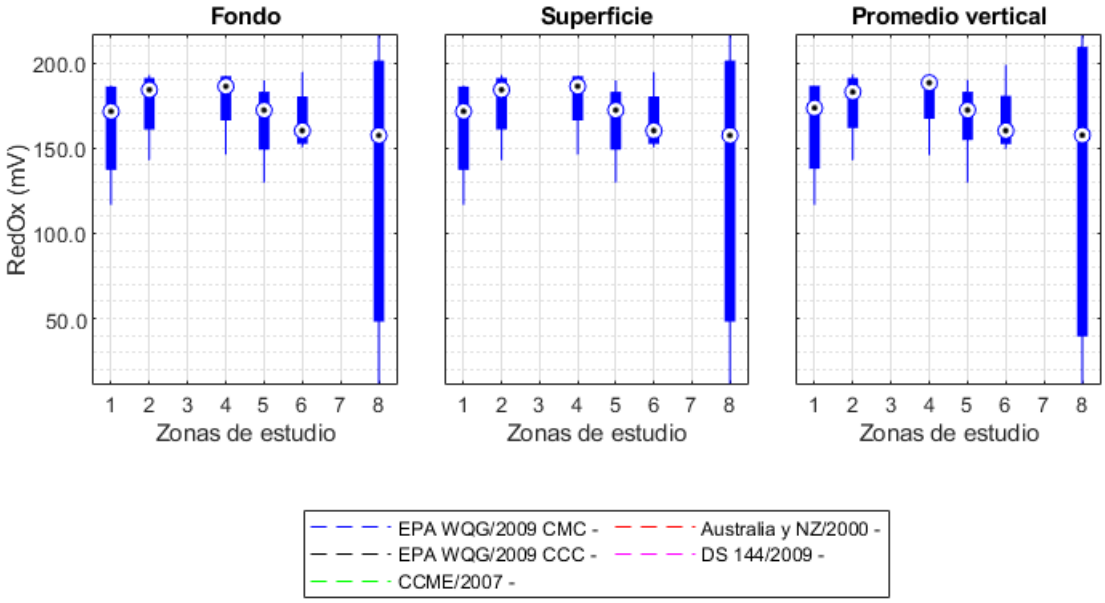


Figura 4.4-66: Diagramas de caja de potencial Redox en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

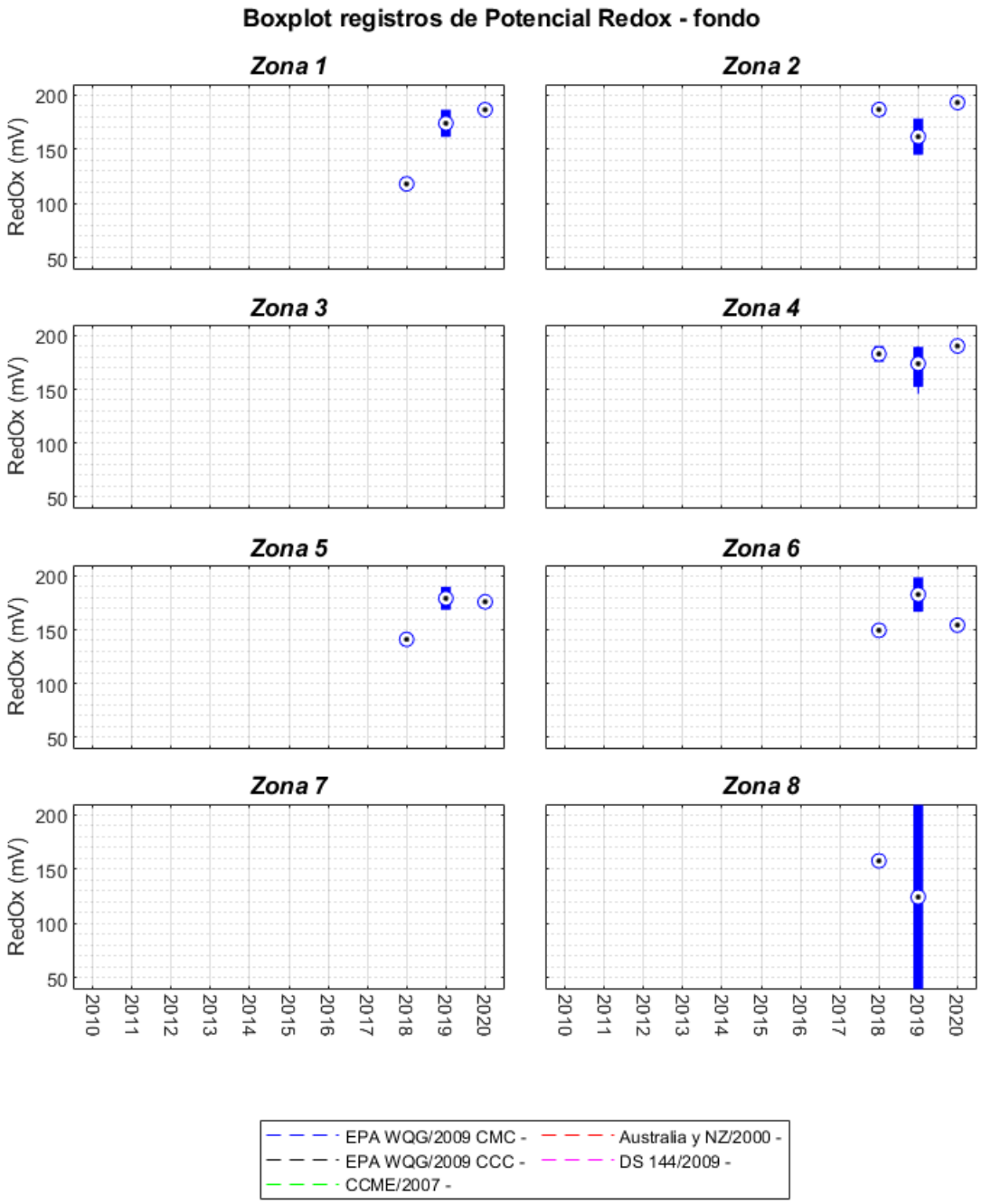


Figura 4.4-67: Gráfico de caja y bigote de los registros de potencial Redox en el estrato de fondo en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

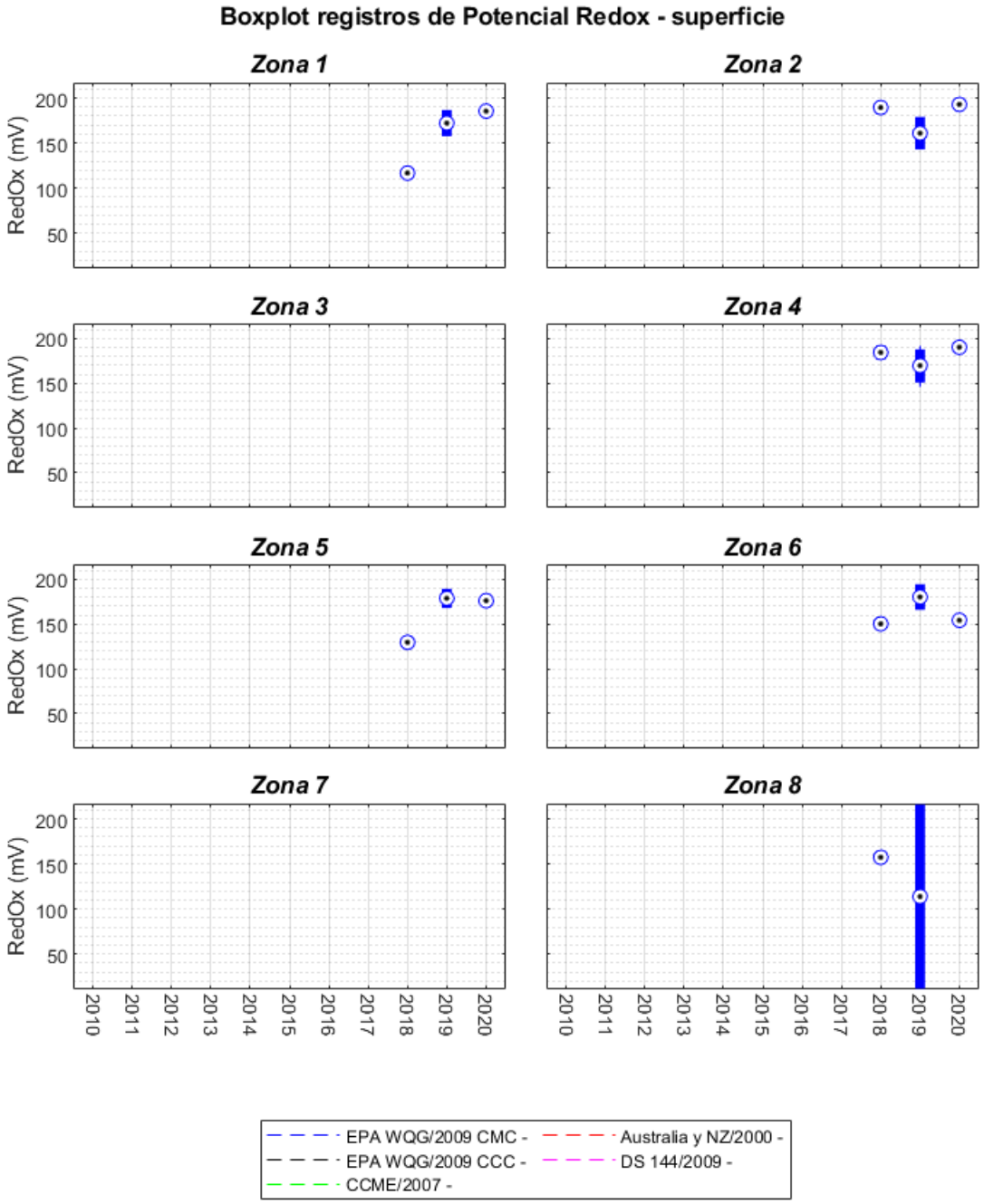


Figura 4.4-68: Gráfico de caja y bigote de los registros de potencial Redox en el estrato de superficie en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

xv. DBO5

En la Figura 4.4-70 y Figura 4.4-71 se muestran los gráficos de caja y bigote de los registros de DBO5 en los estratos de fondo y superficie, respectivamente, en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla. En ambos estratos y en la mayoría de las zonas la demanda biológica de oxígeno es baja durante todo el periodo de muestreo, la excepción se registró en el año 2014 donde en la zona 6 se registraron concentraciones de 20 mg/L en promedio, en ambos estratos. Este valor podría indicar un crecimiento de algas o una descarga de materia orgánica en la zona ya señalada (Figura 4.4-69).

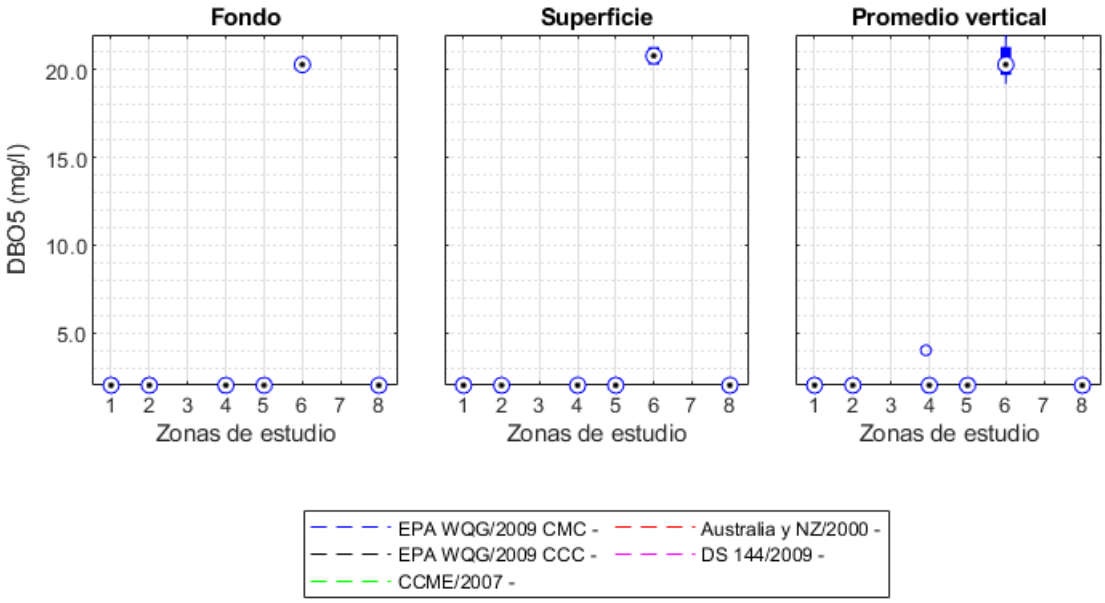


Figura 4.4-69: Diagramas de caja de DBO5 en columna de agua según zonas de estudio para el período 2010-2020.

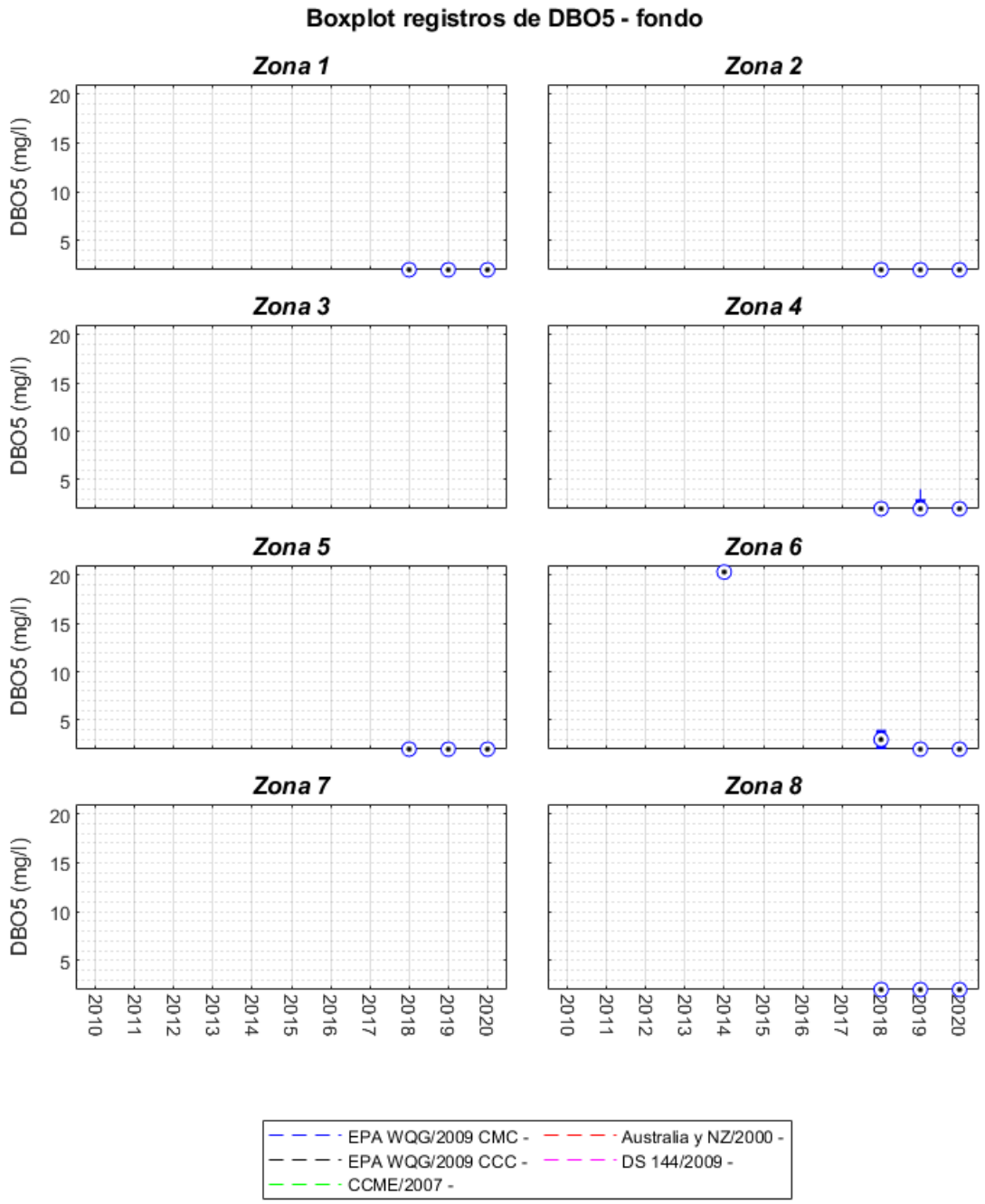


Figura 4.4-70: Gráfico de caja y bigote de los registros de DBO5 en el estrato de fondo en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

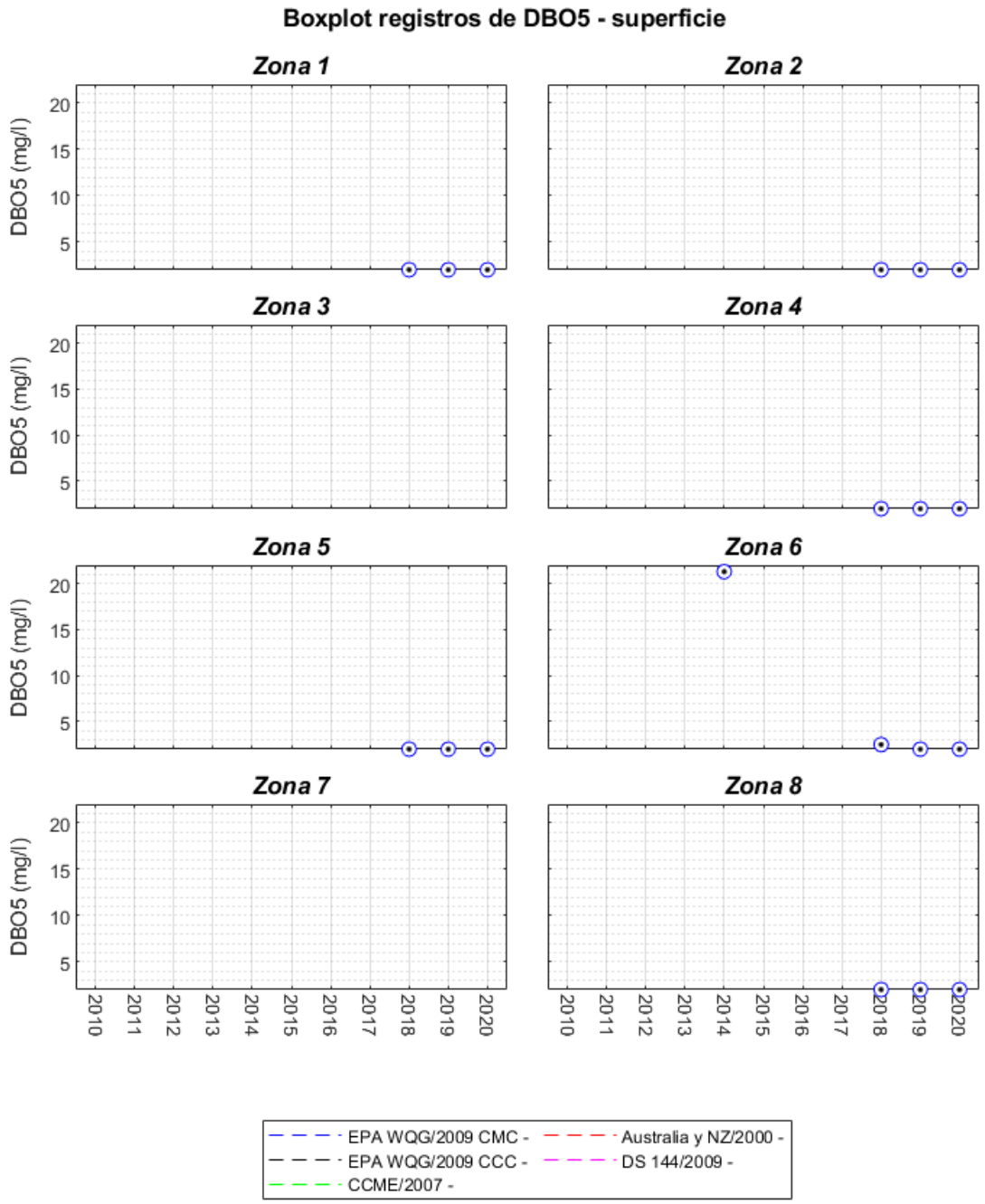


Figura 4.4-71: Gráfico de caja y bigote de los registros de DBO5en el estrato de superficie en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

4.4.2.2.2 Sedimentos

Para el análisis de los registros de concentración de los distintos parámetros de interés en la matriz de sedimento, se consideraron diagramas de "caja y bigote" (*box and whiskers* en inglés) al agrupar los registros por año según las fechas de medición. Este tipo de gráficos muestran la distribución de una variable usando cuartiles, de modo que de manera visual se pueda inferir características de la dispersión, ubicación y simetría de los datos. Si el total de registros corresponde a "N" valores, ordenados de menor a mayor, los cuartiles considerados quedan definidos por las posiciones N/4, N/2 y 3N/4 respectivamente. Luego, la gráfica es tal que las "cajas" quedan definidas por los cuartiles 25% y 75% (N/4 y 3N/4), donde el valor de la mediana, representado por un círculo con un punto azul en su interior, toma el valor de la posición 50% (N/2). Los bigotes, o líneas de menor grosor que la caja en este desarrollo, representan los valores extremos de los registros considerados, siempre y cuando no sean catalogados como *"outliers"* o valores atípicos. Los valores atípicos quedan definidos cuando están fuera de tres veces la desviación absoluta escalada de la mediana (DAM_c), y se representan como un círculo vacío, donde:

$$DAM_c = c \cdot mediana(|A_i - mediana(A)|)$$

$$c = -\frac{1}{\sqrt{2} \cdot erfcinv\left(\frac{3}{2}\right)}$$

$$erfcinv = función\ error\ inversa\ complementaria$$

Para poder comparar espacialmente los registros obtenidos para las distintas componentes en las zonas de estudio, se consideraron todos los datos dentro de cada uno de los polígonos para el periodo de estudio considerado, graficando los diagramas de "caja y bigote" para cada estrato, intermareal y submareal, y zona de estudio.

Adicionalmente, para poder conocer la significancia de los registros considerados en este análisis, se utilizaron los mismos niveles de referencia usados en el desarrollo llevado en el Objetivo Específico 1 del presente estudio (acápite 4.1). Así, las normativas utilizadas para caracterizar los sedimentos y sus criterios son los siguientes (Tabla 4.4-14):

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

Tabla 4.4-14 Normativa nacional e internacional utilizada para contrastar los parámetros de calidad ambiental del sedimento marino en bahía Algodonales

Parámetros	Unidad	MOP, 1994	Persaud, 1993 (Canadá)		CCME, 2002 (Canadá)		Buchman, 2008 (NOAA)		Australia and New Zealand Environment, 2000		Ecological Screening Criteria ASM (New Jersey)	
			LEL	SEL	ISQG	PEL	ERL	ERM	ISQG (Low)	ISQG (High)	ERL	ERM
Arsénico	mg/kg	57	6	33	7,24	41,6	8,2	70	20	70	8,2	70
Cadmio	mg/kg	1	0,6	10	0,7	4,2	1,2	9,6	1,5	10	1,2	9,6
Cromo Total	mg/kg	55	26	110	52,3	160	81	370	80	370	81	370
Cobre	mg/kg	130	16	110	18,7	108	34	270	65	270	34	270
Zinc	mg/kg	160	120	820	124	271	150	410	200	410	150	410
Plomo	mg/kg	66	31	250	30,2	112	46,7	218	50	220	47	218
Mercurio	mg/kg	0,2	0,2	2	0,13	0,7	0,15	0,71	0,15	1	0,15	0,71
Níquel	mg/kg	35	16	75	-	-	20,9	51,6	21	52	21	52
Hierro	mg/kg	-	20000	40000	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganeso	mg/kg	-	460	1100	-	-	-	-	-	-	-	260
Plata	mg/kg	-	-	-	-	-	1	3,7	1	3,7	1	3,7
Antimonio	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	2	25	-	9,3
Aluminio	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8
Carbono Orgánico Total	%	-	1	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg/kg	-	550	4800	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/kg	-	600	2000	-	-	-	-	-	-	-	-
Aldrin	mg/kg	-	0,002	8	-	-	-	-	-	-	-	-
BHC	mg/kg	-	0,003	12	-	-	-	-	-	-	-	-
α-BHC	mg/kg	-	0,006	10	-	-	-	-	-	-	-	-
β-BHC	mg/kg	-	0,005	21	-	-	-	-	-	-	-	-

Parámetros	Unidad	MOP, 1994	Persaud, 1993 (Canadá)		CCME, 2002 (Canadá)		Buchman, 2008 (NOAA)		Australia and New Zealand Environment, 2000		Ecological Screening Criteria ASM (New Jersey)	
			LEL	SEL	ISQG	PEL	ERL	ERM	ISQG (Low)	ISQG (High)	ERL	ERM
Clordano	mg/kg	-	0,007	6	0,00226	0,00479	0,0005	0,006	0,0005	0,006	-	-
DDT Total	mg/kg	-	0,007	12	-	-	-	-	0,0016	0,046	0,0016	0,046
op + pp-DDT	mg/kg	-	0,008	71	0,00119	0,00477	-	-	-	-	-	-
pp-DDD	mg/kg	-	0,008	6	-	-	-	-	-	-	-	-
pp-DDE	mg/kg	-	0,005	19	-	-	-	-	-	-	-	-
Dieldrin	mg/kg	-	0,002	91	0,00071	0,0043	0,00002	0,008	0,00002	0,008	-	-
Endrin	mg/kg	-	0,003	130	0,00267	0,00624	-	-	0,00002	0,008	-	-
HCB	mg/kg	-	0,02	24	-	-	-	-	-	-	-	-
Mirex	mg/kg	-	0,007	130	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB Total	mg/kg	-	0,07	530	-	-	-	-	-	-	-	-
op + pp-DDE	mg/kg	-	-	-	0,00207	0,00374			-	-	-	-
op + pp-DDD	mg/kg	-	-	-	0,00122	0,00781	-	-	0,002	0,02	-	-
Lindano	mg/kg	-	-	-	0,00032	0,00099	-	-	0,00032	0,001	-	-
Antraceno	mg/kg	-	0,22	370	0,0469	0,245	0,085	1,1	0,085	1,1	0,085	1,1
Benzo(a) antraceno	mg/kg	-	0,32	1480	0,0748	0,693	0,261	1,6	0,261	1,6	0,261	1,6
Benzo(k) fluorantreno	mg/kg	-	0,24	1340	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(a) pireno	mg/kg	-	0,37	1440	0,0888	0,763	0,43	1,6	0,43	1,6	0,43	1,6
Benzo(g,h,i) perileno	mg/kg	-	0,17	320	-	-	-	-	-	-	-	-
Criseno	mg/kg	-	0,34	460	0,108	0,846	0,384	2,8	0,384	2,8	0,384	2,8
Dibenzo(a,h) antraceno	mg/kg	-	0,06	130	0,00622	0,135	0,063	0,26	0,063	0,26	-	-

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

4.4.2.2.2.1 Contenido de metales en sedimentos

i. Arsénico

En la Figura 4.4-72 y en la Figura 4.4-73 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de arsénico en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Respecto a los registros submareales, se destaca la zona 1 como la única que en los últimos 3 años presentó registros bajo los niveles de referencia considerados. Por contrario, las zonas de estudio 2 y 4 presentaron registros en los últimos años sobre los niveles de referencia, llegando a los 465,0 mg/kg en la zona 2 y a los 184,5 mg/kg en la zona 4. La zona 3 presentó el año 2015 un valor medio de 450,0 mg/kg. Dado que no se tienen más registros, no se sabe la tendencia temporal que presenta dicha área. En cuanto a las tendencias observadas de los valores medios, la zona 2 ha presentado un aumento desde al año 2016, mientras que en la zona 4 se destaca un comportamiento que no presenta variaciones significativas con el pasar de los años, manteniéndose sobre los niveles de referencia. Del mismo modo, la zona de estudio 1 se ha mantenido bajo los 5 mg/kg. La zona de estudio 6 presentó valores medios que estuvieron entre los valores máximo y mínimo de las referencias consideradas, destacando algunos valores atípicos. En particular, la zona 5 presentó un aumento el año 2019, sin embargo, los registros están dentro del rango de los registros de los años 2013 y 2014. Finalmente, la zona de estudio 8 presentó registros sobre los 100 mg/kg en los años 2018 y 2020, mientras que el año 2019 el valor medio obtenido fue de 54,7 mg/kg, no mostrando una tendencia clara en el tiempo.

Respecto a los registros y gráficas asociados al estrato intermareal (Figura 4.4-73), se observa que las zonas de estudio 2, 3,4 y5 tuvieron todos los valores de concentración sobre las normas de referencia utilizadas. Por otro lado, las zonas de estudio 1 y 7 presentaron valores medios bajo los niveles de referencia. En cuanto a las tendencias obtenidas, se destaca que las zonas 4 y 5 tienen una tendencia a la disminución de la concentración, mientras que la zona de estudio 2 no presenta un comportamiento claro.

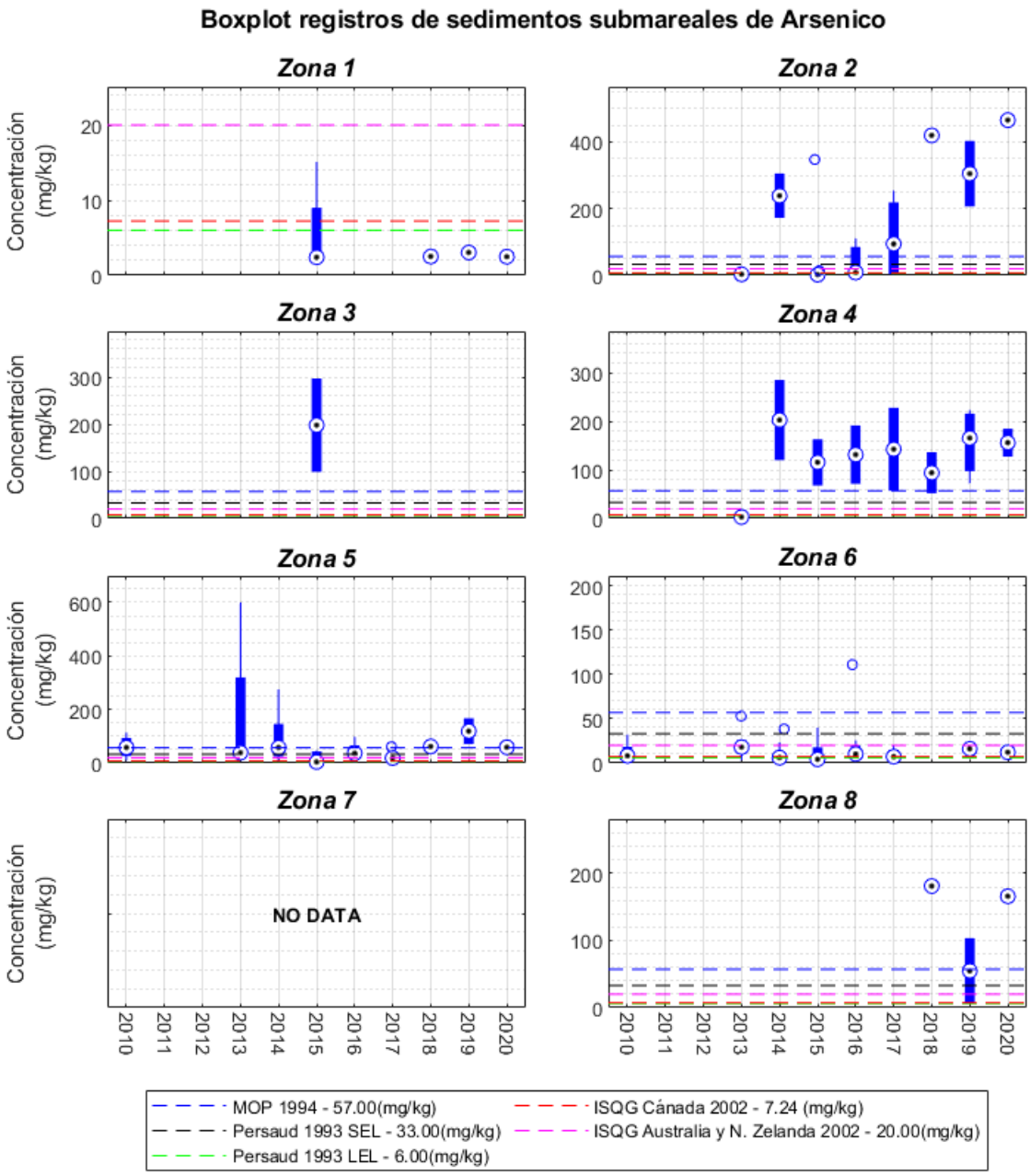


Figura 4.4-72: Gráfico de caja y bigote de los registros de arsénico en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

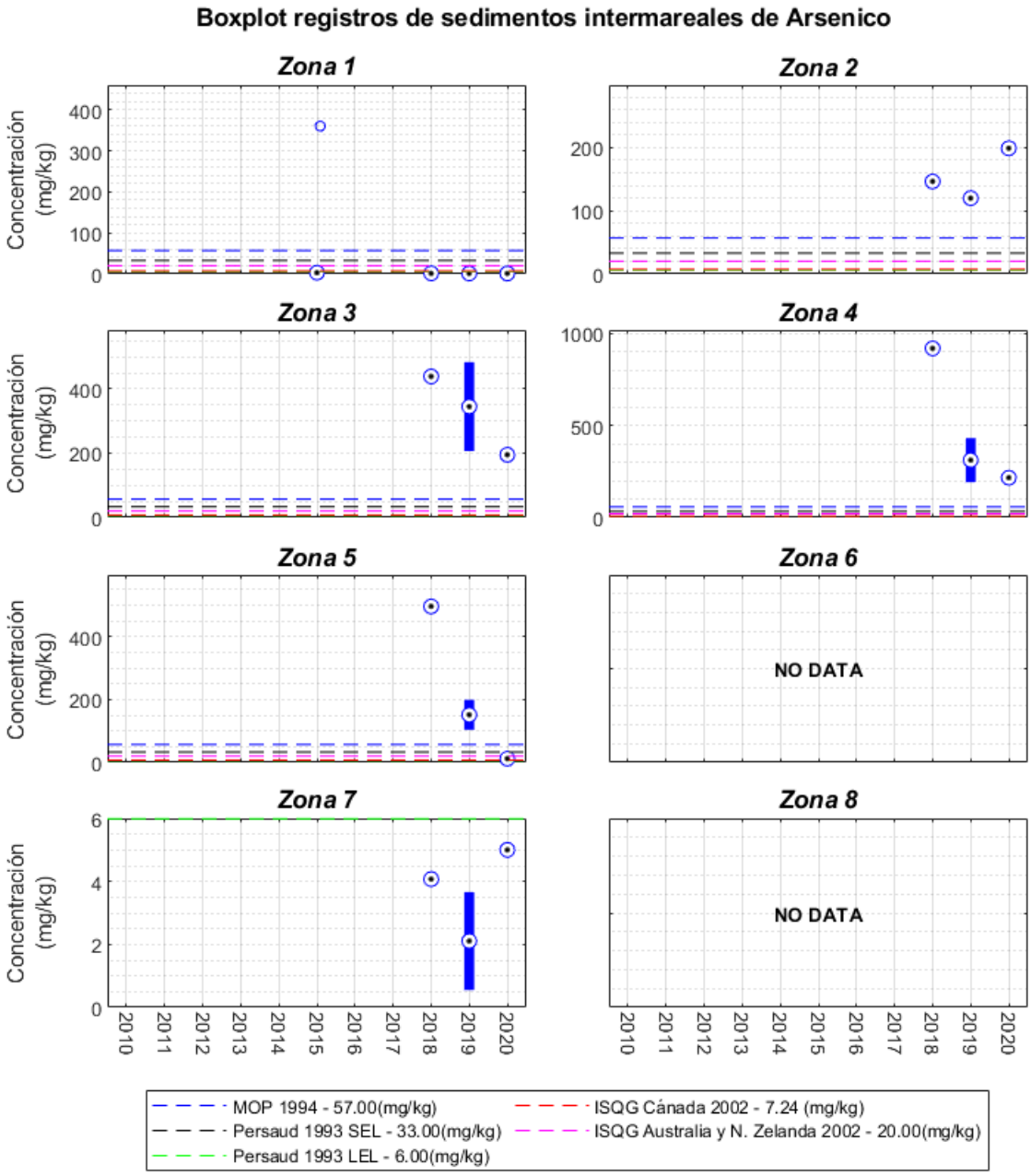


Figura 4.4-73: Gráfico de caja y bigote de los registros de arsénico en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla, para el período de estudio 2010-2020.

En la Figura 4.4-74 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de arsénico en sedimentos. Se destaca que en el estrato intermareal la zona de estudio 5 presenta la mayor dispersión, seguida de la zona 4, mientras que en el estrato submareal la mayor dispersión la presenta la zona 2. Respecto al total de los datos, se destacan las mayores concentraciones en la zona de estudio 3, donde se ve un aumento desde la zona 1 hacia esta, y una disminución hacia la zona 7. La zona 8 presentó los mismos

niveles de concentración que la zona 4, presentando un aumento respecto a su predecesora, la zona 7. Respecto a los valores medios de obtenidos en cada una de las zonas (círculos blancos con punto azul en su interior), se destaca que solo las zonas 1 y 7 están por debajo de los valores de referencia considerados, solamente la zona 7 la que presentó todos sus valores con esta característica. Por otro lado, las zonas 3,4 y 8 presentaron los valores medios sobre todos los valores de referencia. El resto de las zonas presentó valores medios entre los valores extremos de las normas consideradas.

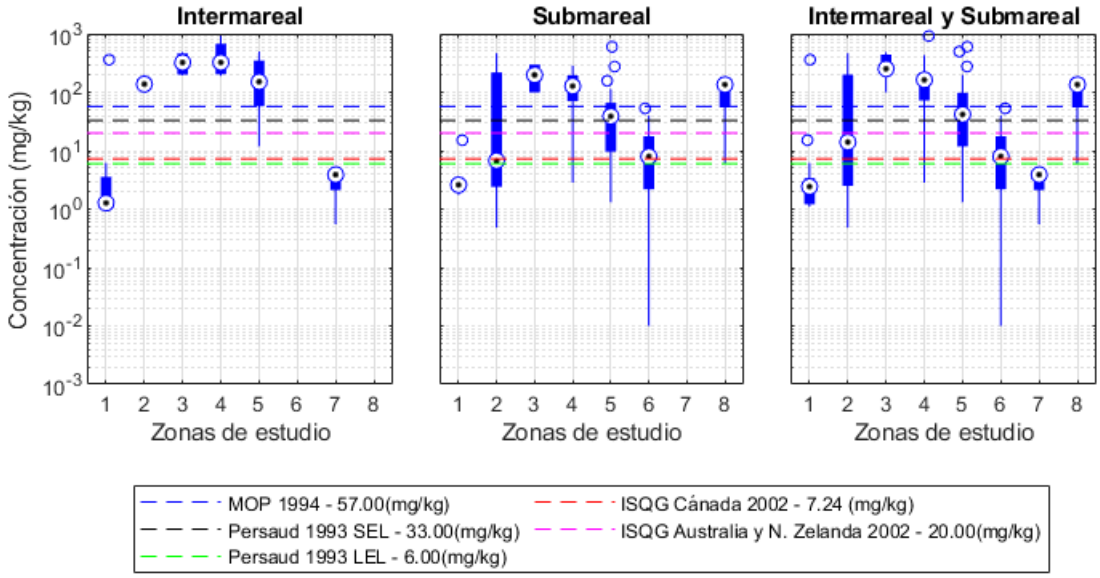


Figura 4.4-74 Diagramas de caja de concentración de arsénico en sedimento según estrato, para zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

ii. Cadmio

En la Figura 4.4-75 y en la Figura 4.4-76 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de cadmio en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Respecto a los registros submareales, se destacan los valores medios en las zonas 1, 4, 5 y 8 con valores bajo los niveles de referencia, a excepción de los obtenidos para el año 2010 en las zonas 4 y 5. La zona 2 presenta valores extremos altos sobre los niveles de referencia para el año 2015, coincidente con el evento de aluvión que ocurrió en el sector de cenizales. Cabe destacar que en las mediciones posteriores los niveles de cadmio estuvieron bajo los niveles de referencia, pudiendo representar un lavado de los sedimentos submareales ante el evento ocurrido. El resto de las zonas de estudio presentaron valores medios entre las referencias consideradas. Para todas las zonas de estudio no se ven tendencias temporales claras de aumento o disminución de la concentración.

Respecto a los valores medios de los registros de cadmio en los sedimentos intermareales, se destaca que el comportamiento general en los últimos 2 años ha sido de disminución de la concentración hacia el valor de límite de detección 0,1 mg/kg, o mantenerse en dicho valor. El único valor medio sobre los niveles de referencia considerados fue para el año 2015 en la zona de estudio 1, corresponde al depósito de cenizas ubicado al norte de caleta vieja.

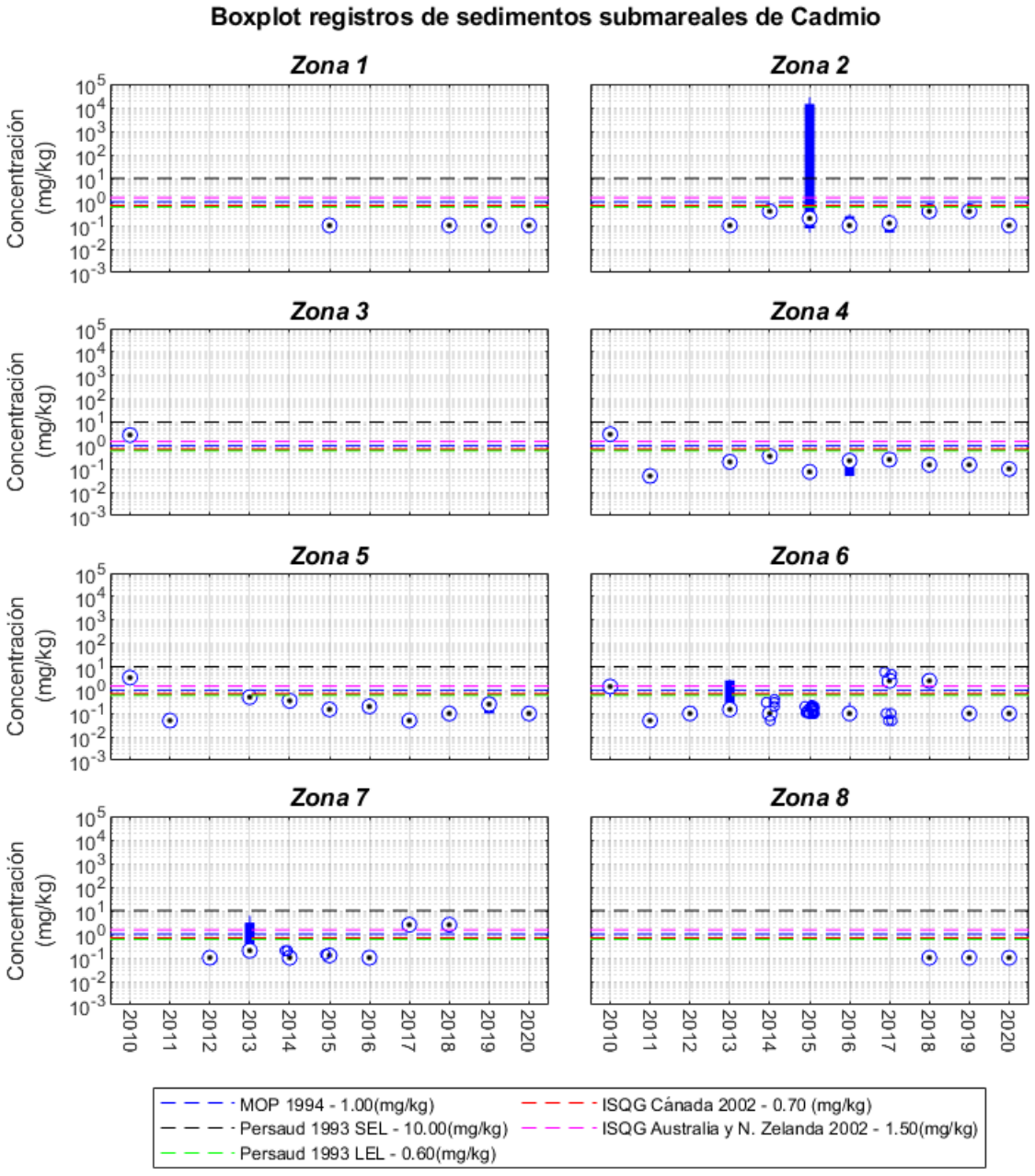


Figura 4.4-75: Gráfico de caja y bigote de los registros de cadmio en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

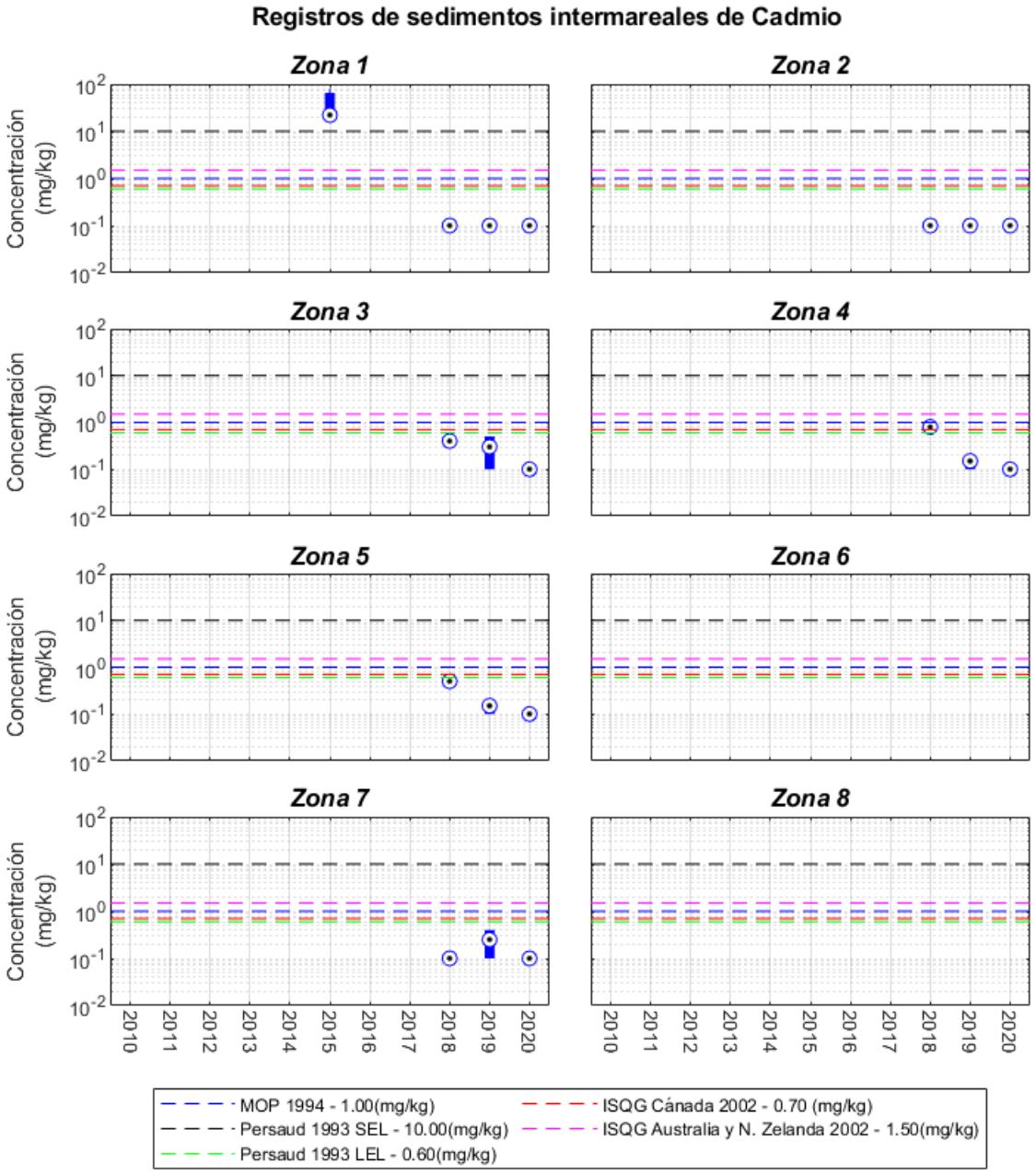


Figura 4.4-76: Gráfico de caja y bigote de los registros de cadmio en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla, para el período de estudio 2010-2020.

En la Figura 4.4-77 se adjunta el gráfico de “caja y bigotes” del total de registros de concentración de cadmio en sedimentos. Se destaca que en general los valores medios estuvieron bajo los niveles de referencia considerados, tanto en el estrato intermareal,

submareal y ambos, a excepción del valor obtenido para la zona de estudio 3 en los sedimentos submareales.

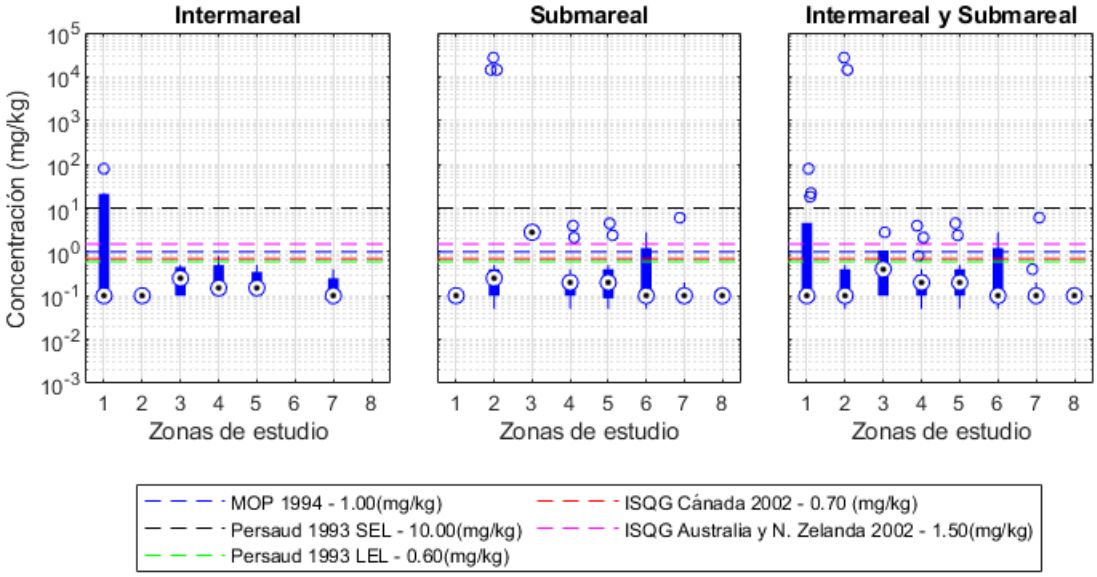


Figura 4.4-77: Diagramas de caja de concentración de cadmio en sedimento según estrato, para zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

iii. Cobre

En la Figura 4.4-78 y en la Figura 4.4-79 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de cobre en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Para los sedimentos submareales se destaca el alto contenido en general de este metal en la bahía, siendo las zonas de estudio 2 y 4 las que presentan los mayores registros de concentración. Así, respecto a los valores medios, se observa que las zonas de estudio 2, 3, 4, 5 y 8 se encuentran sobre los valores de referencia considerados. La zona de estudio 6, si bien presentó valores medios atípicos sobre los niveles de referencia, los años 2010, 2014 y 2015 se encontró bajo los niveles de referencia menos restrictivos (MOP, 1994 y Persaud SEL, 1993). Por otro lado, las zonas de estudio 1 y 7 presentaron valores entre los niveles de referencia considerados, siendo las zonas con los valores medios de concentración más bajos. En cuanto a las tendencias temporales, se destaca en la zona de estudio 2 un aumento en la concentración desde el año 2016 hacia el año 2018, manteniéndose entre los 3000 mg/kg y 4000 mg/kg hasta el año 2020. Por otro lado, las zonas de estudio 4 y 5 presentan un comportamiento variante al disminuir y aumentar la concentración de este parámetro desde el año 2014, no presentando una tendencia clara.

Respecto a la concentración de cobre en el estrato intermareal de sedimentos, se destacan los valores medios sobre los niveles de referencia en las zonas de estudio 2, 3, 4 y 5, mientras que en las zonas 1 y 7 se obtuvieron valores medios bajo la concentración más permisiva de los niveles de referencia considerados (130 mg/kg), a excepción del obtenido

para el año 2019. En cuanto al comportamiento temporal del análisis realizado, se destaca una disminución sostenida en la zona de estudio 5 desde el año 2018. Para las zonas de estudio 2, 3 y 4 se destaca una disminución en los valores medios de concentración desde el año 2018 hasta el año 2019, sin embargo, entre el año 2019 y 2020 se observa un leve aumento para las zonas 2 y 4, y una leve disminución para la zona 3, por lo que no se ve una tendencia clara de cambio.

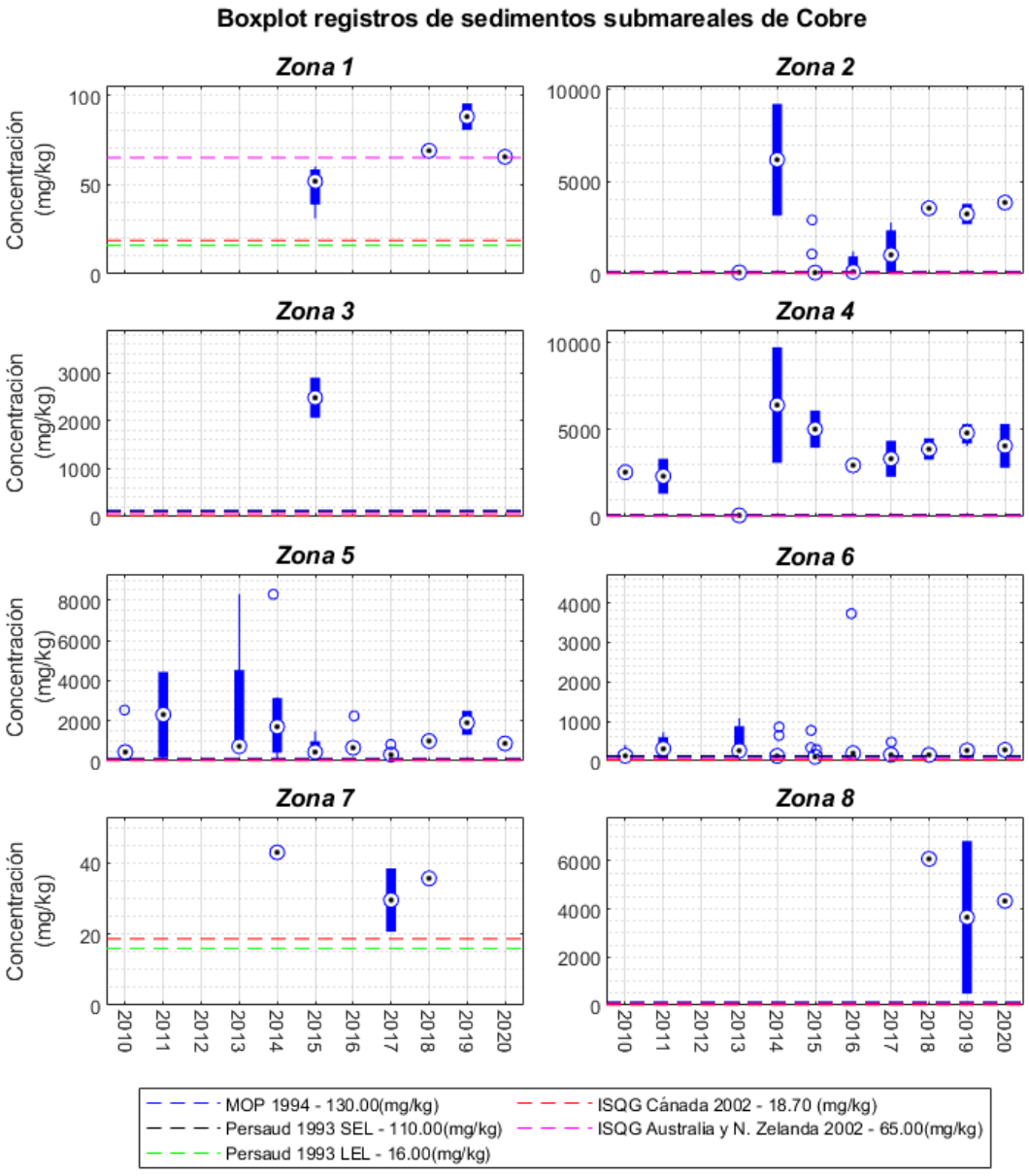


Figura 4.4-78: Gráfico de caja y bigote de los registros de cobre en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

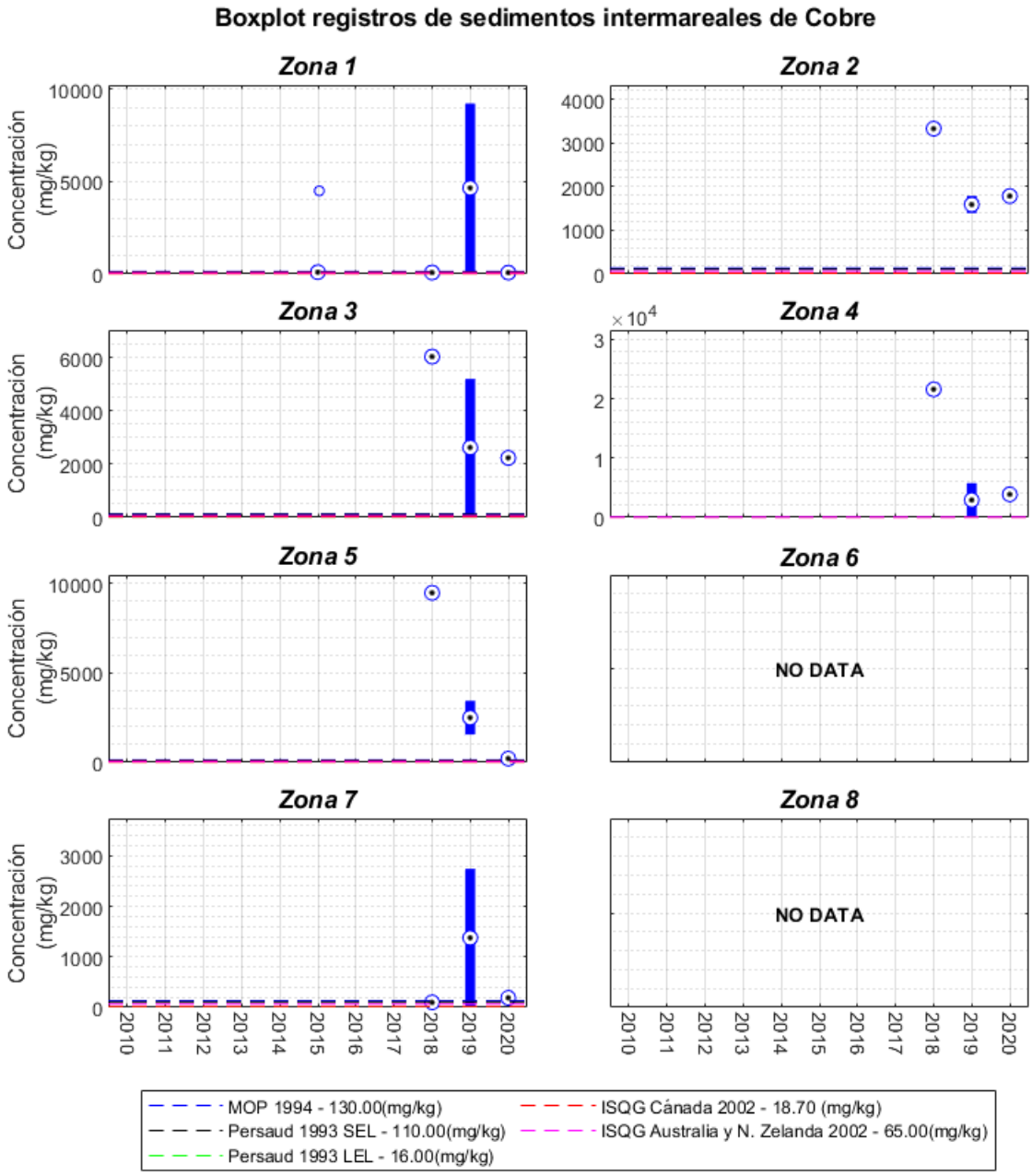


Figura 4.4-79: Gráfico de caja y bigote de los registros de cobre en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

En la Figura 4.4-80 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de cobre en sedimentos. Se destaca que en general los valores medios estuvieron sobre los niveles de referencia considerados, tanto en el estrato intermareal, submareal y ambos, a excepción del valor obtenido para las zonas de estudio 1, 7 y 6. Se destaca un aumento desde la zona de estudio 1 hasta la zona de estudio 4, que da paso a una disminución hasta la zona de estudio 7. El valor medio de la zona de estudio 8 fue el

máximo obtenido, siendo comparable a los valores de concentración registrados en la zona de estudio 4.

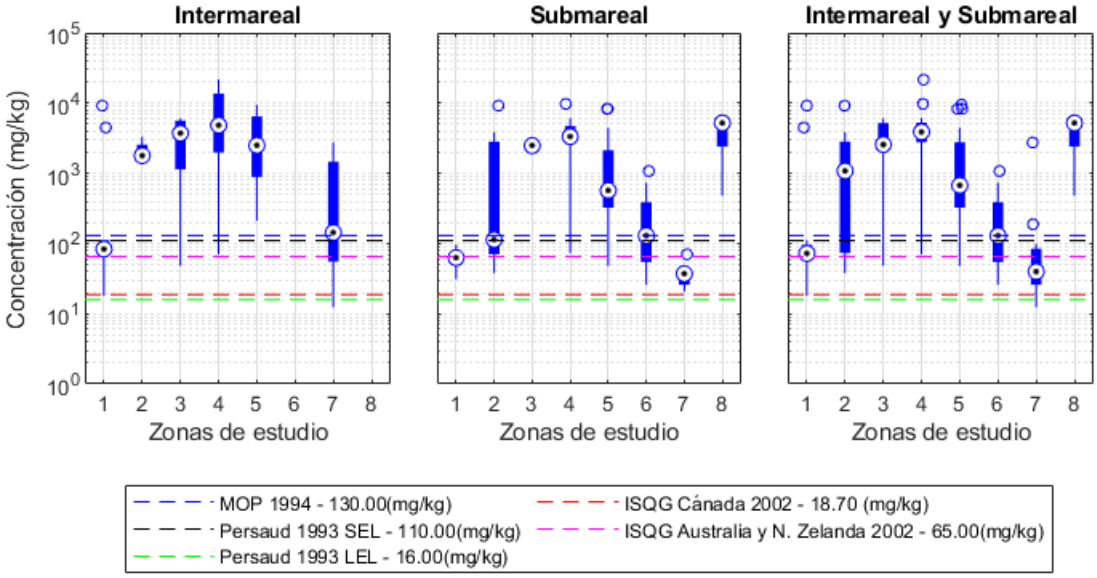


Figura 4.4-80: Diagramas de caja de concentración de cobre en sedimento según estrato, para zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

iv. Cromo

En la Figura 4.4-81 y en la Figura 4.4-82 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de cromo en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. En los sedimentos submareales se destaca el comportamiento general de los valores medios de concentración para las distintas zonas de estudio, de estar bajo los niveles de referencia considerados. En las zonas de estudio 2, 4, 5 y 8 se obtuvieron valores medios sobre 1 o más concentraciones de referencia. En particular, para el año 2018 se obtuvo un valor medio sobre los 110 mg/kg en el año 2018, para luego obtener valores medios bajo los 20 mg/kg. En cuanto al comportamiento temporal, en los últimos 3 años se ha visto un aumento en la concentración de este parámetro en las zonas de estudio 1, 2, 4, 5 y 6.

Con respecto a los valores medios obtenidos para los sedimentos intermareales (Figura 4.4-82), se destaca que de manera general están por sobre el nivel de referencia más estricto de 26 mg/kg (Persaud - LEL, 1993). Del mismo modo, para todas las zonas de estudio se destaca que los valores medios estuvieron comprendidos de manera general entre los valores extremos de los niveles de referencia considerados. Respecto a las tendencias temporales observadas de los valores medios, se destaca para la zona 1 una disminución sostenida en los últimos 3 años, mientras que para la zona 2 se observó un aumento desde el año 2018 hasta el año 2019, estabilizándose para el año 2020. El resto de las zonas de estudio no presenta un comportamiento claro al presentar una disminución y un posterior aumento desde el año 2018 hasta el año 2020.

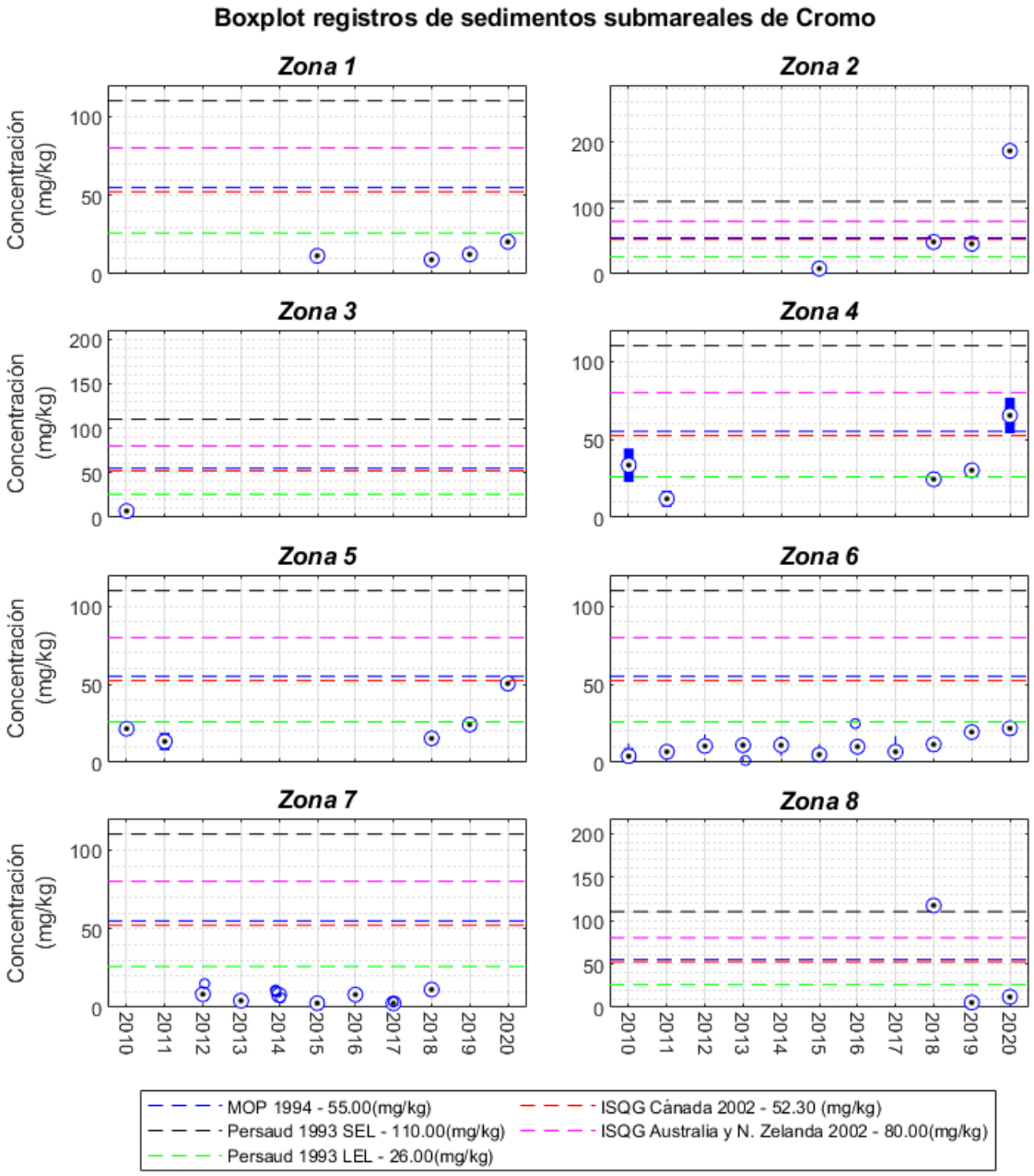


Figura 4.4-81: Gráfico de caja y bigote de los registros de cromo en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

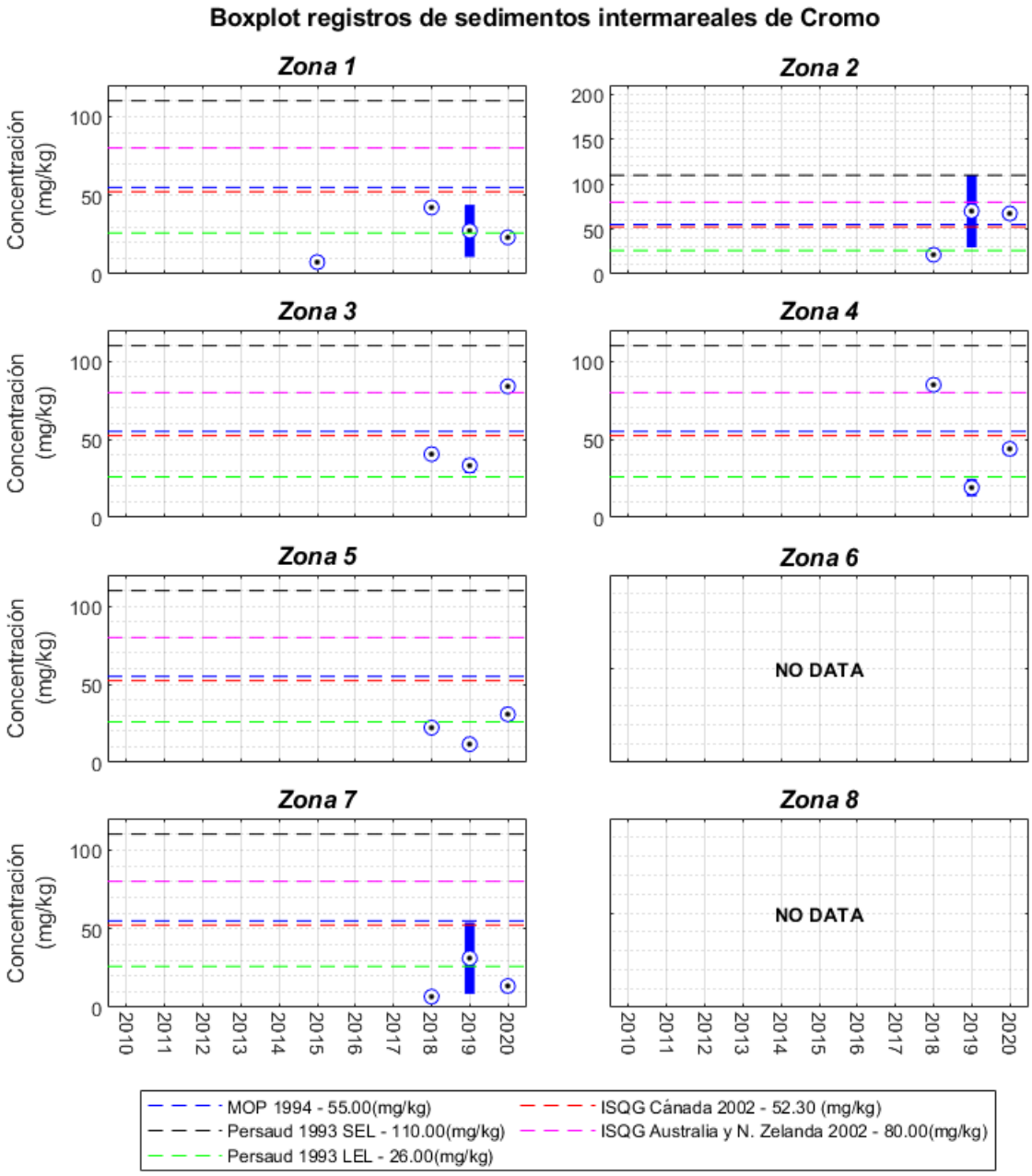


Figura 4.4-82: Gráfico de caja y bigote de los registros de cromo en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

En la Figura 4.4-83 se adjunta el gráfico de “caja y bigotes” del total de registros de concentración de cromo en sedimentos. Se destaca de manera general valores medios bajo los niveles de referencia. Los valores medios de las zonas de estudio 2, 3 y 4 estuvieron sobre el nivel de referencia más restrictivo de 26 mg/kg, sin embargo, no sobrepasaron las otras concentraciones consideradas. Otra consideración importante es la distribución espacial obtenida para los valores medios de concentración al considerar los datos en

conjunto de los estratos intermareal y submareal, donde se destaca un aumento desde la zona de estudio 1 hasta la zona 2, para luego disminuir hasta la zona 7, siendo similar a lo obtenido para otras componentes en estudio.

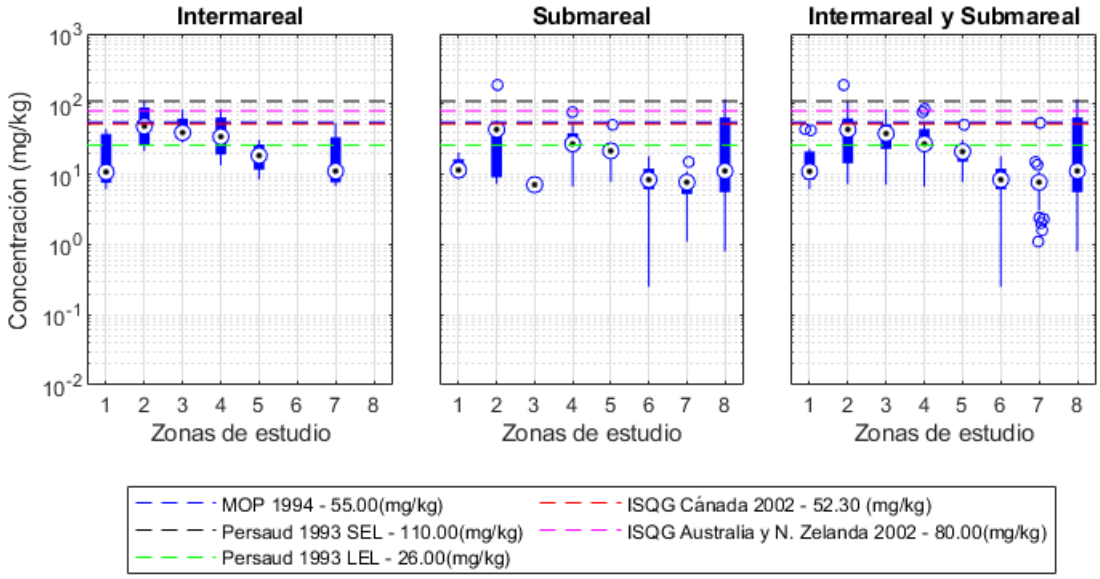


Figura 4.4-83: Diagramas de caja de concentración de cromo en sedimento según estrato, para zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

v. Hierro

En la Figura 4.4-84 y en la Figura 4.4-85 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de hierro en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Respecto a los resultados de los sedimentos submareales, se destaca los elevados valores medios de concentración obtenidos en las zonas de estudio 3, 4, 5 y 8, sobrepasando los niveles de referencia considerados. Por otro lado, las zonas de estudio 1 y 6 presentaron valores entre las normas de referencia, con una excepción bajó los niveles en el año 2018 para la zona 1, y en el año 2020 en la zona 6. En cuanto al comportamiento temporal, se destaca una tendencia al aumento de la concentración en la zona 2. En el resto de las zonas de estudio no es claro debido a un aumento y posterior disminución del valor medio de concentración entre los años 2018 y 2020. La zona de estudio 1 no presenta una tendencia clara al aumento de concentración debido a que los registros están dentro de los valores de concentración históricos obtenidos el año 2015.

En cuanto a los resultados obtenidos para el estrato intermareal (Figura 4.4-85), se destaca en las zonas de estudio 2, 3 y 4, valores medios de concentración sobre los niveles de referencia considerados. Las zonas de estudio 1 y 5 presentaron valores medios sobre las referencias consideradas y bajo el nivel más restrictivo de ellas. La zona de estudio 7 presentó valores medios bajo el nivel más restrictivo de referencia en los años 2018 y 2019, para luego superar los 20000 mg/kg el año 2020. En cuanto a las tendencias observadas, se

destaca un aumento en la zona de estudio 2 para el periodo 2018 -2020, mientras que en el resto de las zonas de estudio no se observó un aumento o disminución sostenida en el tiempo.

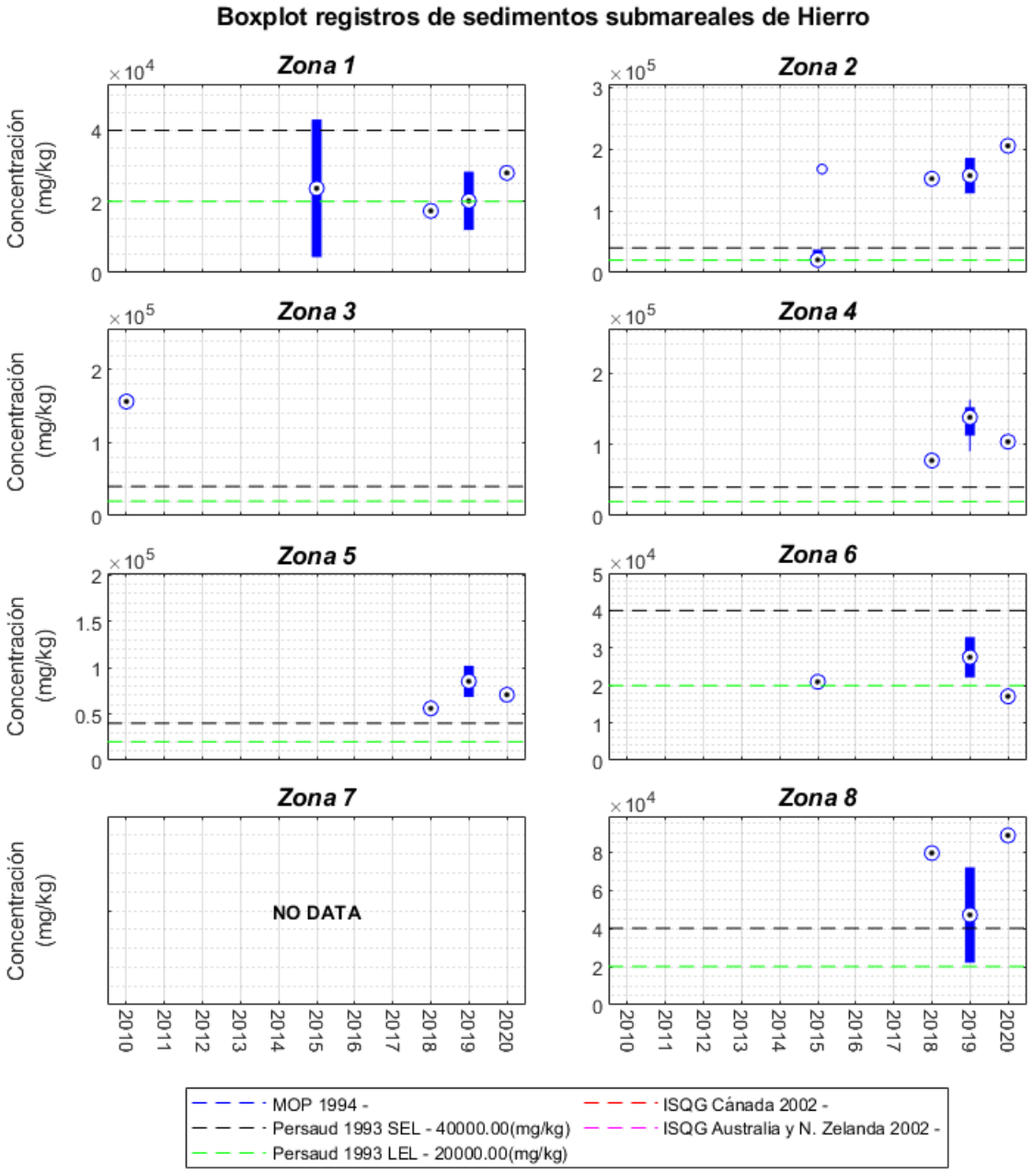


Figura 4.4-84: Gráfico de caja y bigote de los registros de hierro en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

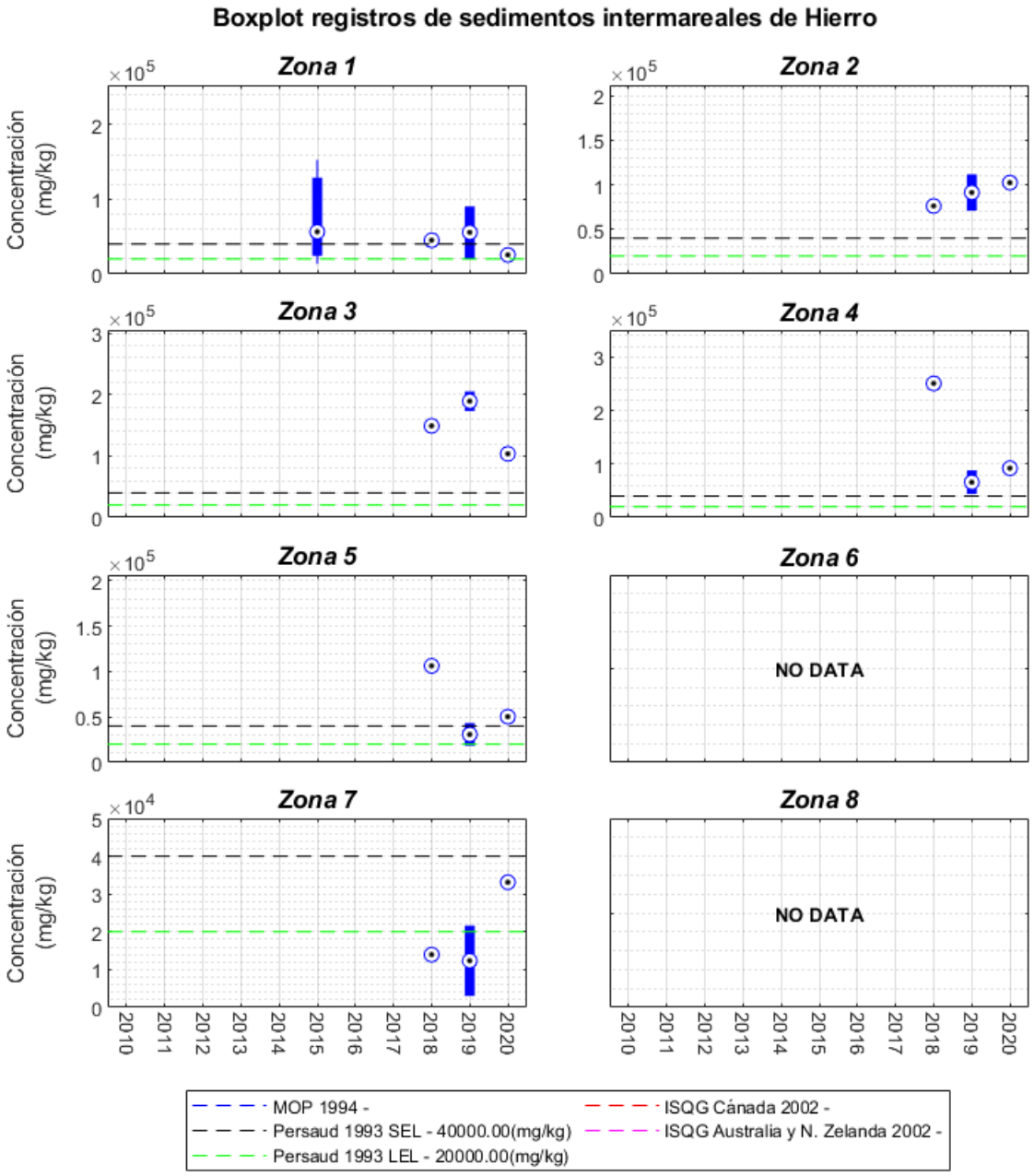


Figura 4.4-85: Gráfico de caja y bigote de los registros de hierro en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

En la Figura 4.4-86 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de hierro en sedimentos, donde se destaca de manera general un aumento en los valores medios de concentración desde la zona de estudio 1 hasta la zona 4, para luego disminuir hasta la zona 7, y posteriormente aumenta hasta la zona 8. Este comportamiento es similar al presentado en otros parámetros en estudio. Además, es

importante mencionar que las zonas de estudio 2, 3, 4 y 5 presentaron valores medios de concentración sobre los niveles de referencia considerados.

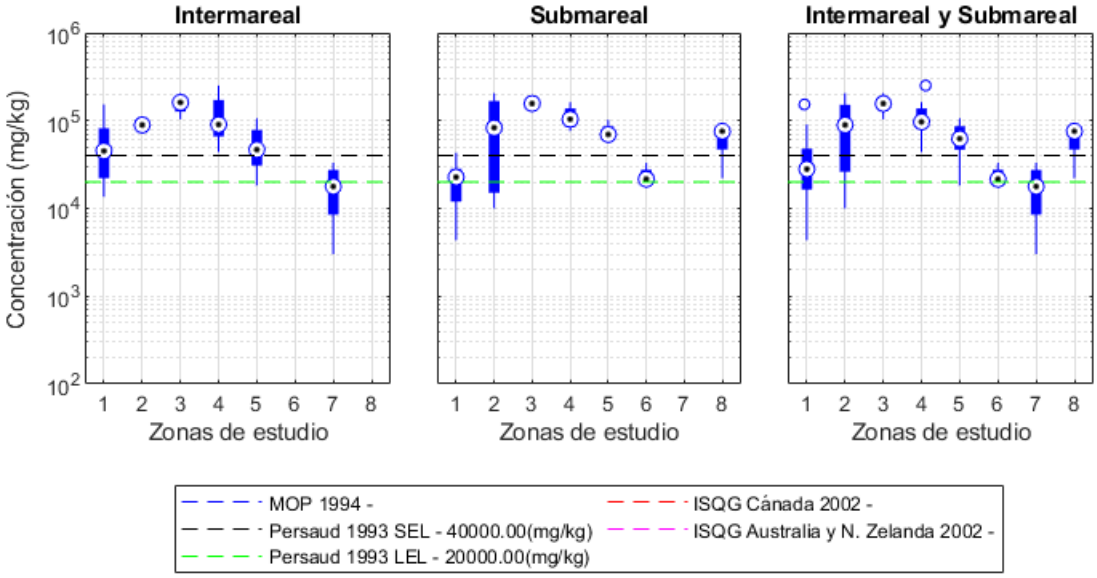


Figura 4.4-86: Diagramas de caja de concentración de hierro en sedimento según estrato y zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

vi. Níquel

En la Figura 4.4-87 y en la Figura 4.4-88 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de níquel en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. De los resultados en sedimentos submareales, se destaca como comportamiento general los bajos valores medios de concentración en las zonas de estudio 1, 2 y 7, mientras que en las zonas de estudio 3, 4, 5, 6 y 8 se obtuvieron valores medios cercanos al valor de referencia más restrictivo de 21 mg/kg (ISQG Australia y N. Zelanda, 2002). En cuanto al comportamiento temporal de los valores medios de concentración, no se aprecian tendencias claras a la disminución o aumento de este parámetro, pues tienden a tener valores similares en las zonas 1, 2, 4 y 5 a través del tiempo, y de variaciones con aumentos y disminuciones en las zonas 6 y 7. En la zona de estudio 8 se observó una disminución brusca desde el año 2018 al año 2019, para pasar a un leve aumento al año 2020, no permitiendo obtener una tendencia temporal en cuanto a la variación de concentración como función del tiempo.

Respecto a los resultados obtenidos en el estrato intermareal de sedimentos (Figura 4.4-88), se destacan los bajos valores en todas las zonas de estudio, estando bajo todos los niveles de referencia considerados. Del mismo modo, no se destaca una tendencia temporal clara en ninguna zona.

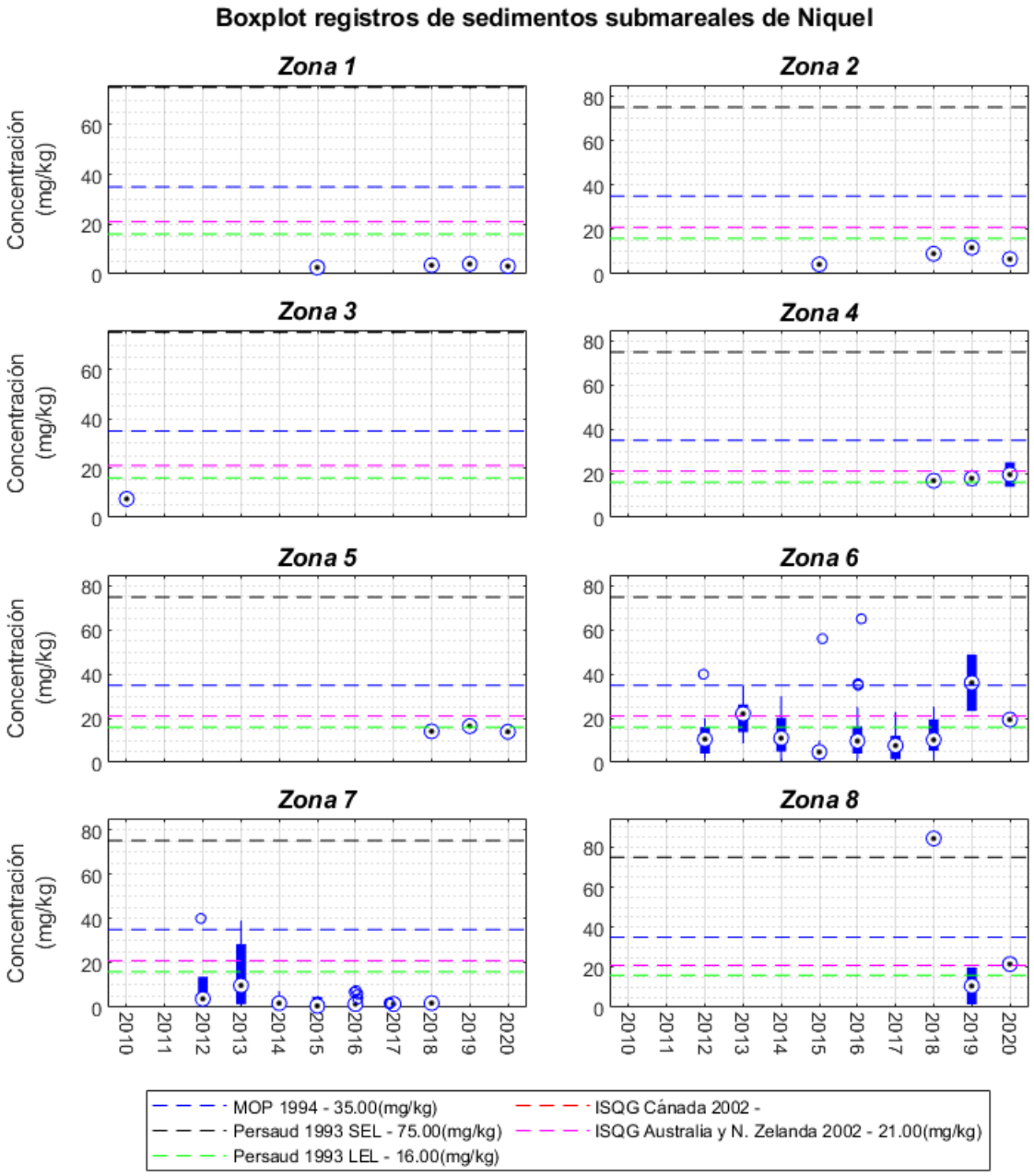


Figura 4.4-87: Gráfico de caja y bigote de los registros de níquel en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

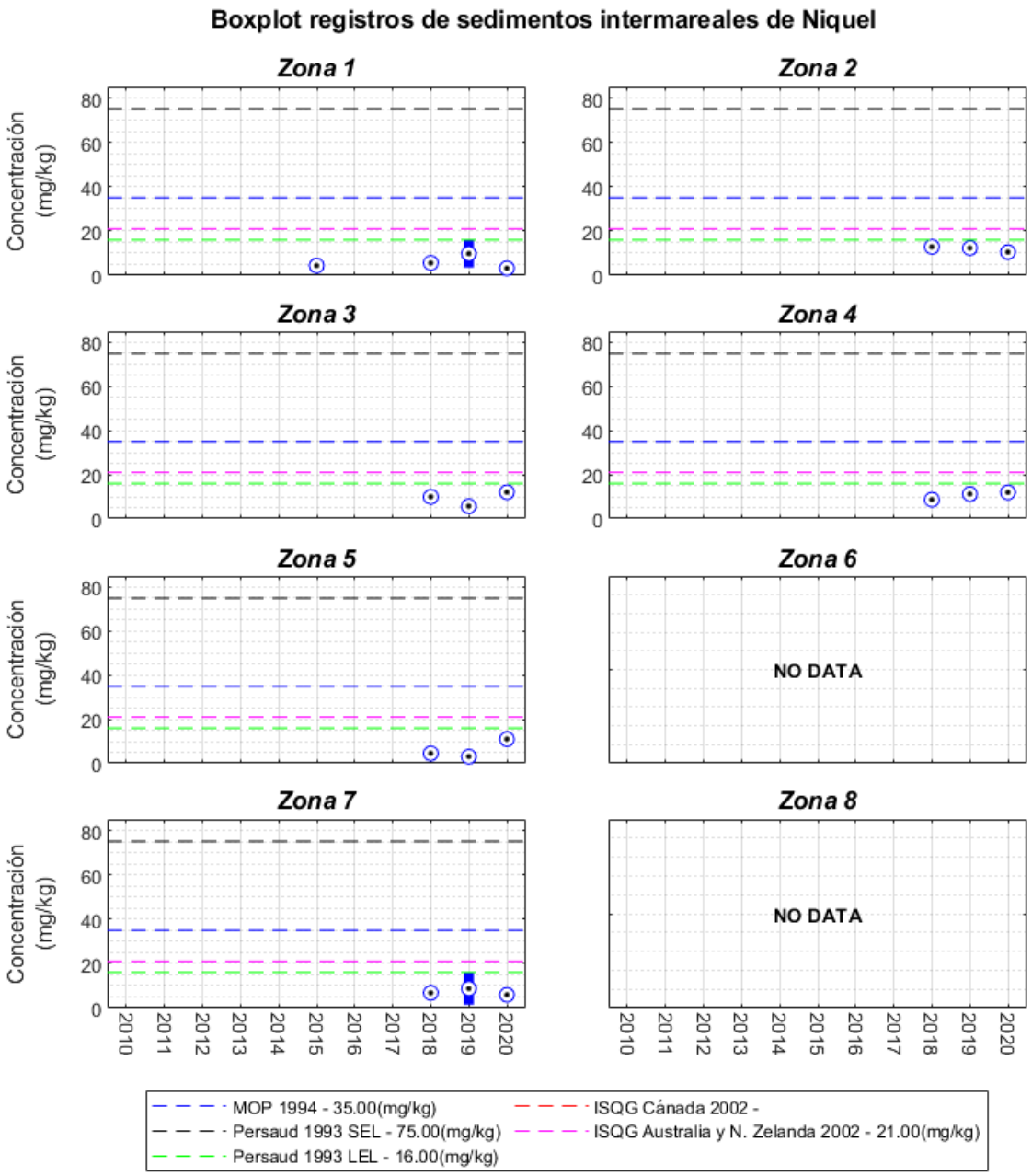


Figura 4.4-88: Gráfico de caja y bigote de los registros de níquel en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

En la Figura 4.4-89 se adjunta el gráfico de "caja y bigotes" del total de registros de concentración de níquel en sedimentos, donde se destaca de manera general las bajas concentraciones en las distintas zonas de estudio, de manera tal que solo la zona 8 presentó un valor medio sobre los niveles de referencia considerados.

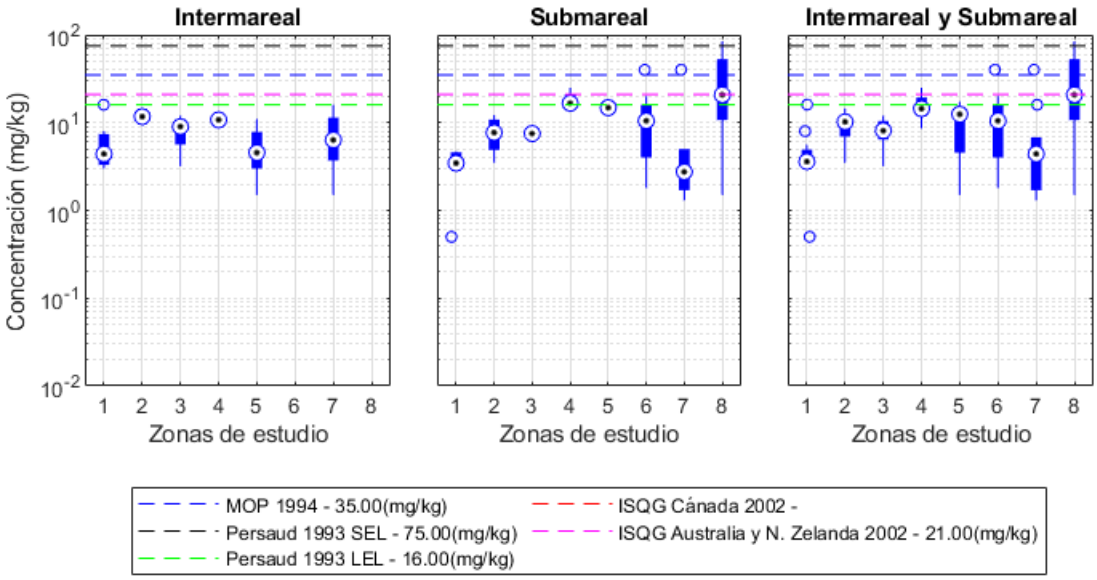


Figura 4.4-89: Diagramas de caja de concentración de níquel en sedimento según estrato y zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

vii. Plomo

En la Figura 4.4-90 y en la Figura 4.4-91 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de plomo en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. De los resultados obtenidos para el estrato submareal de sedimentos, se destacan los bajos valores de concentración obtenidos para las zonas de estudio 1, 3, 6, 7 y 8, estando bajo los niveles de referencia considerados. Las zonas de estudio 2, 4 y 5 presentaron valores medio de concentración más cercanos a las concentraciones de referencia, superando inclusive la zona 5 los 50 mg/kg el año 2017. Sin embargo, el comportamiento general de las zonas mencionadas anteriormente es el de estar bajo los niveles de referencia la mayoría del tiempo. En cuanto a las tendencias temporales observadas, el comportamiento general es el de pocas variaciones en la concentración en función del tiempo, manteniendo registros similares entre los años considerados. La excepción a este comportamiento lo presentí la zona 8, la cual da cuenta de una tendencia a la disminución desde el año 2018 hasta el año 2020.

En cuanto a los resultados obtenidos para el estrato intermareal de sedimentos (Figura 4.4-91), se destacan concentraciones bajo los niveles de referencia como comportamiento general, obteniendo concentraciones medias sobre la normativa en los años 2018 para las zonas de estudio 3, 4 y 5. En cuanto a la tendencia temporal, en la zona de estudio 5 se observa una disminución sostenida de los valores medios desde el año 2018 al año 2020. El resto de las zonas de estudio presenta un comportamiento sin grandes variaciones entre los años considerados.

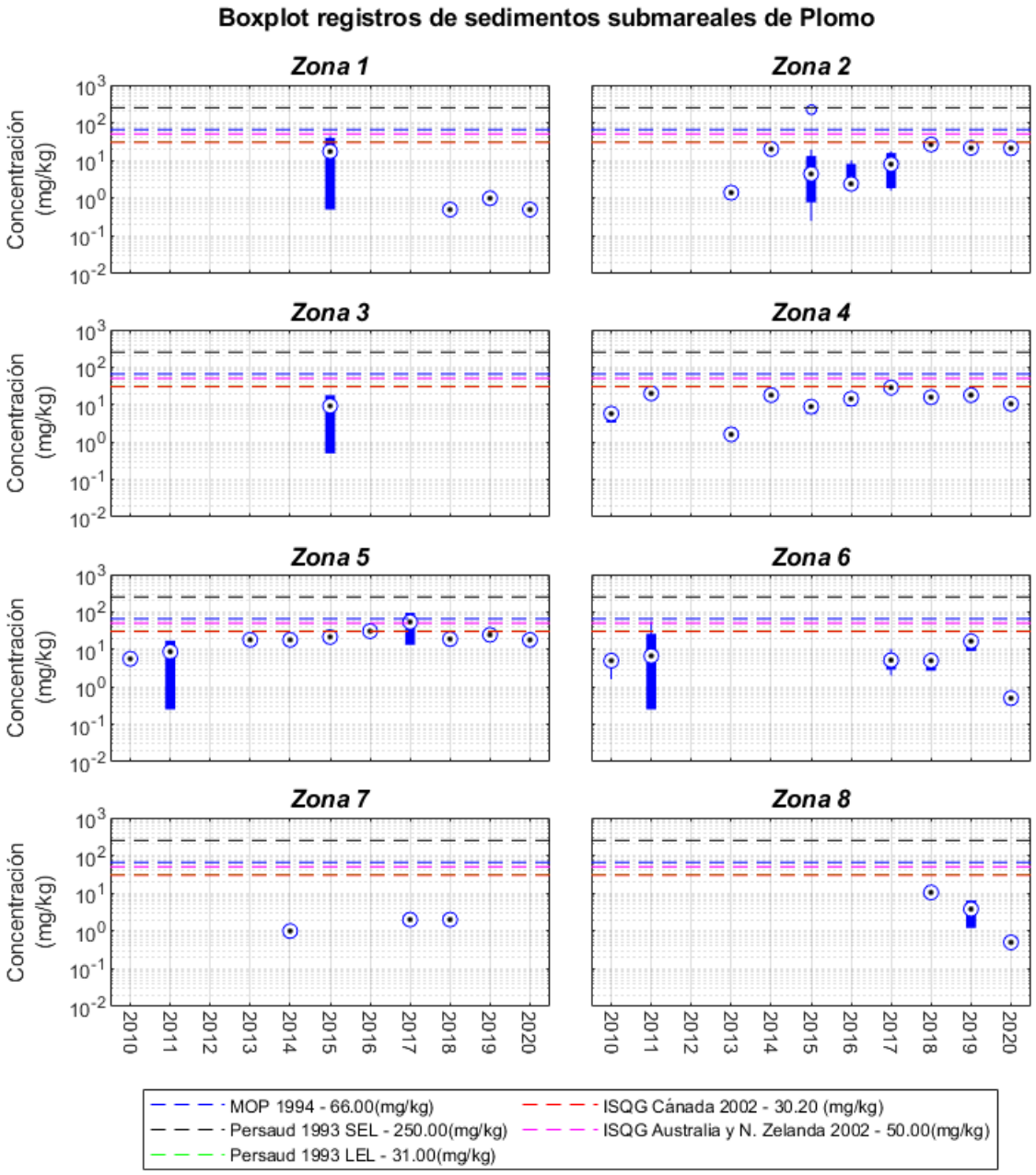


Figura 4.4-90: Gráfico de caja y bigote de los registros de plomo en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

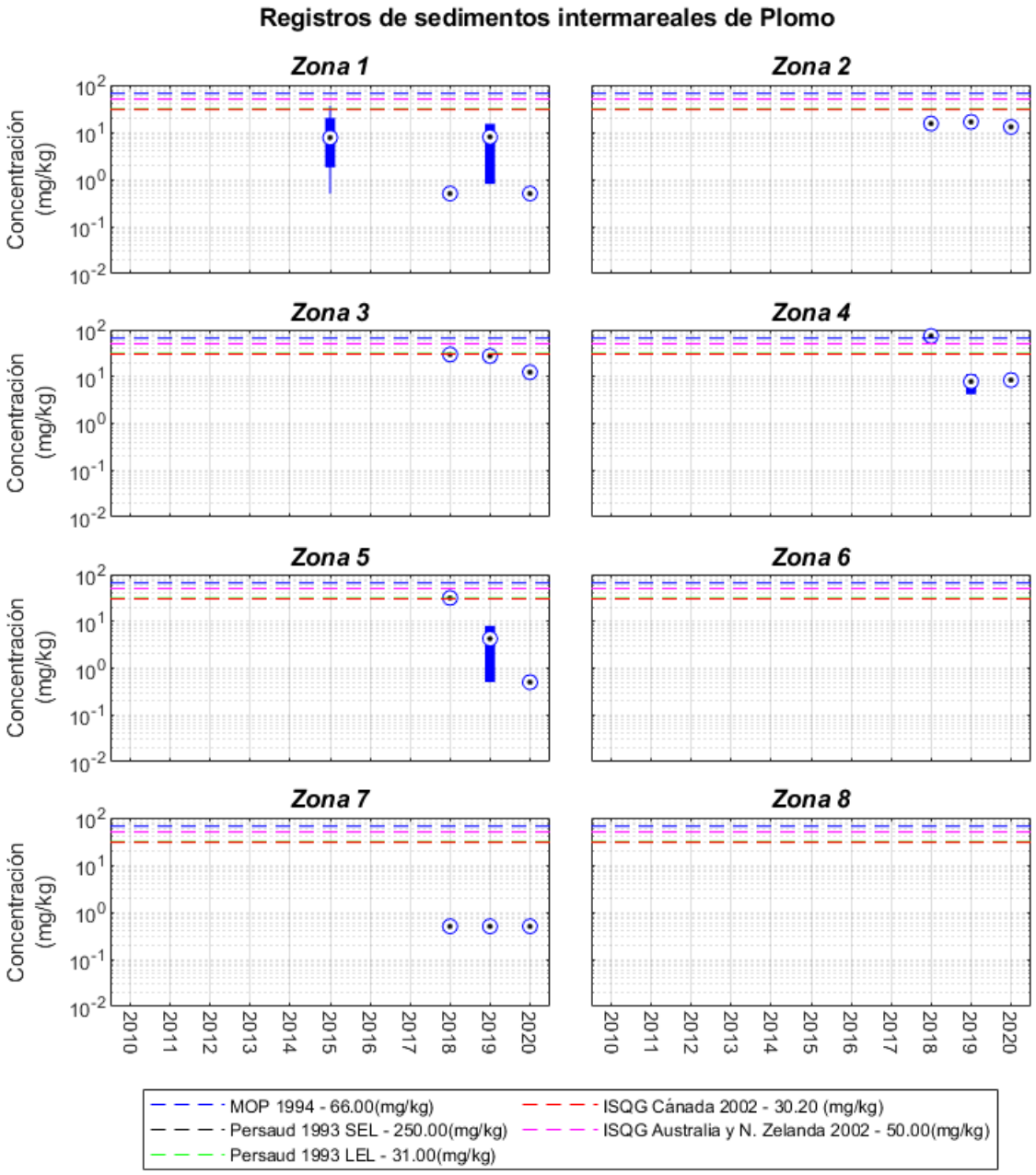


Figura 4.4-91: Gráfico de caja y bigote de los registros de plomo en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

En la Figura 4.4-92 se adjunta el gráfico de “caja y bigotes” del total de registros de concentración de plomo en sedimentos, donde se destaca los bajos valores medios de concentración en todas las zonas de estudio, de manera tal que se encuentran bajo los niveles de referencia considerados. En cuanto a la distribución espacial de los valores medios de concentración, se destaca un aumento desde la zona de estudio 1 hasta la zona de estudio 3, para luego disminuir hasta la zona de estudio 7. Posteriormente se tiene un

aumento hasta la zona 8. Este comportamiento es similar al obtenido para otros parámetros en estudio.

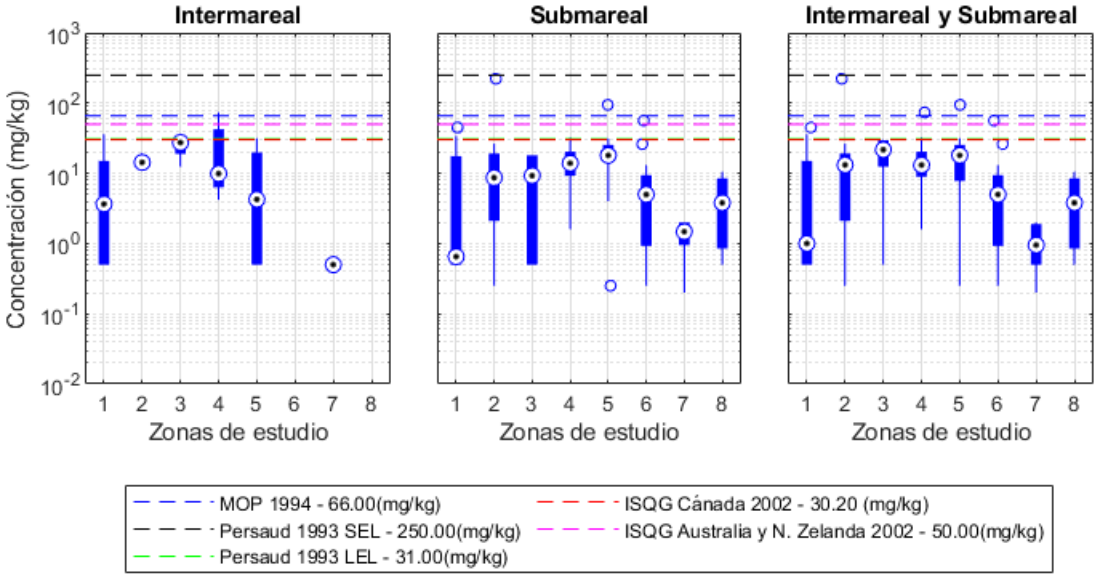


Figura 4.4-92: Diagramas de caja de concentración de plomo en sedimento según estrato y zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

viii. Vanadio

En la Figura 4.4-93 y en la Figura 4.4-94 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de vanadio en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. De los resultados del estrato submareal de sedimentos, se destaca que las zonas 2, 3, 4 y 5 tuvieron los valores medios de concentración entre los 100 mg/kg y 200 mg/kg. Para este parámetro no se contó con valores de referencia según las fuentes consideradas para el análisis de metales en sedimentos. Por otro lado, las zonas de estudio 6 y 7 resultaron con valores medio bajo los 100 mg/kg. En cuanto a las tendencias temporales, se destaca un comportamiento más bien estable para las zonas de estudio 1, 2 y 4, donde la variación de concentración para el periodo en estudio presentó valores dentro de los rangos históricos observados. La zona 6 presentó un aumento en el periodo e2018-2020 respecto a los valores medios observados en el periodo 2012-2017, pasando desde 30 mg/kg a 80 mg/kg. La zona 7 presentó una disminución desde el año 2013 hasta el año 2015, para pasar a tener un comportamiento de aumentos y disminuciones en el periodo 2016-2020, manteniendo los valores de concentración en los rangos históricos observados.

Respecto a los resultados del estrato intermareal de sedimentos (Figura 4.4-94), destacan los valores medios de concentración obtenidos para el año 2020 en las zonas de estudio 3, 5 y 7, siendo mayores a los obtenidos para años anteriores. Sin embargo, dado que desde el año 2018 al año 2019 se observa una leve disminución en la concentración, no se considera una tendencia ascendente de este parámetro. En la zona de estudio 4 se observa

un comportamiento distinto al verse una tendencia a la disminución en la concentración de vanadio desde el año 2018. La zona de estudio 2 presenta valores medios de concentración estables entre los 130 mg/kg y 140 mg/kg en el periodo 2018-2020. En cuanto a la zona de estudio 1, se observa que los valores de concentración medios para los años 2018, 2019 y 2020 están dentro del rango de lo medido en el año 2015 por DIRECTEMAR, no observándose una tendencia clara respeto a las variaciones de concentración en el tiempo.

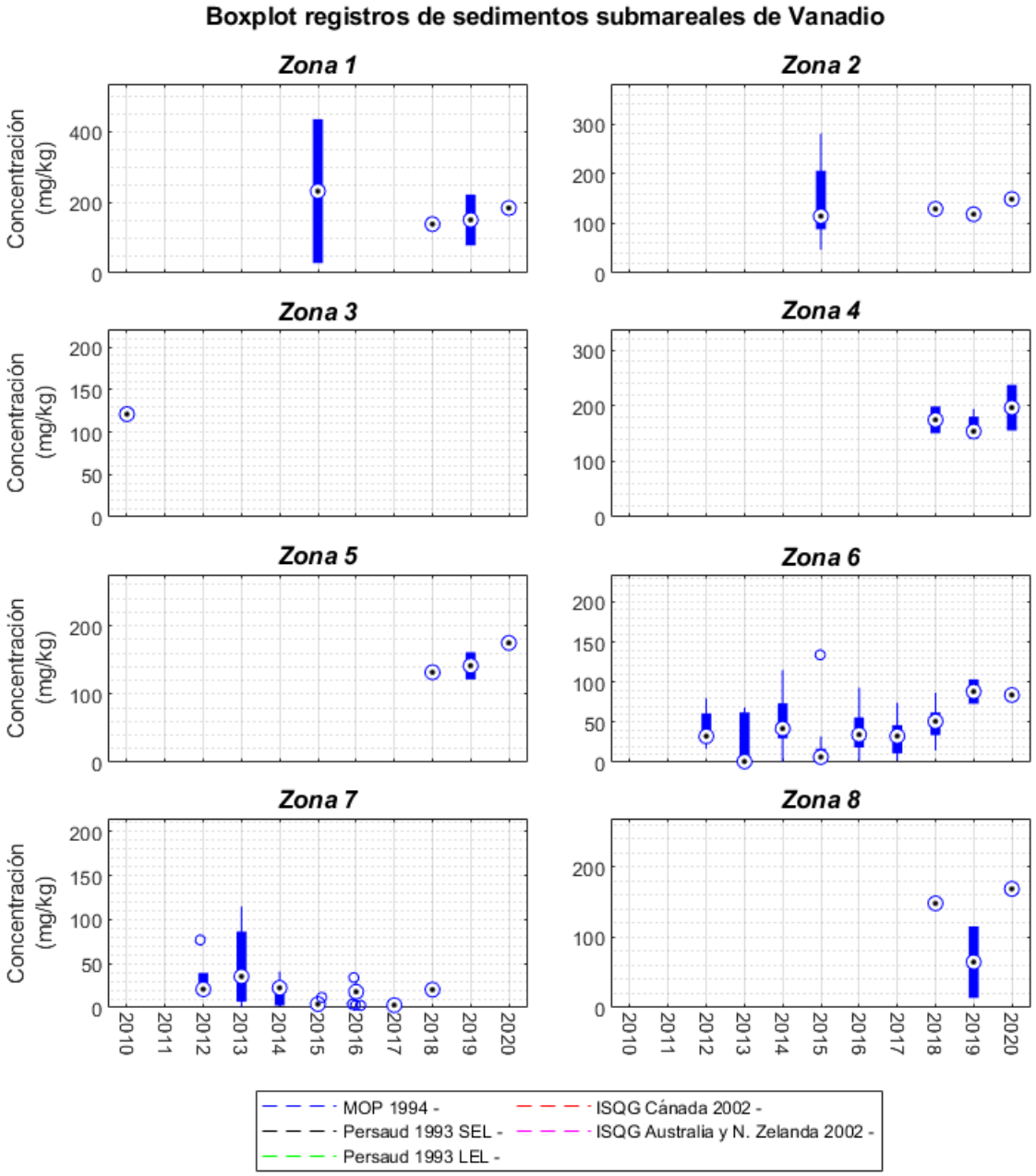


Figura 4.4-93: Gráfico de caja y bigote de los registros de vanadio en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

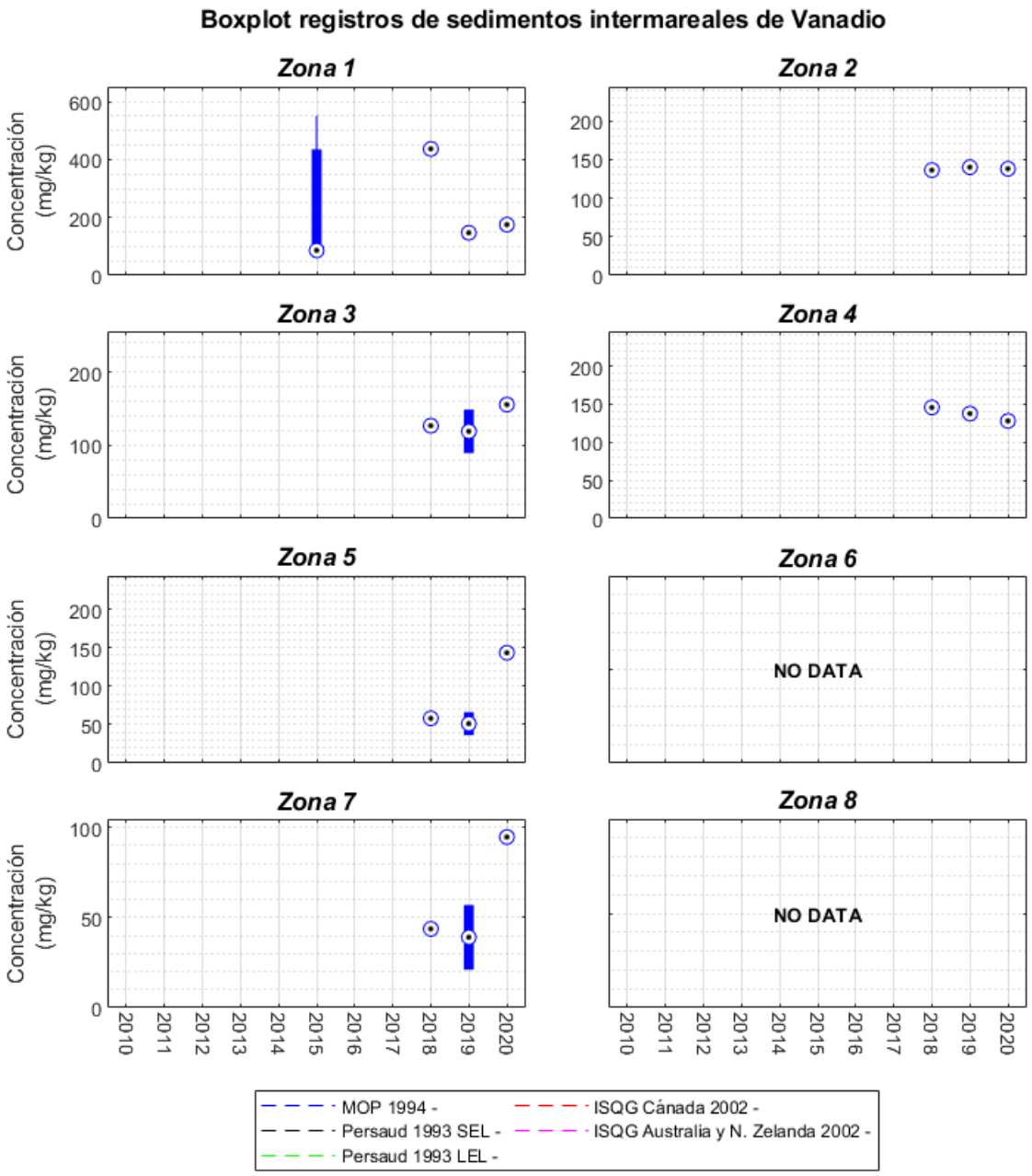


Figura 4.4-94: Gráfico de caja y bigote de los registros de vanadio en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

En la Figura 4.4-95 se adjunta el gráfico de “caja y bigotes” del total de registros de concentración de vanadio en sedimentos, donde se destaca valores medios de concentración semejantes en las distintas áreas de estudio, exceptuando las zonas 6 y 7, que presentan valores inferiores al resto de las zonas mencionadas anteriormente. Dado el comportamiento observado en el resto de los parámetros estudiados, donde se destaca un aumento de la concentración desde la zona 1 hasta la zona 3, para luego disminuir hasta la

zona 7, en este caso particular, los altos valores de concentración observados en las zonas asociadas a los cenizales (zonas 1 y 2), pueden estar asociados al evento de aluvión ocurrido el año 2015, siendo pasivos ambientales en la zona.

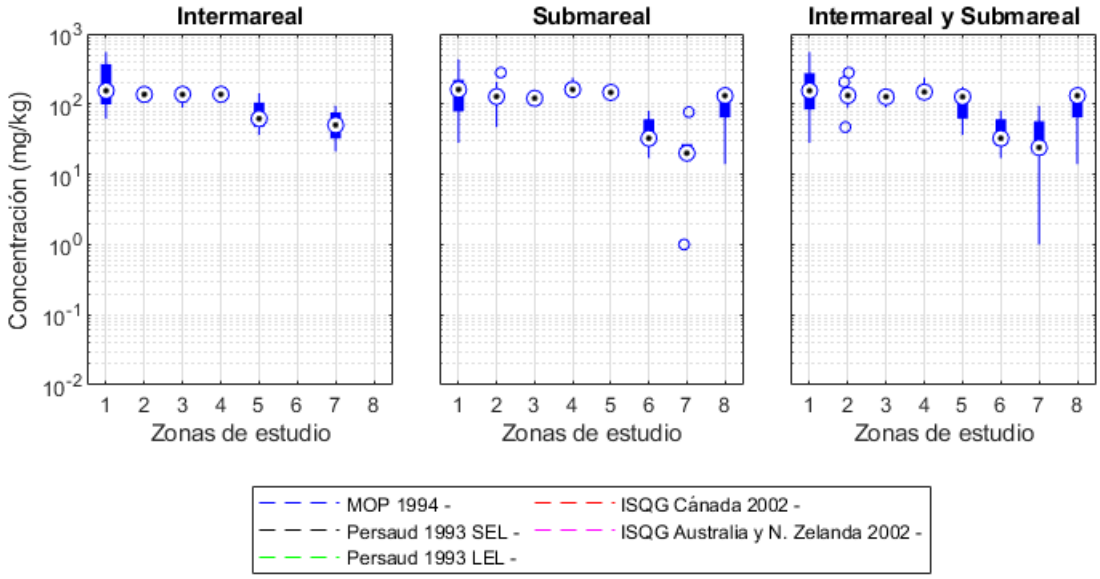


Figura 4.4-95: Diagramas de caja de concentración de vanadio en sedimento según estrato y zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

ix. Zinc

En la Figura 4.4-96 y en la Figura 4.4-97 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de zinc en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. De los resultados obtenidos para el estrato submareal de sedimentos, se destacan los bajos valores de concentración obtenidos para las zonas de estudio 1, 6, 7 y 8, presentando todos sus valores medios bajo los niveles de referencia considerados. Por otro lado, en la zona de estudio 2 se obtuvieron valores medios de concentración sobre los niveles de referencia en los últimos 3 años. Las zonas de estudio 4 y 5 presentaron valores de concentración entre los 800 mg/kg y 1500 mg/kg. En cuanto a las tendencias temporales observadas, no se destacan aumentos o disminuciones claras en las zonas de estudio, pues los registros del periodo 2018-2020 tienen valores similares a los obtenidos en años anteriores. Este comportamiento se ve de manera clara en la zona 4, donde los valores medios para el periodo 2018-2020 están contenido dentro de la caja resultante para el año 2011.

En cuanto a los resultados obtenidos para el estrato intermareal de sedimentos (Figura 4.4-97), se destaca la zona 4 por poseer todos los valores medios de concentración por sobre los niveles de referencia considerados, mientras que las zonas de estudio 2, 3 y 5 presentaron 2 valores medios de concentración por sobre el nivel de referencia menos restrictivo de 820 mg/kg (Persaud – SEL, 1993). En cuanto al comportamiento temporal observado, se destaca una tendencia a la disminución en las zonas de estudio 4 y 5, para el

periodo comprendido entre los años 2018-2020. En el resto de las zonas de estudio no es posible determinar una tendencia debido a la disminución y aumento, o viceversa, entre las concentraciones de años contiguos para el periodo 2018-2020.

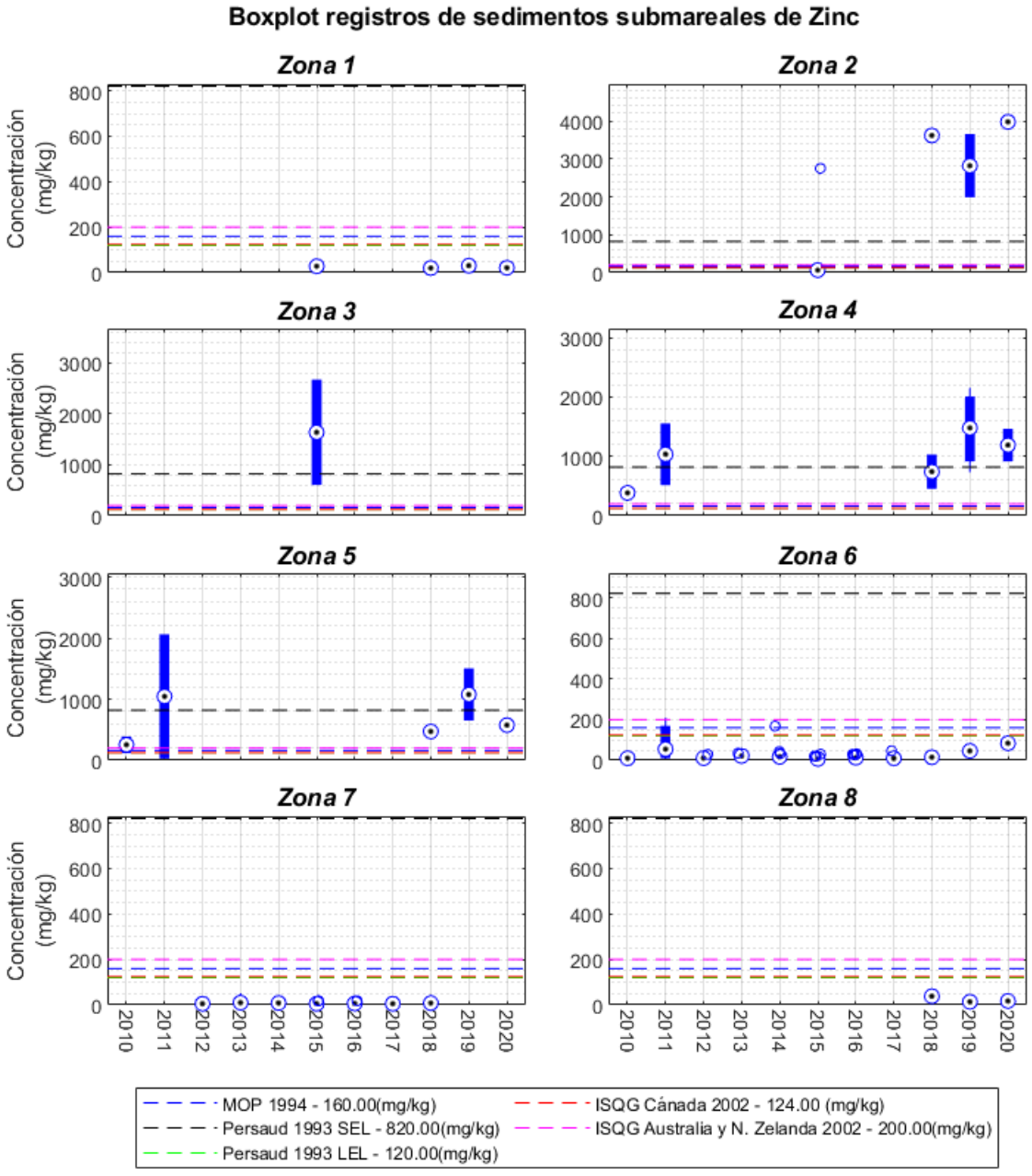


Figura 4.4-96: Gráfico de caja y bigote de los registros de zinc en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

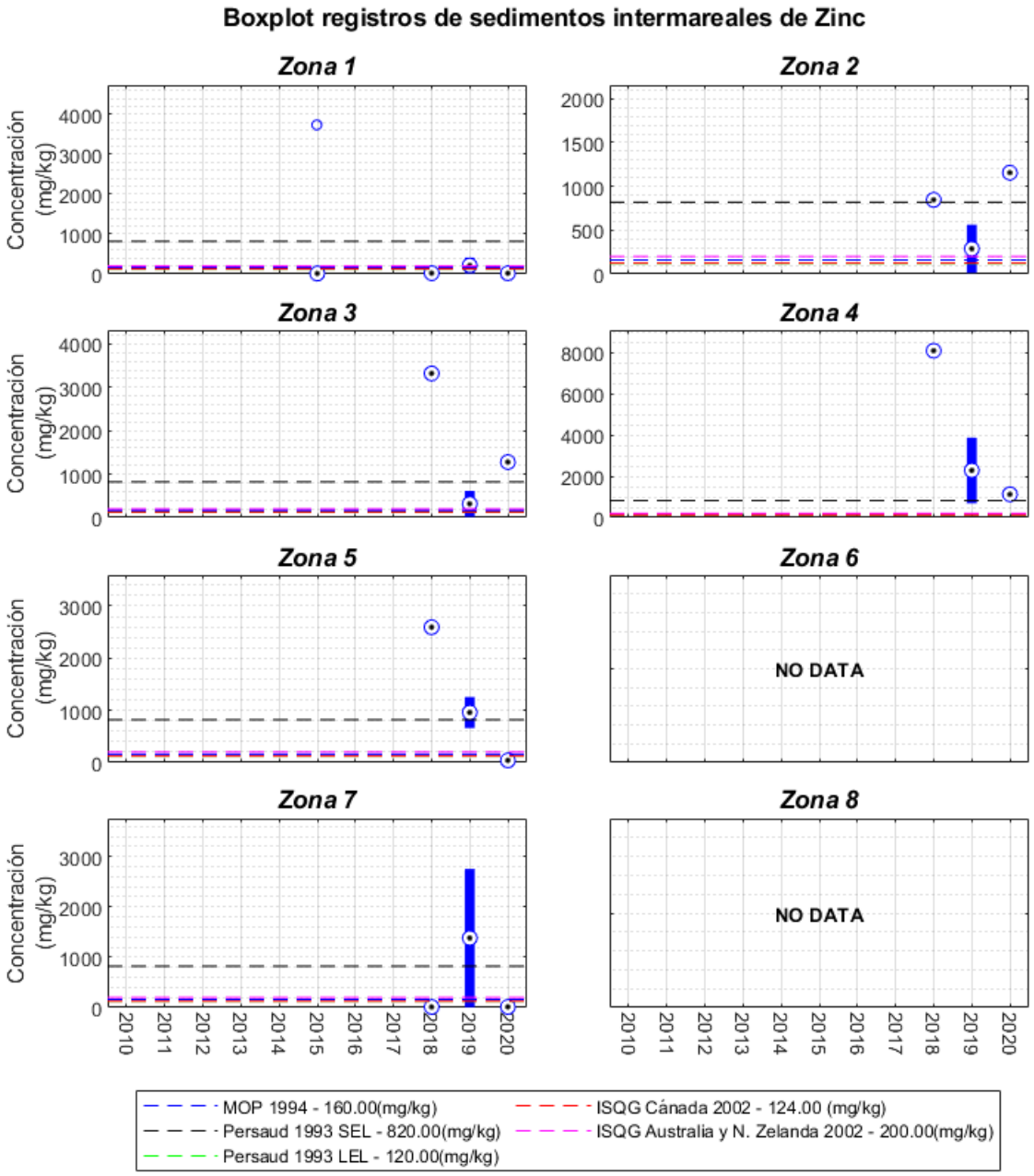


Figura 4.4-97: Gráfico de caja y bigote de los registros de zinc en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

En la Figura 4.4-98 se adjunta el gráfico de “caja y bigotes” del total de registros de concentración de zinc en sedimentos, donde se destaca que los valores medio en las zonas de estudio 2, 3, 4 y 5 estuvieron por sobre los 200 mg/kg, mientras que las concentraciones medias en el resto de las zonas de estudio estuvieron bajo los niveles de referencia considerados. Respecto a la distribución presente, se destaca un comportamiento similar al obtenido para otros parámetros en estudio, donde se presenta un aumento de los valores de concentración desde la zona de estudio 1 hasta la zona de estudio 3, para pasar a una

disminución de la concentración hasta la zona 7, que posteriormente aumento hasta la zona 8. En este caso, las concentraciones medias entre las zonas de estudio 2, 3, 4 y 5 fueron similares entre sí.

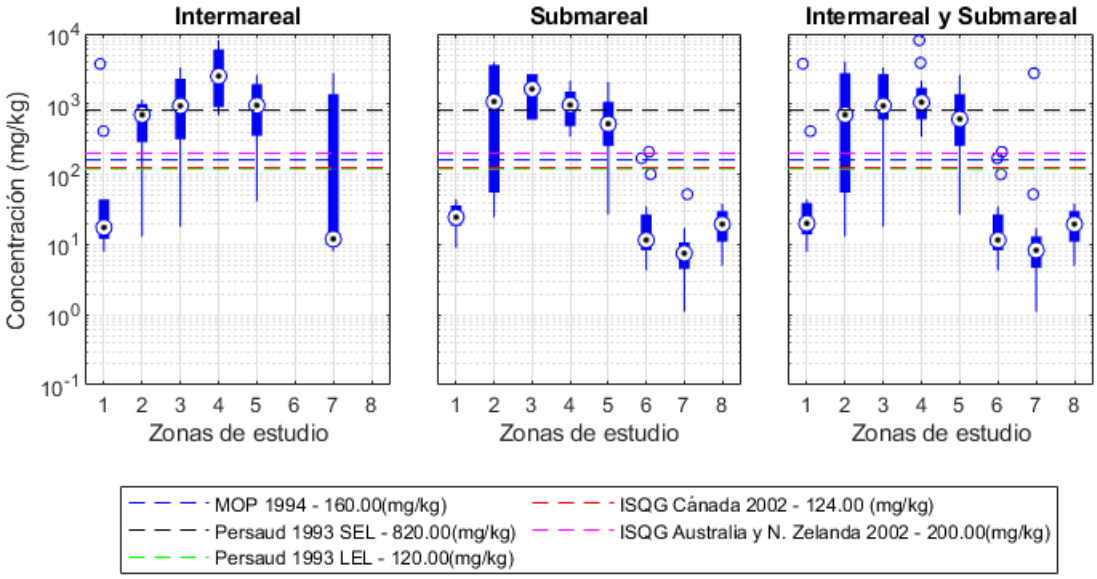


Figura 4.4-98: Diagramas de caja de concentración de zinc en sedimento según estrato y zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

4.4.2.2.2.2 Otras componentes de interés en la matriz sedimento

Los registros de concentración de hidrocarburos estuvieron generalmente bajo el límite de detección, siendo concentraciones muy bajas en los casos de estar sobre el mencionado límite, por lo que no presentaría problemas para el ecosistema.

El parámetro de materia orgánica se desarrolla a continuación.

x. Materia orgánica

En la Figura 4.4-99 y Figura 4.4-100 se adjuntan los gráficos *boxplot* de los registros de materia orgánica en las zonas de estudio de la bahía Algodonales, Tocopilla. Se observa que las zonas han registrado bajos porcentajes de materia orgánica en los sedimentos intermareal y submareal, las zonas 6 y 7 registran porcentajes de MO más altas que de acuerdo a los registros algunas superan el 10% Figura 4.4-101).

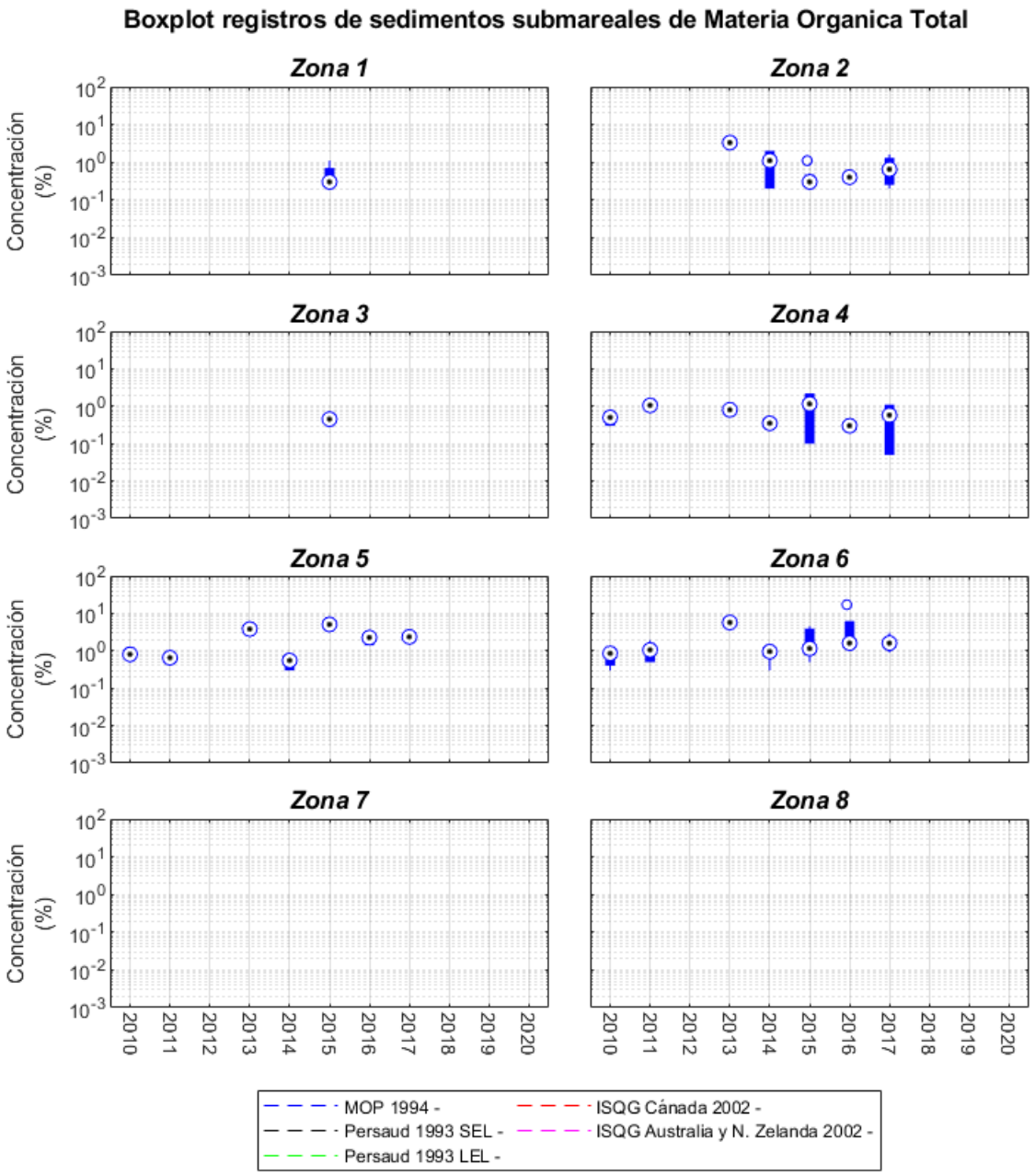


Figura 4.4-99: Gráfico de caja y bigote de los registros de materia orgánica en sedimentos submareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

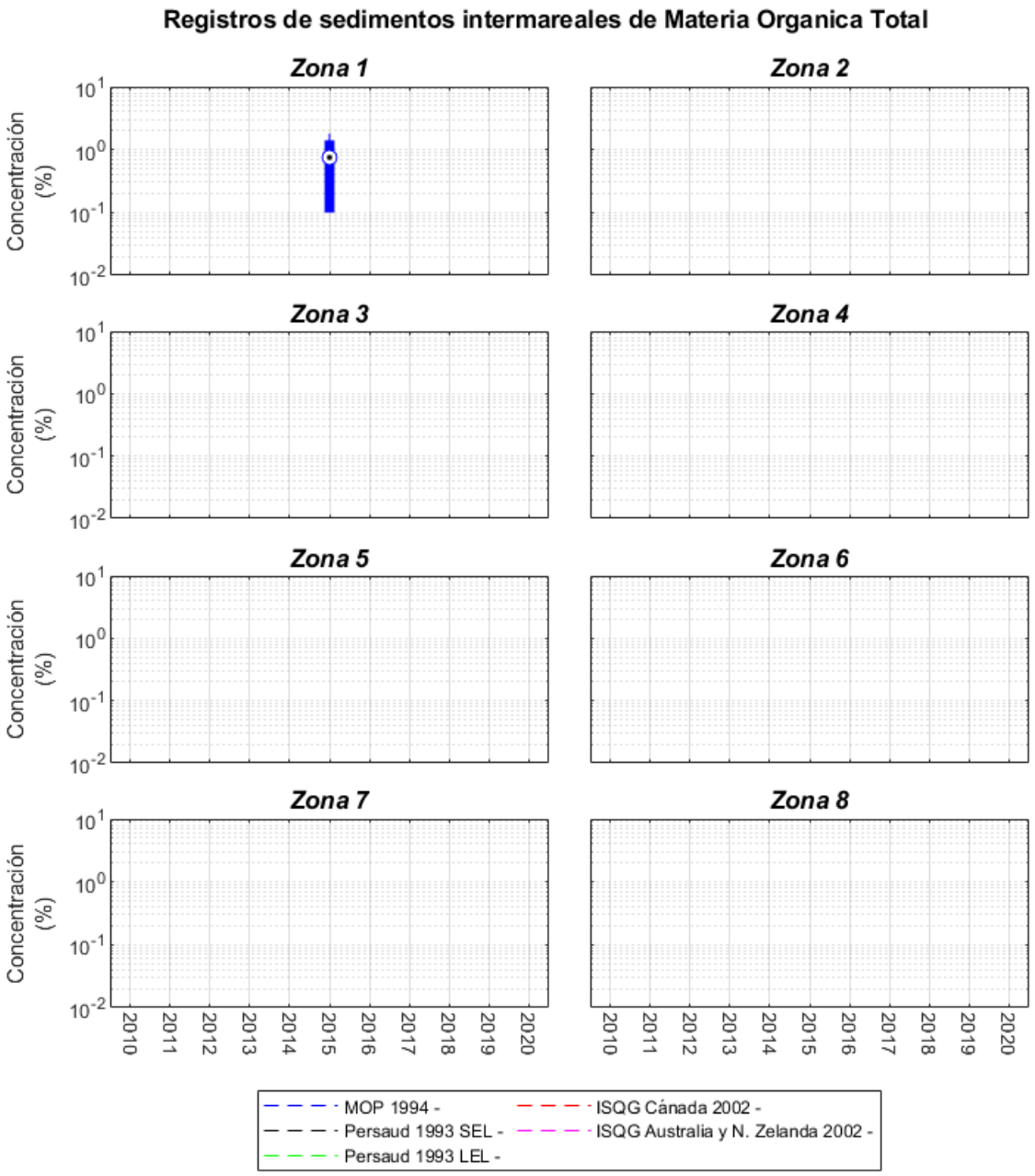


Figura 4.4-100: Gráfico de caja y bigote de los registros de materia orgánica en sedimentos intermareales para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

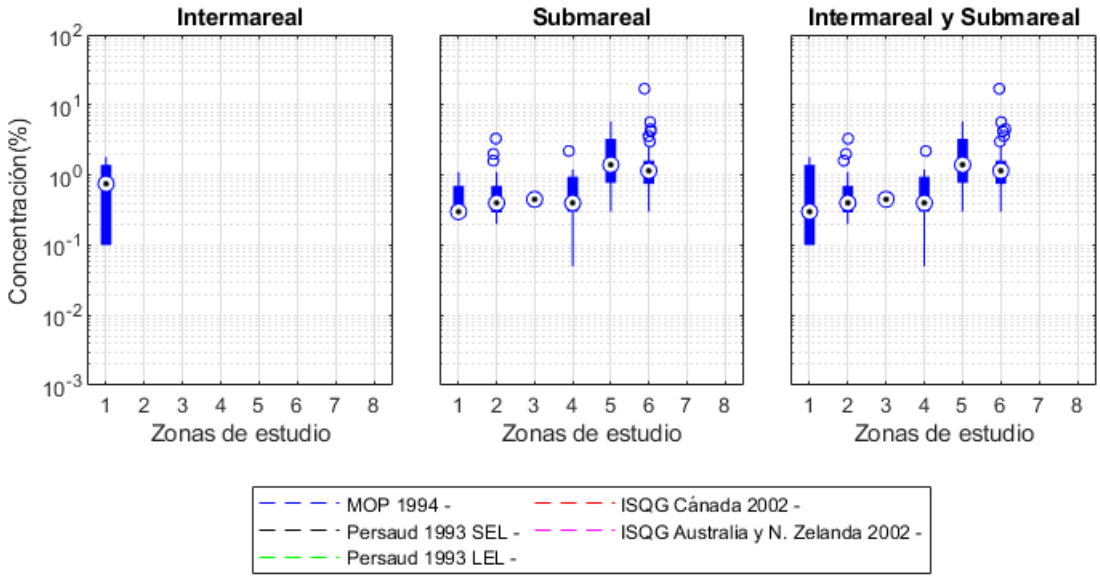


Figura 4.4-101: Diagramas de caja de concentración de materia orgánica en sedimento según estrato y zonas de estudio, desarrollado a partir de registros históricos (OE1) y obtenidos mediante medición en terreno (OE2), comprendidos en el período 2010-2020.

4.4.2.3 Integración de los componentes bióticos

4.4.2.3.1 Comunidades planctónicas

4.4.2.3.1.1 Fitoplancton

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de fitoplancton, en cuanto a composición y abundancia entre las campañas evaluadas (Figura 4.4-102). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de fitoplancton, el cual indicó una distribución espaciotemporal con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 1,0 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que la diatomea *Coscinodiscus* sp. fue la que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre periodos debido a las altas abundancias registradas durante invierno 2018, mientras que durante el resto de las campañas no se registró la presencia o bien presentó bajas densidades.

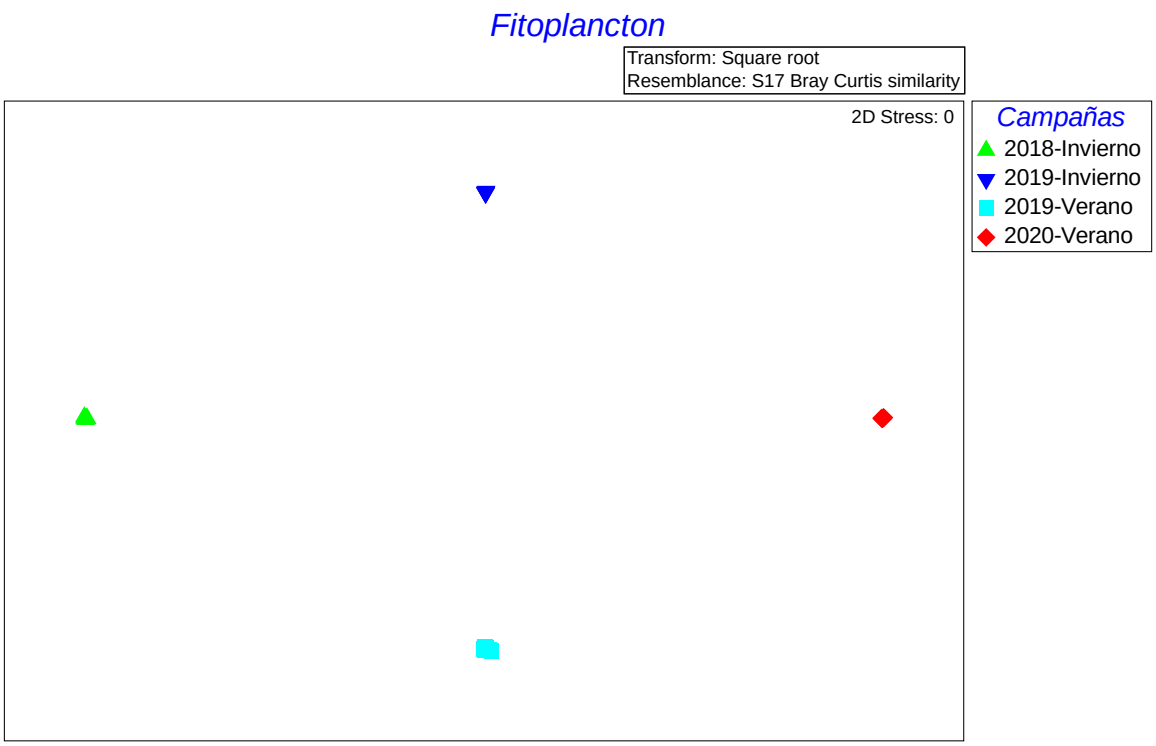


Figura 4.4-102: Análisis Escalamiento Multidimensional de fitoplancton, considerando las cuatro campañas realizadas.

En la Tabla 4.4-15 se muestran los resultados de la prueba de Kruskal Wallis realizados para abundancia promedio de fitoplancton (Cel/L), considerando los estratos superficie y fondo de cada estación de monitoreo. El análisis se realizó para las variables “Campaña” y “Sector”, durante el periodo comprendido entre invierno 2018 y verano 2020. La prueba estadística concluye que existen diferencias significativas para la variable “Campaña” de los parámetros cuantificados ($p<0,05$) (Tabla 4.4-15; Figura 4.4-103). En la Tabla 4.4-16 se puede observar la comparación múltiple de la variable campaña, a partir de esto se observa que existe un factor común en las diferencias encontradas, donde la campaña de verano 2020 presenta diferencias respecto a las otras campañas de monitoreo, para todos los casos. Se debe destacar que el periodo que presenta diferencias respecto al resto de las estaciones corresponde a época estival. Presentando una abundancia total significativamente más baja que el periodo de invierno 2018 y verano 2019, sin seguir un patrón estacional claro. Se puede observar que no existen diferencias entre sectores de monitoreo, por lo que podríamos decir que la componente fitoplanctónica se presenta sin variación a lo largo de la línea de la costa.

A pesar de que existen diferencias en términos de abundancia entre campañas de monitoreo, las microalgas del grupo Bacillariophyceae (Diatomeas) y Dinoflagellata (Dinoflagelados), están presentes en todas las campañas y sectores de muestreo. Al respecto, sabemos que los dinoflagelados alcanzan sus mayores abundancias en aguas marinas costeras, en concomitancia con un alto suministro de nutrientes de fuentes

terrestres y/o aguas profundas. Las floraciones de estas especies son más comunes en estas condiciones, ya que los dinoflagelados exhiben una gran versatilidad trófica, por lo que son muy competitivos con otros grupos de protistas para la adquisición de recursos.

En la bahía Algodonales, los periodos de alta abundancia de dinoflagelados pueden deberse a la germinación de células vegetativas. Los factores biológicos y físicos que desencadenan el inicio de la floración son poco conocidos para la mayoría de los dinoflagelados, sin embargo, sabemos que las especies fotosintéticas (como es el caso de *T. fusus*), están limitados principalmente por el fósforo y el nitrógeno, aunque pueden almacenar estos nutrientes de una manera específica, lo que les permite reproducirse cuando se dan las condiciones adecuadas.

Respecto a las especies encontradas en la bahía Algodonales, no se observa una clara correlación entre la concentración de metales en la columna de agua y la abundancia o distribución de fitoplancton. A pesar de que, en otros taxones de fitoplancton, se ha demostrado que los micronutrientes, incluidas las formas de selenio y hierro, influyen en las floraciones de algunos dinoflagelados fototróficos nocivos (Boyer y Brand, 1998; Doblin, Blackburn y Hallegraeff, 2000).

Adicionalmente, los resultados se condicen con lo reportado en la literatura, donde altas concentraciones de dinoflagelados del género *T. fusus*, afectan directamente la presencia de huevos, larvas de ictioplancton y bivalvos (Horner *et al.,* 1997; GEOHAB, 2001, Cortés y Alonso, 1997). Situación que se ve reflejada, por ejemplo, en la estación TOC-6 durante la campaña de verano 2019, donde *T. fusus* fue la especie más abundante en los estratos de superficie y fondo de la estación y no se detectó la presencia de ictioplancton, clara evidencia de lo expuesto anteriormente.

Por otra parte, tenemos que la especie más abundante del grupo Bacillariophyceae (Diatomeas), fue *Coscinodiscus* sp. Se conoce que las diatomeas, al igual que los dinoflagelados, poseen una alta versatilidad trófica debido a dos características particulares. En primer lugar, están bien adaptadas al sistema de surgencia presente en la bahía, donde las células están expuestas intermitentemente a altos niveles de luz (Falkowski y Raven, 1997). En segundo lugar, están bien adaptadas a la disponibilidad pulsada de nutrientes, porque pueden usar su vacuola central (a menudo, de gran tamaño) para el almacenamiento de nutrientes, dándoles la capacidad de aumentar su abundancia cuando las condiciones son adecuadas. Otro factor importante que determina la abundancia de diatomeas es la presencia de copépodos herbívoros, ya que estos ejercen un fuerte efecto top-down sobre el grupo. En este sentido, tenemos que *Coscinodiscus* sp. presentó sus mayores valores de abundancia en invierno 2018, donde también se detectó que las mayores abundancias relativas fueron registradas por los copépodos *Calanus* sp., *Oithona* sp. y *Oncaea* sp. Estableciendo así, la relación entre la disponibilidad de nutrientes para las microalgas y la presencia de predadores naturales.

Tabla 4.4-15: P-valores prueba de Kruskal Wallis para abundancia de fitoplancton.

Parámetro	Campaña	Área de estudio
Abundancia promedio (Cel/L)	0,0008*	0,8498

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas.

Tabla 4.4-16: P-valores comparaciones múltiples para la variable “Campaña”. Abundancia fitoplancton.

Campaña	2018-Invierno	2019-Invierno	2019-Verano	2020-Verano
2018-Invierno		0,974362	1,000000	0,002700*
2019-Invierno	0,974362		0,917066	0,208199
2019-Verano	1,000000	0,917066		0,002388*
2020-Verano	0,002700*	0,208199	0,002388*	

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas

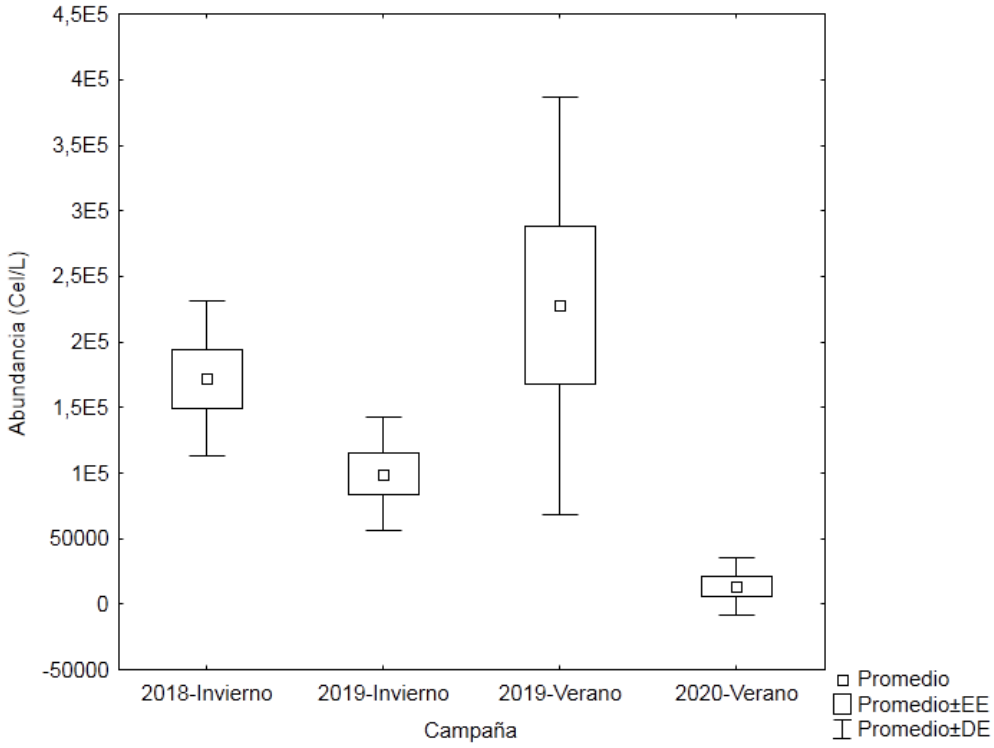


Figura 4.4-103: Abundancia de fitoplancton, entre las cuatro campañas en estudio.

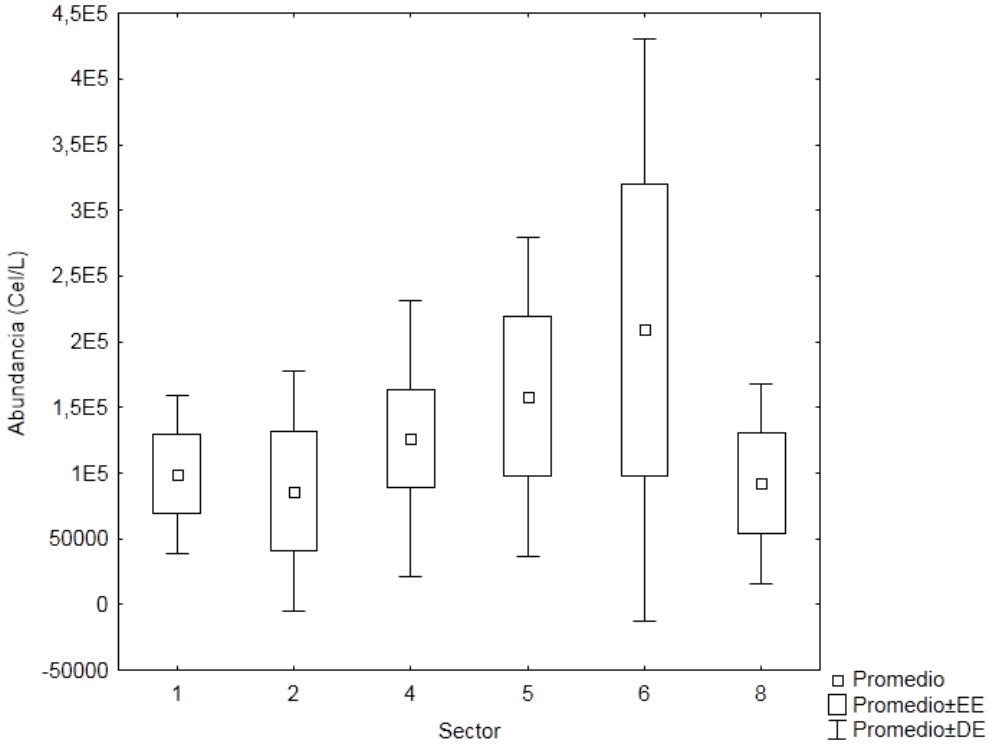


Figura 4.4-104: Abundancia de fitoplancton, entre sectores de la bahía Algodonales.

4.4.2.3.1.2 Zooplancton

El escalamiento multidimensional presentó una distribución heterogénea de la comunidad de zooplancton, en cuanto a composición y abundancia entre las campañas evaluadas (Figura 4.4-105). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de zooplancton, el cual indicó una distribución espaciotemporal con formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,904 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el grupo de nauplio copépodo fue la que contribuyó en mayor porcentaje a la diferenciación entre periodos debido a las altas abundancias registradas durante verano e invierno 2019, mientras que durante invierno 2018 no se registró la presencia y durante verano 2020 las abundancias fueron menores.

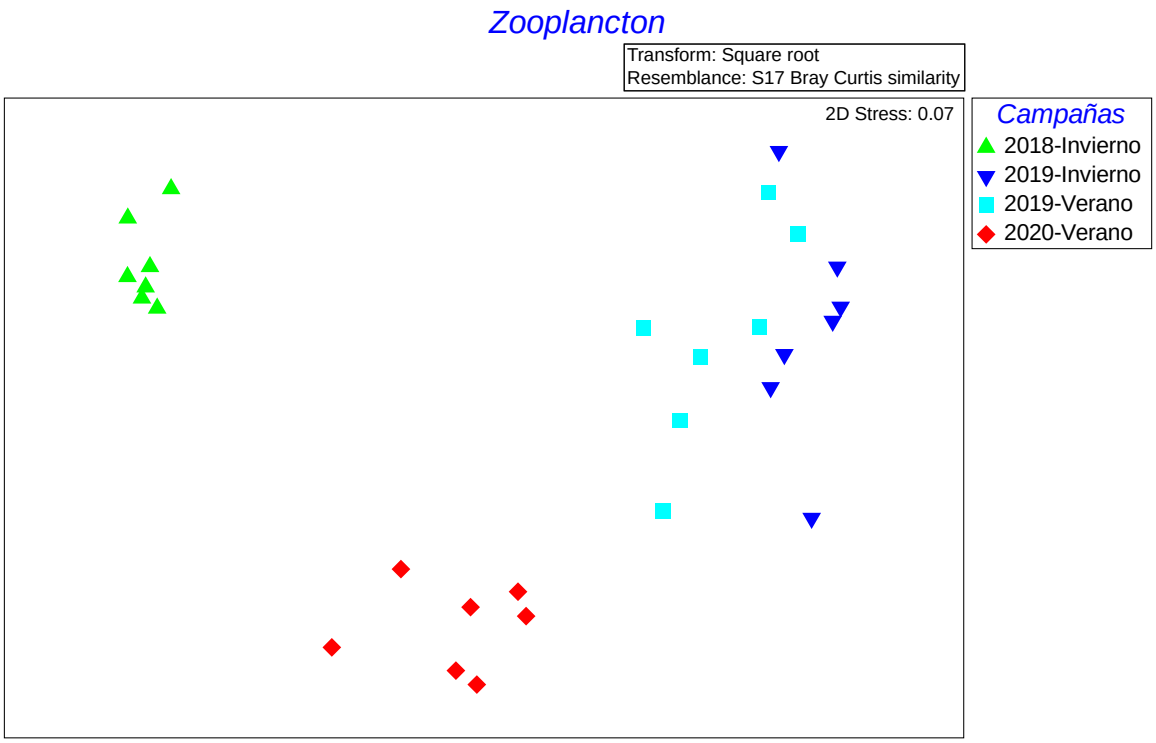


Figura 4.4-105 Análisis Escalamiento Multidimensional de zoooplancton, considerando las cuatro campañas realizadas.

En la Tabla 4.4-17 se muestran los resultados de la prueba de Kruskal Wallis realizados para abundancia de zooplancton (Ind/m^3), considerando el Holoplancton y Meroplancton de cada estación de monitoreo. El análisis se realizó para las variables “Campaña” y “Sector”, durante el periodo comprendido entre invierno 2018 y verano 2020. La prueba estadística concluye que existen diferencias significativas para la variable “Campaña” de los parámetros cuantificados ($p<0,05$) (Tabla 4.4-17 ; Figura 4.4-106). En la Tabla 4.4-18 se puede observar la comparación múltiple de la variable campaña, donde la campaña de verano 2020 presenta diferencias respecto a las otras campañas de monitoreo. Situación similar a lo indicado para la componente fitoplanctónica. La campaña realizada en época estival del 2020 presenta una abundancia significativamente más baja que el periodo de invierno y verano 2019, sin seguir un patrón estacional claro.

A pesar de que no existen diferencias en términos de abundancia entre sectores de muestreo, se puede observar un patrón de distribución y abundancia estrechamente ligado a la abundancia y distribución de fitoplancton. A modo descriptivo, tenemos que el sector 4 de estudio presentó la menor abundancia promedio entre invierno 2018 y verano 2020 (compuesta principalmente por copépodos calanoídeos y nauplios de copépodo), dicho sector presentó en general una alta abundancia de dinoflagelados de la especie *T. fusus*, que no son la preferencia alimenticia de los copépodos, ya que ha sido reportado que cuando los copépodos se alimentan de mezclas naturales de partículas, a veces prefieren las más grandes (Allan *et al.*, 1977, O'Conners *et al.,* 1980, Ryther & Sanders, 1980), a

menudo eligen las que son más abundantes (Allan *et al.,* 1977, Poulet, 1980), pero también pueden evitar especies desagradables (Hansen y van Boekel, 1991, Bautista *et al.*, 1992) o especies de algas tóxicas (Huntley, 1982). En contraste, el análisis de abundancia del sector 8 en el extremo sur del área de estudio, donde se presenta la mayor abundancia promedio de zooplancton, tenemos una baja abundancia de fitoplancton, debido al pastoreo de los copépodos y el resto del plancton sobre la comunidad fitoplanctónica, compuesta en general, aunque no exclusivamente, de Diatomeas. A pesar de los antecedentes presentados, se conoce que el comportamiento de pastoreo de zooplancton sobre la comunidad fitoplanctónica depende de una serie de factores, que van desde el tamaño de las partículas ingeridas, donde los copépodos más grandes prefieren alimentos más grandes, mientras que los copépodos o microzooplancton más pequeños eligen los más pequeños (Nival y Nival, 1976, Harris 1982, Strom y Welschmeyer, 1991), o se alimentan de forma no selectiva (Allan *et al.,* 1977).

En términos generales, el zooplancton se considera normalmente como consumidor primario. Sin embargo, esto sólo aplica para las especies que se alimentan filtrando fitoplancton. Muy a menudo hay una mezcla de alimentación de fitoplancton y zooplancton carnívoro en la muestra, lo que aumenta la dificultad en la determinación del contenido de metales pesados correspondiente en ambos niveles tróficos. Ciertamente, la concentración de metales pesados presentes en el área de estudio, pueden eventualmente ser bioacumulados por las especies zooplanctónicas del área de estudio y ser traspasados a niveles tróficos superiores.

Tabla 4.4-17: P-valores prueba de Kruskal Wallis para abundancia de zooplancton.

Parámetro	Campaña	Área de estudio
Abundancia promedio (Ind/m^3)	0,0137*	0,2150

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas.

Tabla 4.4-18: P-valores comparaciones múltiples para la variable “Campaña”. Abundancia zooplancton.

Campaña	2018-Invierno	2019-Invierno	2019-Verano	2020-Verano
2018-Invierno		1,000000	1,000000	0,413070
2019-Invierno	1,000000		1,000000	0,028225*
2019-Verano	1,000000	1,000000		0,028225*
2020-Verano	0,413070	0,028225*	0,028225*	

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas

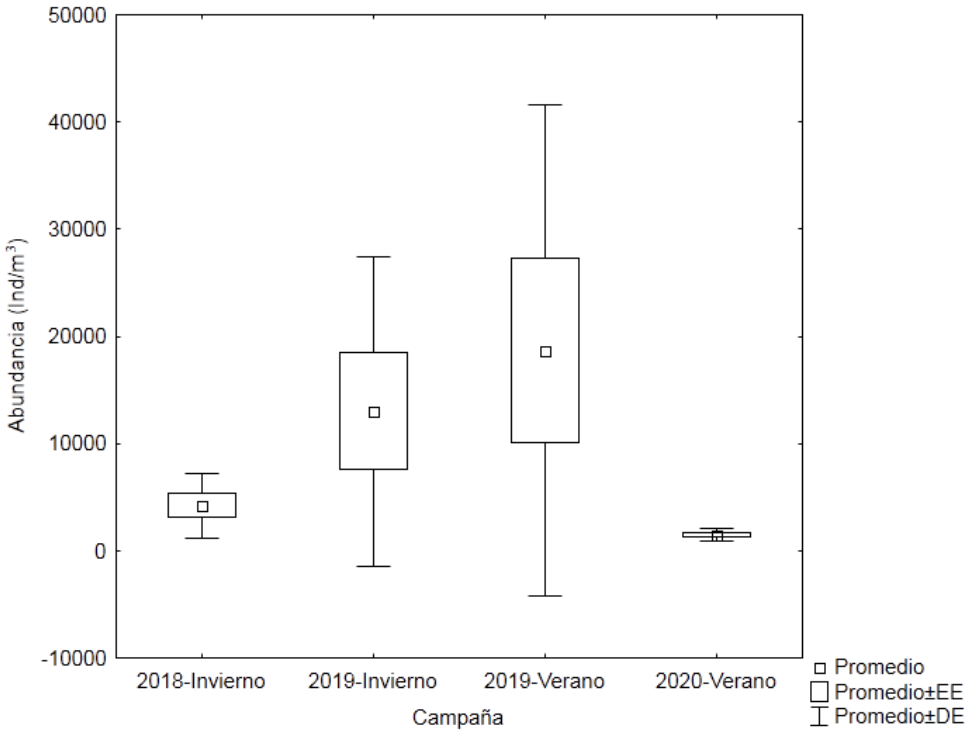


Figura 4.4-106: Abundancia de zooplancton, entre las cuatro campañas en estudio.

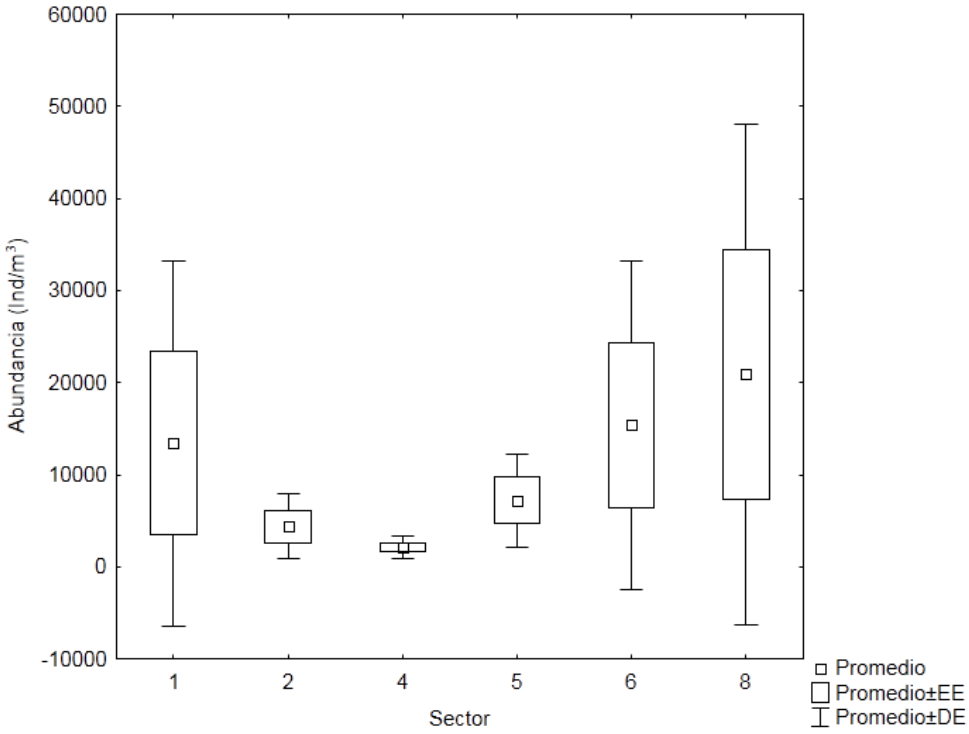


Figura 4.4-107: Abundancia de zooplancton, entre sectores de la bahía Algodonales.

4.4.2.3.2 Comunidades bentónicas submareal duro

4.4.2.3.2.1 Macroalgas

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de las macroalgas del submareal fondo duro, en cuanto a composición y abundancia entre las campañas evaluadas (Figura 4.4-116). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia macroalgas submareal, el cual indicó una distribución espaciotemporal sin formación de grupos diferenciados para los tres gradientes evaluados (ANOSIM (Superior): R= -0,191 p>0,05; ANOSIM (Medio): R= -0,202 p>0,05; ANOSIM (Inferior): R= -0,173 p>0,05), lo que da cuenta de una comunidad regular en composición y abundancia de marcroalgas en todos los niveles de profundidad evaluados.

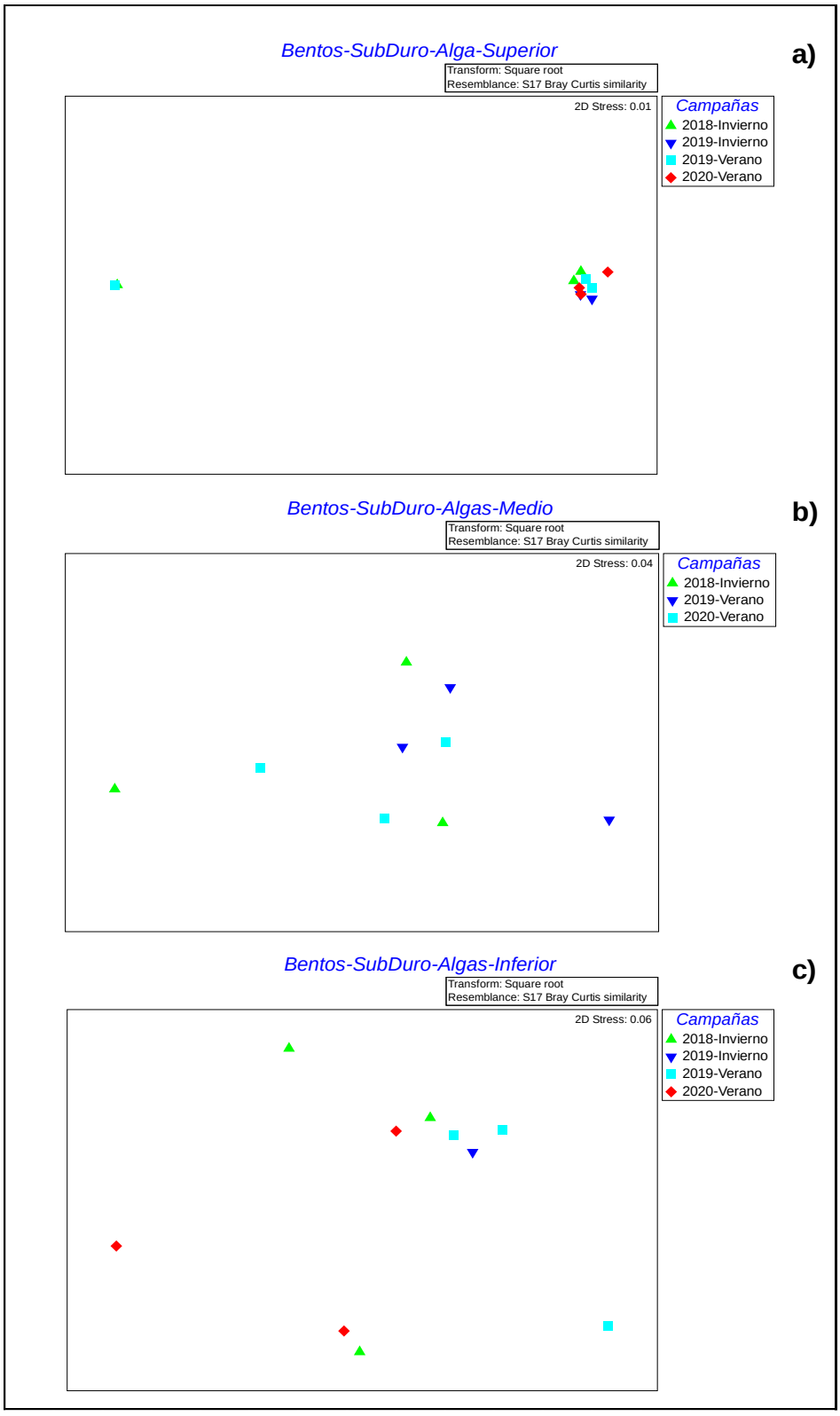


Figura 4.4-108 Análisis Escalamiento Multidimensional de macroalgas submareales a tres niveles de profundidad a) Superior, b) Medio y c) Inferior, entre cuatro campañas en estudio.

En la Tabla 4.4-15 se muestran los resultados de la prueba de Kruskal Wallis realizados para cobertura de macroalgas (%). El análisis se realizó para las variables “Campaña”, “Sector” y “Estrato”, durante el periodo comprendido entre invierno 2018 y verano 2020. La prueba estadística concluye que no existen diferencias significativas para las variables analizadas. (p>0,05) (Tabla 4.4-15; Figura 4.4-109).

Respecto a los análisis de cobertura en el área de estudio, es importante señalar que está documentado que existe un aumento de riqueza de especies desde los polos (Willig *et al*., 2003; Hillebrand, 2004). Esta hipótesis general acerca de los gradientes de diversidad latitudinal se aplica a las macroalgas, pero sin una certeza absoluta. Por ejemplo, se sabe que la temperatura se correlaciona positivamente con la diversidad, y se ha encontrado que es un fuerte predictor de la riqueza de especies para los taxones marinos superiores que siguen el gradiente de diversidad latitudinal (Tittensor *et al*., 2010). Sin embargo, la diversidad de macroalgas no alcanza su punto máximo en los trópicos. En cambio, la ubicación de los límites de distribución de múltiples especies de macroalgas sugiere que los extremos de temperatura pueden limitar la diversidad (Luning, 1990; Bartsch *et al.,* 2012; Martinez *et al.,* 2012). Los patrones espaciotemporales de macroalgas, están generalmente determinados por la diversidad y la biología de la población de las especies constituyentes (Dayton *et al.,* 1999). La estacionalidad de los parámetros físicos (temperatura, movimiento del agua, cantidad y calidad de la luz) y químicos (nutrientes) son importantes en la regulación de los procesos reproductivos y vegetativos de componentes específicos dentro de ensambles de macroalgas (Whitman, 2001, Graham *et al*., 1997, Hernández- Carmona *et al.,* 2001, Buschmann *et al.,* 2004), y pueden covariar en ambientes submareales para producir interacciones sinérgicas (Kain 1989). Por el contrario, los procesos biológicos como la competencia inter e intraespecífica y la predación regulan la estructura del ensamble, modificando los patrones espaciales y temporales de abundancia de especies (Dayton 1985, Vásquez y Buschmann 1997, Scheibling *et al.,* 1999). Para el caso de la bahía Algodonales, se observa en general una baja riqueza de especies, con un máximo valor registrado de 4,3 especies en verano 2020. A pesar de que no existen diferencias estadísticamente significativas respecto a la cobertura, los resultados acerca de las especies dominantes en las distintas campañas de muestreo, muestran que la distribución encontrada responde a lo señalado en la literatura, donde la dinámica físico-química y biológica local, determinará la cobertura y riqueza de especies, es por esto que el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia macroalgas, indicó una distribución espacio temporal sin formación de grupos diferenciados para los tres gradientes evaluados. A pesar de lo señalado, la literatura indica que las perturbaciones fisicoquímicas (por ejemplo, marejadas y/o aumento de nutrientes o contaminantes) y biológicas (por ejemplo, plagas, predación) de baja frecuencia e intensidad producen interrupciones en las distribuciones espacio-temporales (Tegner *et al.,* 1987, Dayton *et al.,* 1998), agregando aleatoriedad adicional a los patrones de abundancia a largo plazo. Sin embargo, se necesita de estudios estacionales a largo plazo para establecer estas relaciones en la bahía Algodonales.

Tabla 4.4-19: P-valores prueba de Kruskal Wallis para cobertura de macroalgas.

Parámetro	Campaña	Área de estudio	Estrato

Cobertura (%)	0,1537	0,1259	0,6620

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas.

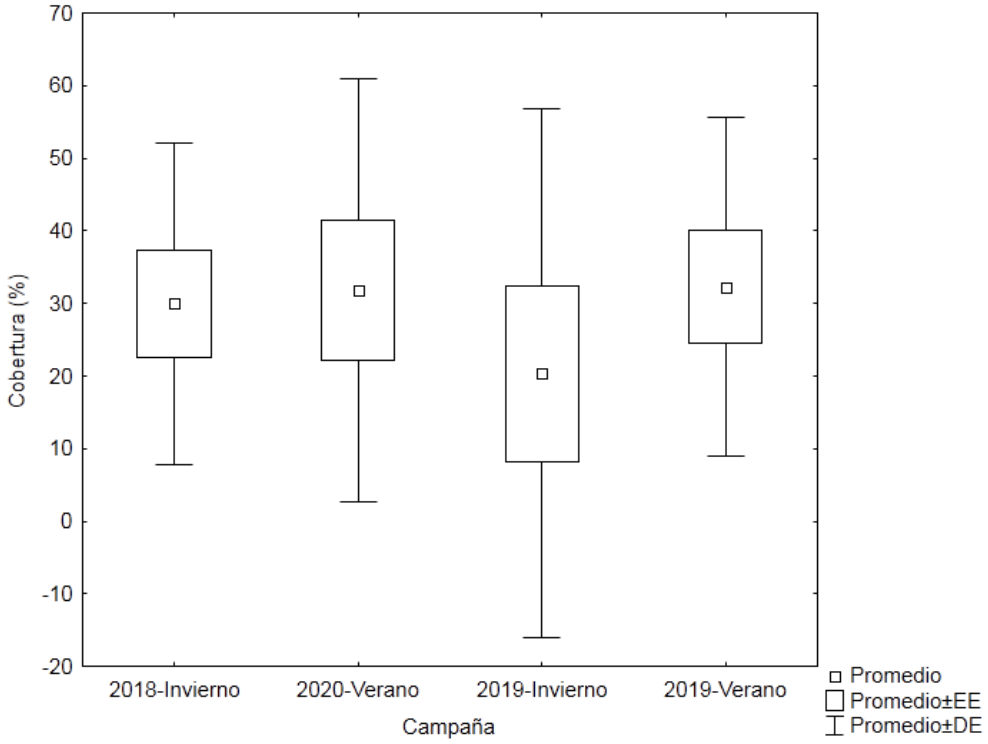


Figura 4.4-109: Cobertura de macroalgas, entre las cuatro campañas en estudio.

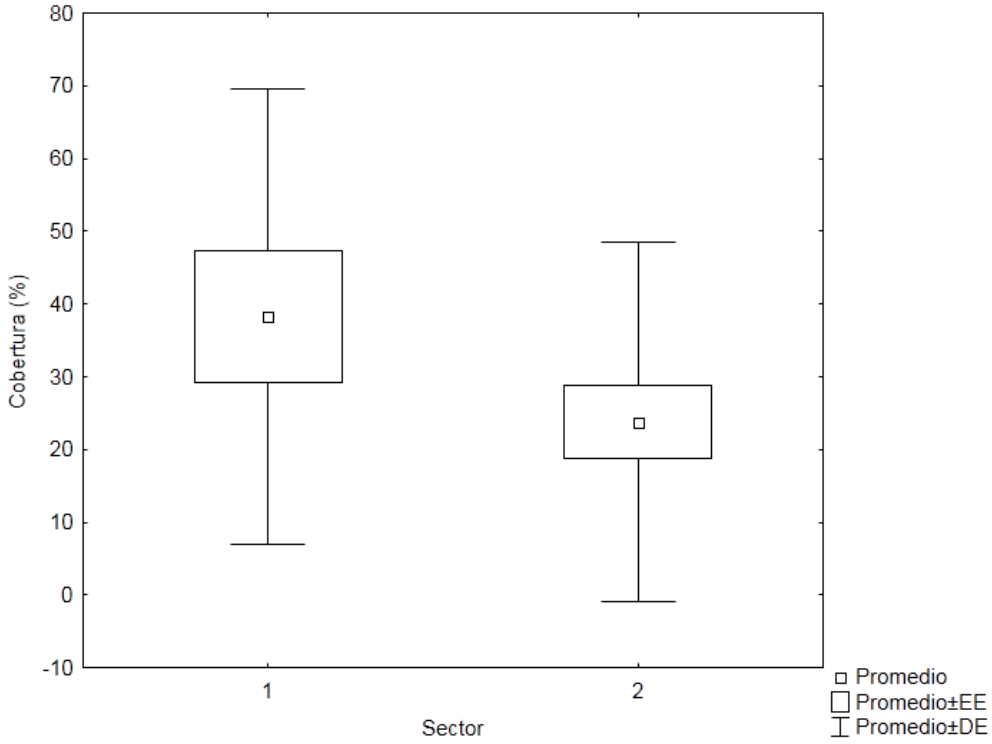


Figura 4.4-110: Cobertura de macroalgas, entre sectores de la bahía Algodonales.

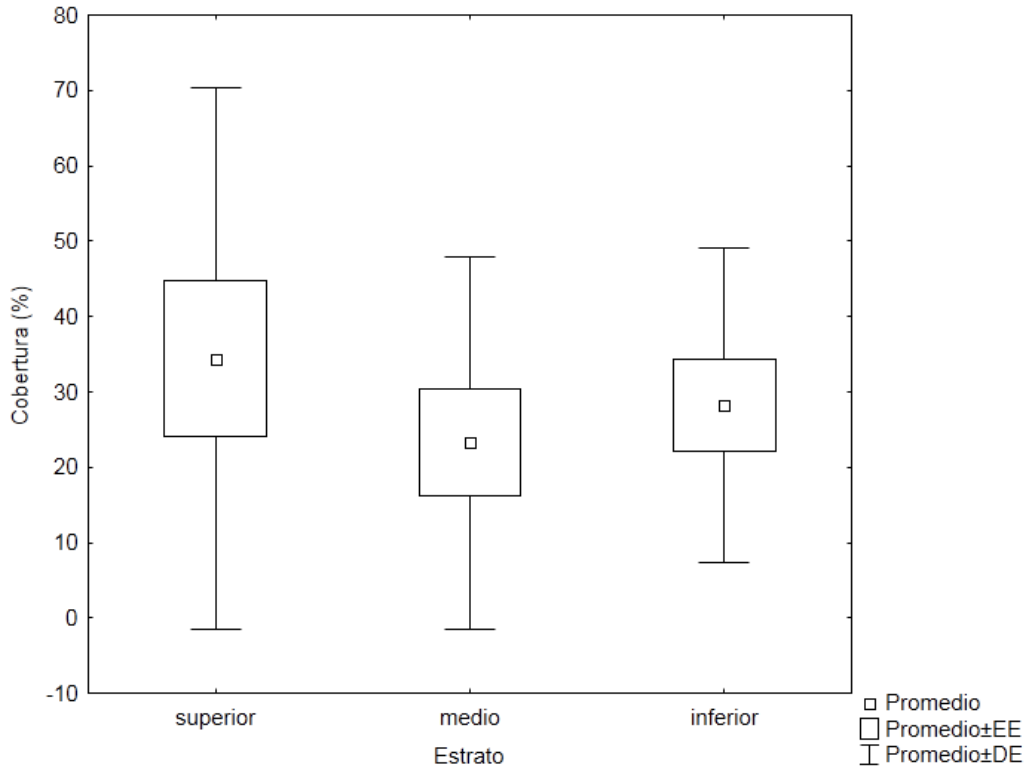


Figura 4.4-111: Cobertura de macroalgas, entre estratos.

4.4.2.3.2.2 Fauna Sésil

Al analizar los datos recabados durante las campañas del Sistema de Monitoreo Integrado, se observó que los registros de Fauna Sésil fueron escasos, no permitiendo llevar a cabo un desarrollo de escalamiento multidimensional representativo entre campañas.

4.4.2.3.2.3 Fauna Móvil

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de la fauna móvil del submareal fondo duro, en cuanto a composición y abundancia entre las campañas evaluadas (Figura 4.4-112). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de organismos móviles submareales, el cual indicó una distribución espaciotemporal sin formación de grupos diferenciados para los tres gradientes evaluados (ANOSIM (Superior): R= -0,034 p>0,05; ANOSIM (Medio): R= -0,034 p>0,05; ANOSIM (Inferior): R= -0,071 p>0,05), lo que da cuenta de una comunidad regular en composición y abundancia de la fauna móvil en todos los niveles de profundidad evaluados.

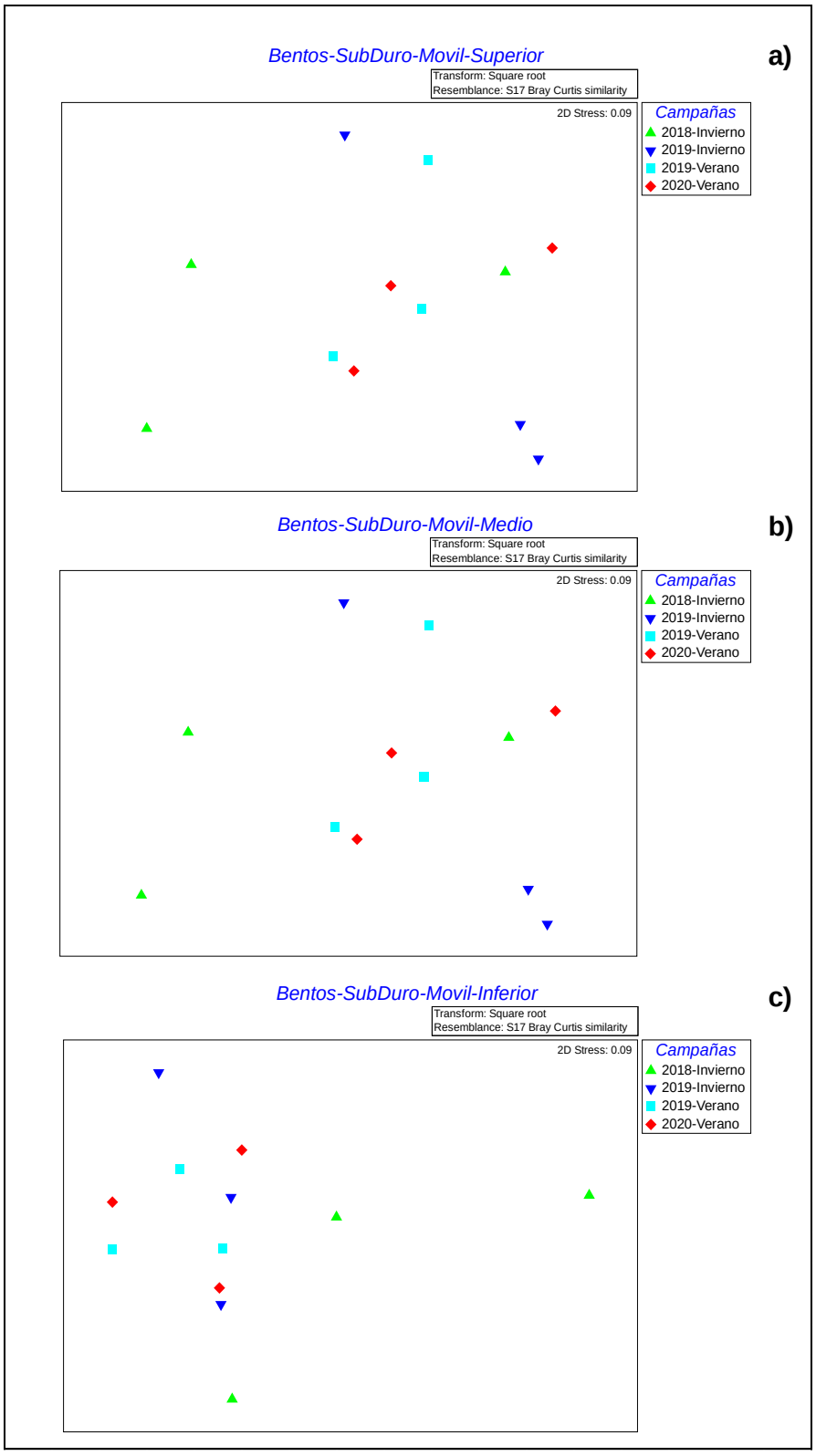


Figura 4.4-112 Análisis Escalamiento Multidimensional de organismos móviles submareales a tres niveles de profundidad a) Superior, b) Medio y c) Inferior, entre cuatro campañas en estudio.

En la Tabla 4.4-20 se muestran los resultados de la prueba de Kruskal Wallis realizados para cobertura de fauna móvil del submareal duro (Ind/m^2). El análisis se realizó para las variables "Campaña", "Sector" y "Estrato", durante el periodo comprendido entre invierno 2018 y verano 2020. La prueba estadística concluye que no existen diferencias significativas para las variables analizadas. La diferencia podría existir entre estratos, sin embargo, al realizar el análisis de comparaciones múltiples, observamos que la diferencia no es clara. (Tabla 4.4-20; Figura 4.4-113).

Es importante indicar que la mayoría de los taxones que componen la fauna móvil del submareal duro corresponden a gastrópodos. Entre las especies que destacan se encuentra *Xanthochorus cassidiformis* y *Tegula* sp, ambas familias se presentan como los más abundantes y frecuentes de ambientes intermareales y submareales de la costa nacional. Un hecho importante a señalar es que la bahía Algodonales se emplaza en la costa de la zona norte de Chile, con características propias y únicas (González *et al.,* 1998, Jaramillo *et al.*, 1998, Vásquez *et al*., 1998) mostrando un continuo en la distribución de las especies marinas costeras (Lancellotti & Vásquez, 1999). A raíz de lo anterior, los resultados del escalamiento multidimensional y la prueba de Kruskal Wallis muestran que no existen diferencias entre los periodos y sectores de muestreo, lo que se condice con lo reportado en la literatura, donde se indica que en esta zona existe una ausencia de barreras geográficas de importancia, que promuevan quiebres en la biogeografía de los macroinvertebrados marinos costeros (Lancellotti & Vásquez, 1999, 2000).

Tabla 4.4-20: P-valores prueba de Kruskal Wallis para cobertura de fauna móvil submareal de fondo duro.

Parámetro	Campaña	Área de estudio	Estrato
Cobertura (Ind/m^2)	0,0594	0,8667	0,0323

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas.

Tabla 4.4-21: P-valores comparaciones múltiples para la variable "Estrato". Cobertura de fauna móvil submareal de fondo duro.

Estrato	Superior	Medio	Inferior
Superior		0,060223	1,000000
Medio	0,060223		0,081585
Inferiorr	1,000000	0,081585	

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas.

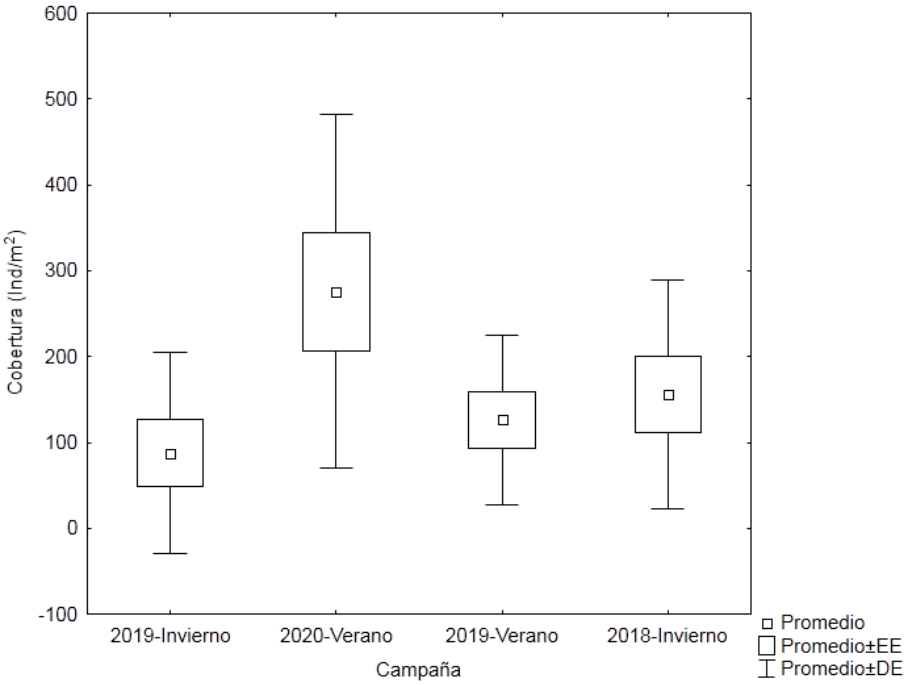


Figura 4.4-113: Cobertura de fauna móvil submareal fondo duro, entre las cuatro campañas de estudio.

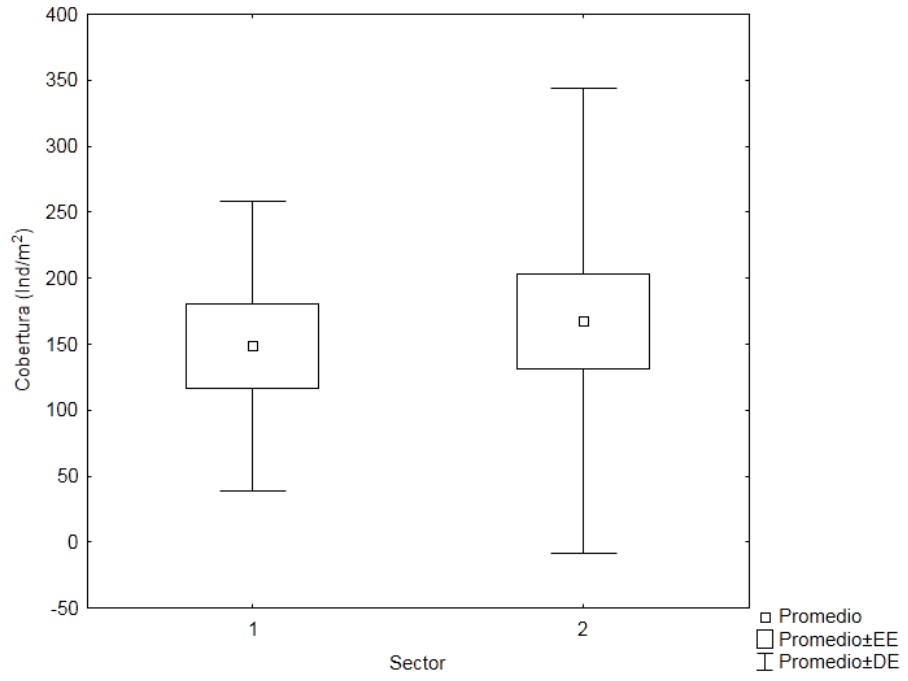


Figura 4.4-114: Cobertura de fauna móvil submareal fondo duro, entre sectores de la bahía Algodonales.

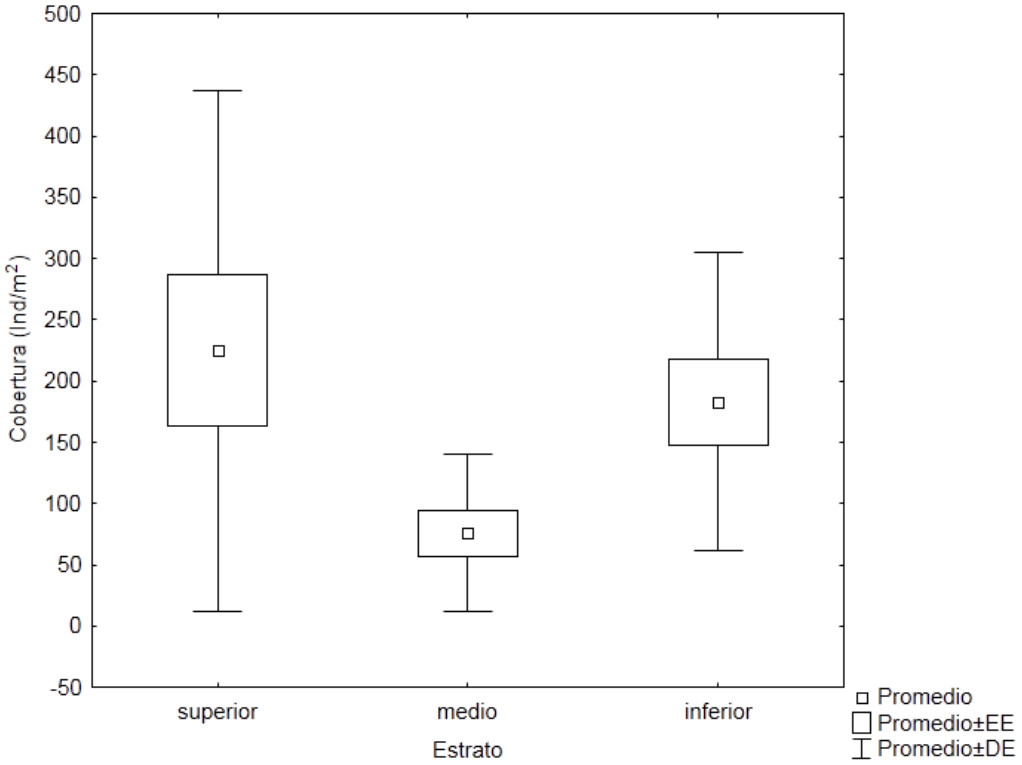


Figura 4.4-115: Cobertura de fauna móvil submareal de fondo duro entre estratos.

4.4.2.3.3 Comunidades bentónicas submareal blando

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de las comunidades bentónicas del submareal fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre las campañas evaluadas (Figura 4.4-116). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos submareal, el cual indicó una distribución espaciotemporal sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,079 $p<0,05$), lo que da cuenta una comunidad más bien estable en términos de composición y abundancia en los años de estudio.

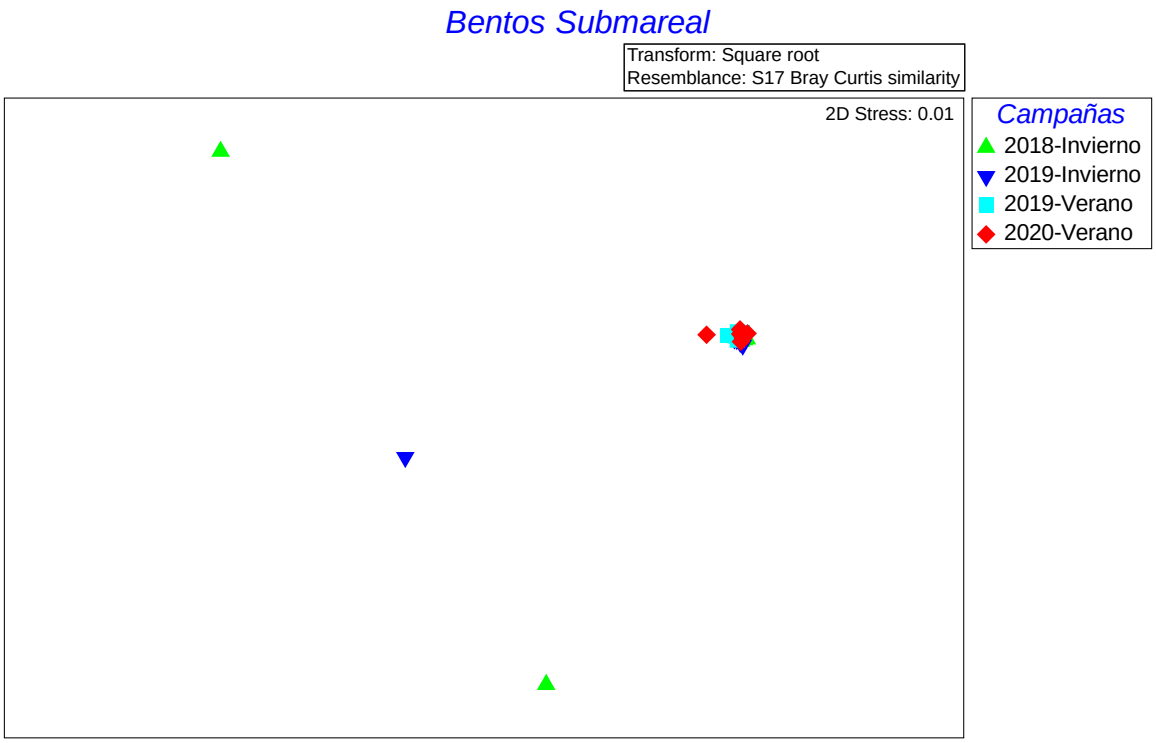


Figura 4.4-116 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos submareal blando, entre las cuatro campañas en estudio.

Se utilizó la base de datos confeccionada a partir de los resultados de abundancia y distribución de las comunidades bentónicas del submareal fondo blando del área de estudio para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre campañas y áreas de estudio. Para ello, se utilizó la prueba estadística de Kruskall-Wallis. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa estadístico Statistica v10.0. Se utilizó un nivel de significancia de α 0,05.

En la Tabla 4.4-22 se muestran los resultados de la prueba de Kruskal Wallis realizados para abundancia de bentos del submareal blando (Ind/m^2). El análisis se realizó para las variables "Campaña" y "Sector", durante el periodo comprendido entre invierno 2018 y verano 2020. La prueba estadística concluye que no existen diferencias significativas para las variables cuantificadas (Tabla 4.4-22; Figura 4.4-117).

Uno de los grupos más abundantes del submareal blando corresponde a individuos del grupo de los Poliquetos. Entre estos, la familia Spionidae es una de las familias de Polychaeta más abundantes y diversificadas que habitan los fondos blandos sublitorales de bahías y estuarios (Blake 1996). Los espiónidos probablemente han logrado el éxito evolutivo y el dominio en los ecosistemas costeros debido a la gran plasticidad en sus métodos de captura de partículas para la alimentación y / o construcción de tubos (Dauer *et al.,* 1981), así como por sus diversos mecanismos de reproducción y desarrollo (Blake & Arnofsky, 1999). En ambientes de lodo y arena, las espiónidas ayudan a estabilizar y compactar las capas superficiales de fondos blandos (Blake, 1996), a menudo formando

ensamblajes extensos en áreas con alto contenido de materia orgánica (Pearson y Rosemberg, 1978). También se detectó la presencia de gastrópodos de la familia Turritellidae. Merriam (1941), describe a *T. communits* como organismos sedentarios comedores de detritus, con preferencia de salinidad normal y moderada profundidad. La abundancia y distribución de individuos representa un sistema sin singularidades especie específicas, sino que alberga especies de amplia distribución y altamente versátiles ecológicamente.

Tabla 4.4-22: P-valores prueba de Kruskal Wallis para cobertura de bentos del submareal de fondo blando.

Parámetro	Campaña	Área de estudio
Cobertura (Ind/m^2)	0,4996	0,0980

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas.

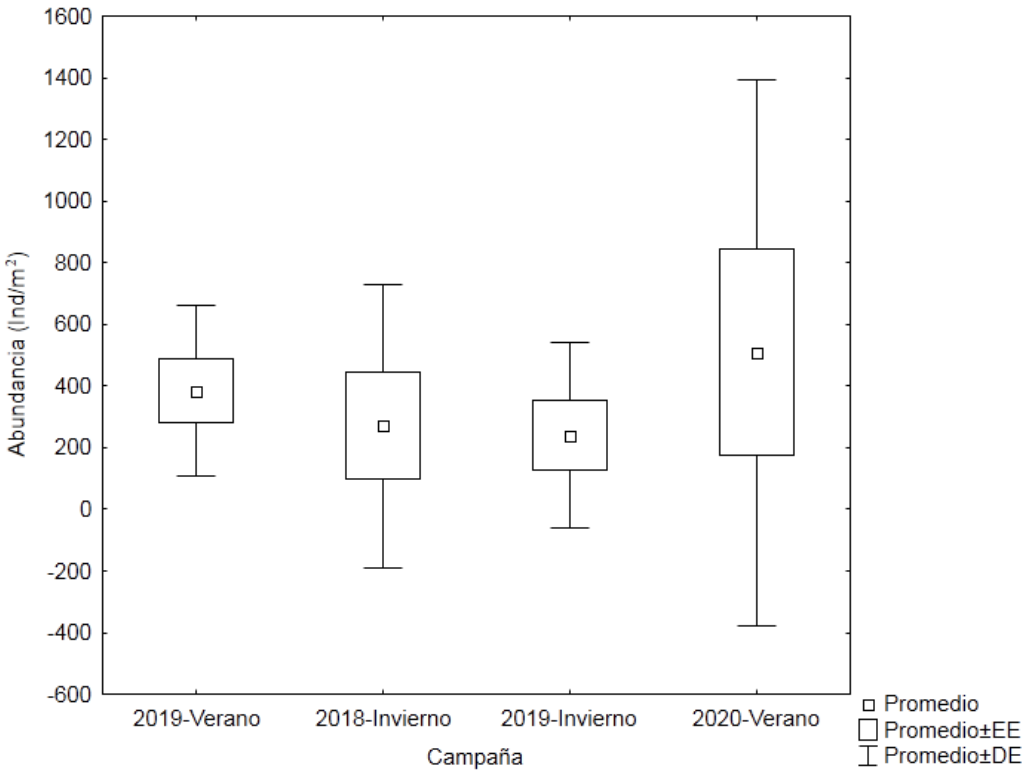


Figura 4.4-117: Cobertura de bentos del submareal de fondo blando, entre las cuatro campañas en estudio.

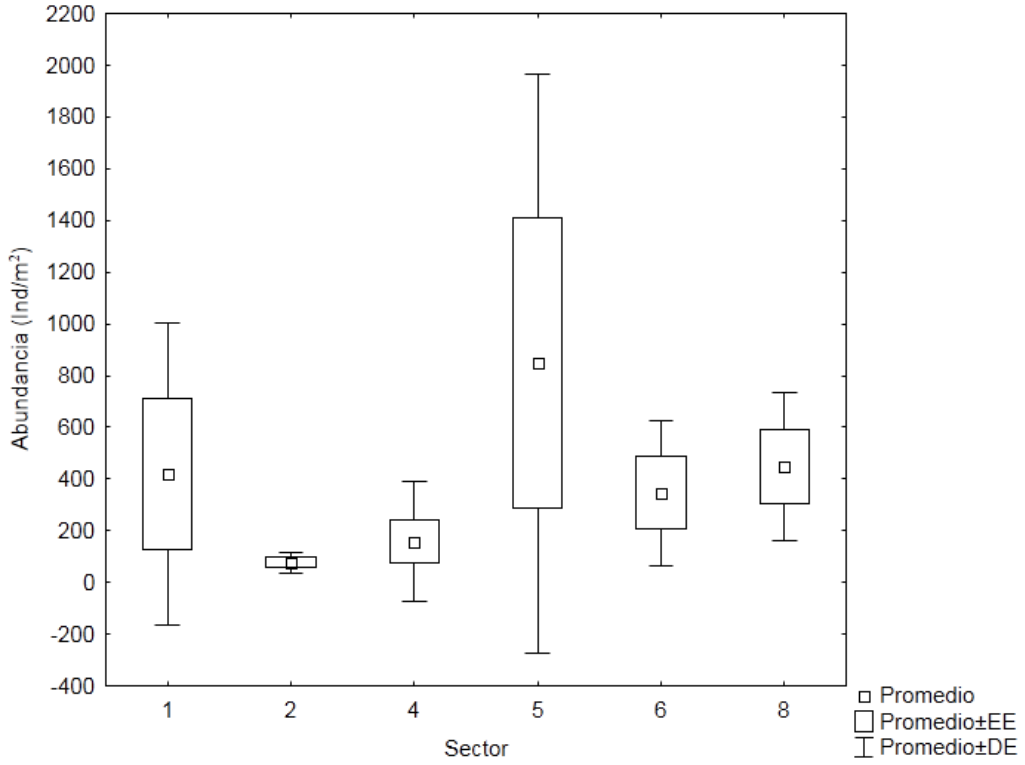


Figura 4.4-118: Cobertura de bentos del submareal de fondo blando, entre sectores de la bahía Algodonales.

4.4.2.3.4 Comunidades bentónicas intermareal duro

4.4.2.3.4.1 Fauna Sésil

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea para los gradientes medio e inferior de la fauna sésil del intermareal duro, mientras que el gradiente superior presenta una distribución más bien heterogénea, en cuanto a composición y abundancia entre las campañas evaluadas (Figura 4.4-119). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de la fauna sésil del intermareal, el cual indicó una distribución espaciotemporal sin formación de grupos diferenciados para los niveles medio e inferior (ANOSIM (medio): R= 0,412 p<0,05; ANOSIM (inferior): R= 0,357 p<0,05), mientras que para el nivel superior el análisis indico una formación de grupos definidos (ANOSIM (superior): R= 0,635 p<0,05). El análisis de contribución de porcentajes (SIMPER) detectó que el grupo Cirripedia y la especie *Notochthamalus scabrosus* fueron las que contribuyeron en mayor porcentaje a la diferenciación entre las tres campañas evaluadas.

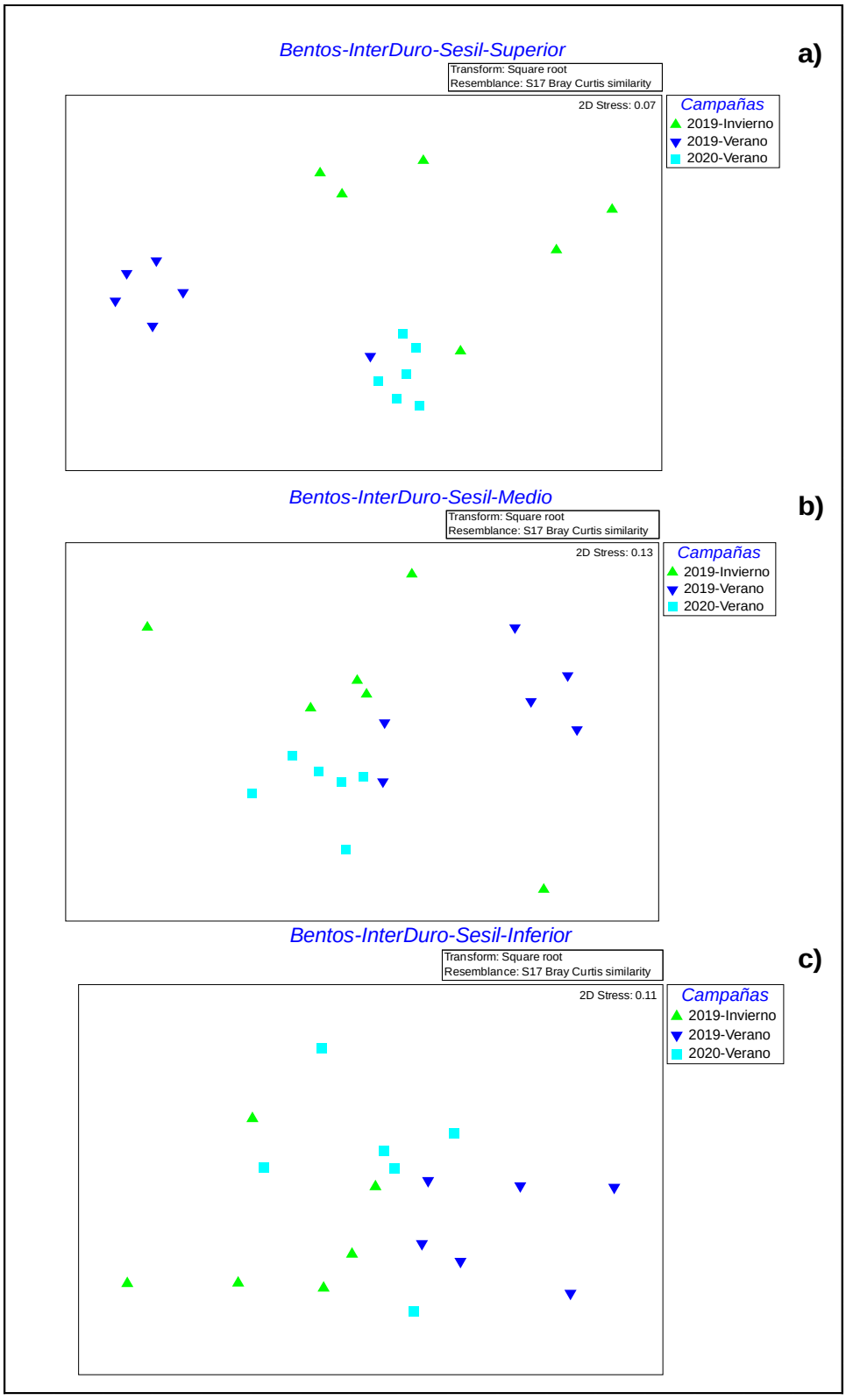


Figura 4.4-119 Análisis Escalamiento Multidimensional de organismos sésiles intermareales a tres niveles de profundidad a) Superior, b) Medio y c) Inferior, entre cuatro campañas en estudio.

En la Tabla 4.4-23 se muestran los resultados de la prueba de Kruskal Wallis realizados para cobertura de fauna sésil del intermareal duro (%). El análisis se realizó para las variables "Campaña", "Sector" y "Estrato", durante el periodo comprendido entre verano 2019 y verano 2020. La prueba estadística concluye que no existen diferencias significativas para las variables analizadas (Tabla 4.4-23; Figura 4.4-120).

La existencia de un grupo diferenciado en análisis de similitud nos indica que son los procesos de reclutamiento los que condicionan la dinámica poblacional de los organismos bentónicos (Connolly & Roughgarden, 1998, García, 2009). Así como su abundancia y distribución. A pesar de que en el presente estudio no se detectó diferencias significativas entre campañas, sectores o estratos muestreados, sabemos que para poblaciones intermareales con ciclo de vida complejo o meroplanctónicas, se ha propuesto que sus fluctuaciones en abundancia estarían moduladas por variaciones en el proceso de reclutamiento, el cual hace referencia a los individuos asentados que sobreviven un periodo de tiempo en el que la mortalidad post-asentamiento se ha estabilizado (Connell, 1985, García, 2009). De esta forma, la dinámica de comunidades de especies dominadas por organismos con ciclos de vida complejos, como lo son los cirripedios, podría estar gobernada por procesos que asumen que la tasa de arribo de reclutas a poblaciones y comunidades diferenciadas espacialmente, pero conectadas por dispersión (aquí aplica el concepto de metacomunidades; Leibold *et al.,* 2004) tienen un efecto mayor a los procesos locales (interacciones bióticas y filtros ambientales locales) sobre las dinámicas de los adultos. Es por esto que se detectó la diferencia mencionada. Además, existen forzantes oceanográficas como corrientes y surgencias, presentes en el área de estudio que determinan la tasa de llegada de las larvas a los sitios de asentamiento, dependiendo del pool larval y procesos de transporte físico (Connolly & Roughgarden, 1998, Lagos, 2003). También hay otros factores locales que afectan la etapa de migración larval y que condicionan el proceso de reclutamiento en la mayoría de los invertebrados bentónicos, como la disponibilidad de sustrato adecuado para el asentamiento, los procesos micro-hidrodinámicos y de comportamiento (Pineda 1994) y la mortalidad post-asentamiento determinada por filtros ambientales locales e interacciones bióticas (García, 2009). Asimismo, la complejidad estructural del hábitat de *P. purpuratus* y la heterogeneidad ambiental influyen fuertemente en la estructura de las comunidades asociadas con los mismos (Tsuchiya y Nishihira, 1985). En este estudio, la diferencia en los estratos correspondió a valores más bajos de uniformidad en la comunidad asociada; lo que significa que algunas especies se volvieron dominantes en el estrato. En la misma línea, para los estratos medio e inferior, tenemos una distribución heterogénea de individuos. Evidentemente, los procesos bióticos y abióticos presentes en la bahía serán los que determinen la abundancia y distribución de especies, por lo que la situación actual puede verse modificada de acuerdo con las condiciones locales que cada sitio de muestreo.

Tabla 4.4-23: P-valores prueba de Kruskal Wallis para cobertura de fauna sésil intermareal duro.

Parámetro	Campaña	Área de estudio	Estrato
Cobertura (%)	0,5296	0,0904	0,9832

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas.

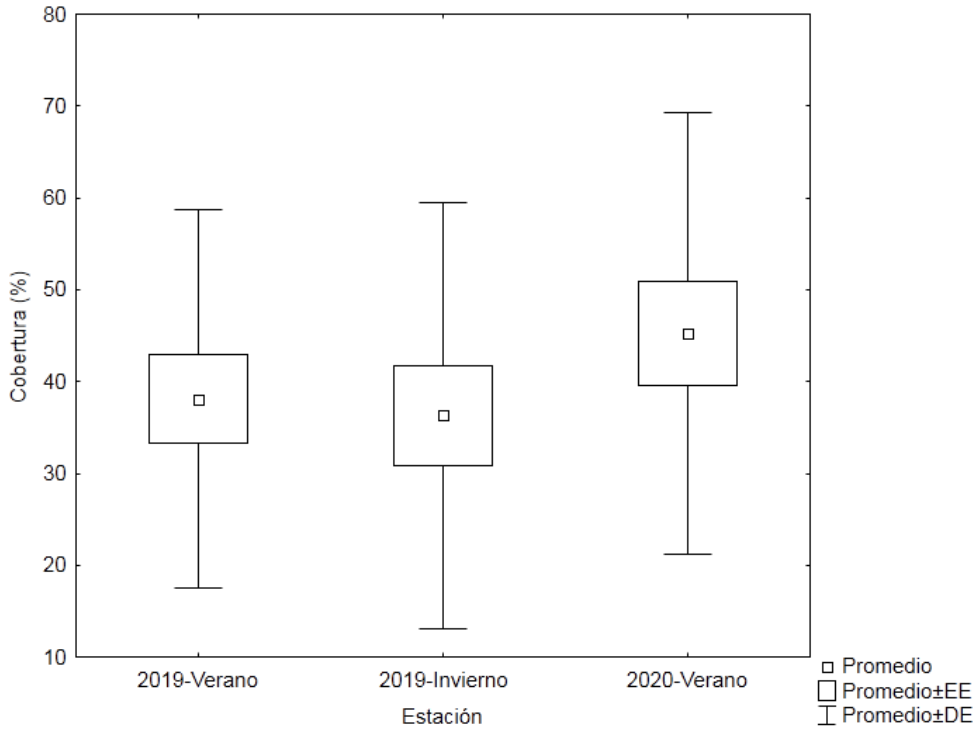


Figura 4.4-120: Cobertura de fauna sésil intermareal fondo duro, entre las cuatro campañas en estudio.

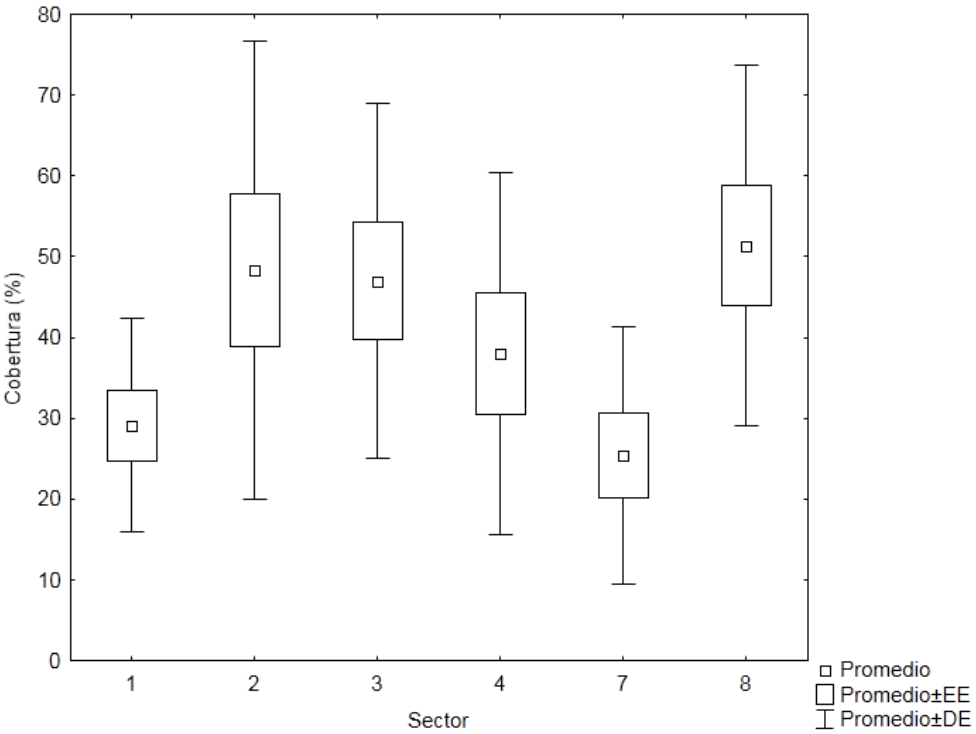


Figura 4.4-121: Cobertura de fauna sésil intermareal de fondo duro, entre sectores de la bahía Algodonales.

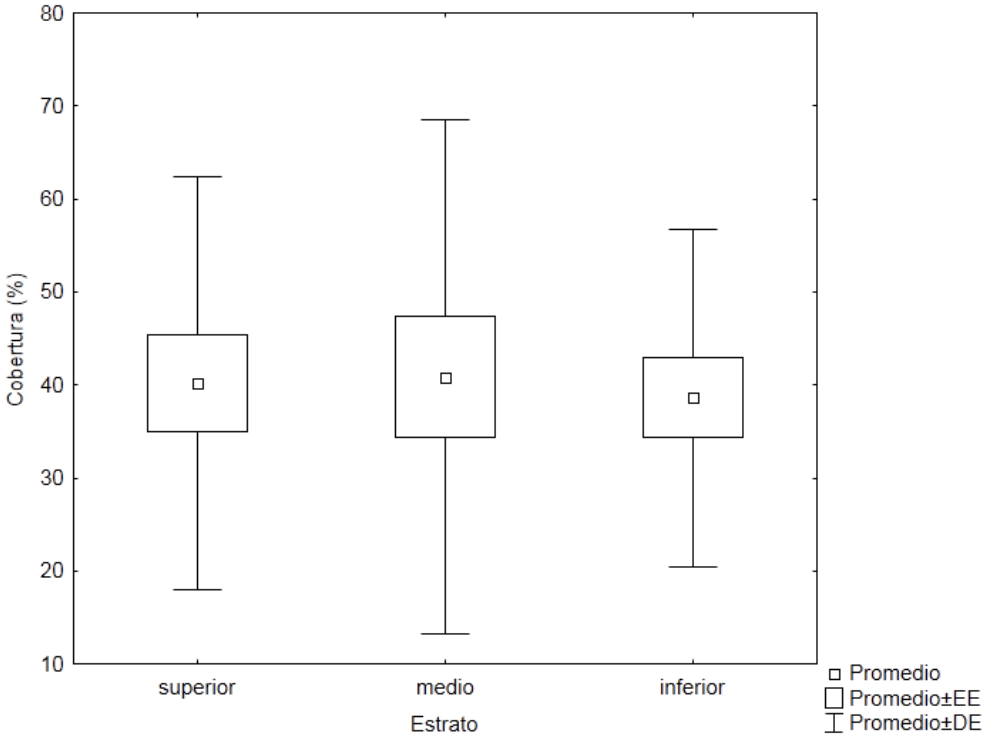


Figura 4.4-122: Cobertura de fauna sésil intermareal fondo duro, entre estratos.

4.4.2.3.4.2 Fauna Móvil

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de la fauna móvil del submareal fondo duro, en cuanto a composición y abundancia entre las campañas evaluadas (Figura 4.4-123). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia de organismos móviles intermareales, el cual indicó una distribución espaciotemporal sin formación de grupos diferenciados para los tres gradientes evaluados (ANOSIM (Superior): R= 0,542 p>0,05; ANOSIM (Medio): R= 0,33 p>0,05; ANOSIM (Inferior): R= 0,158 p>0,05), lo que da cuenta de una comunidad regular en composición y abundancia de la fauna móvil en todos los niveles de profundidad evaluados.

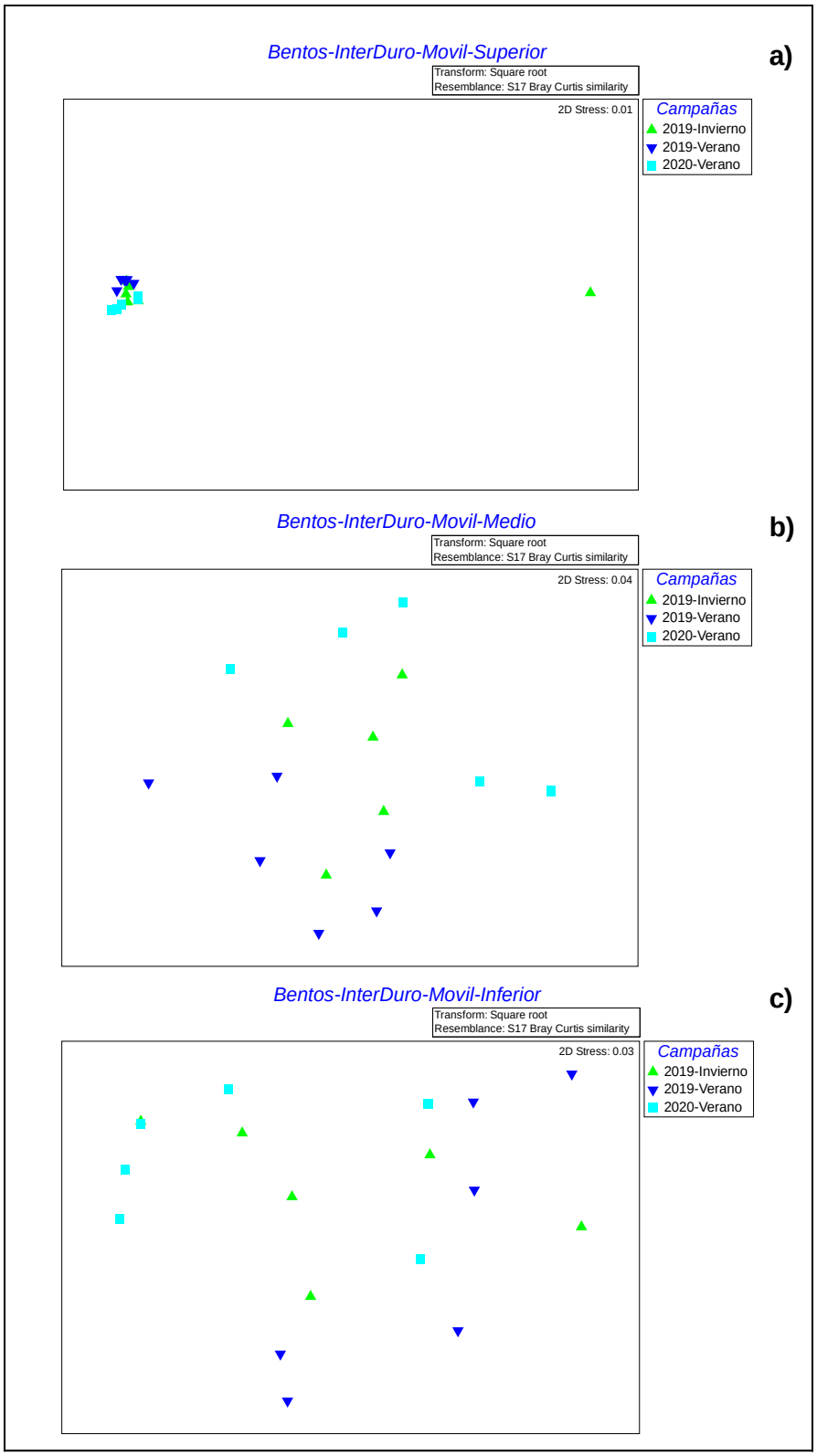


Figura 4.4-123 Análisis Escalamiento Multidimensional de organismos móviles intermareales a tres niveles de profundidad a) Superior, b) Medio y c) Inferior, entre cuatro campañas en estudio.

En la Tabla 4.4-24 se muestran los resultados de la prueba de Kruskal Wallis realizados para cobertura de fauna móvil del intermareal duro (Ind/m^2). El análisis se realizó para las variables “Campaña”, “Sector” y “Estrato”, durante el periodo comprendido entre invierno 2018 y verano 2020. La prueba estadística concluye que no existen diferencias significativas para las variables analizadas (Tabla 4.4-24; Figura 4.4-124).

El intermareal rocoso presenta amplias variaciones de radiación solar, temperatura y humedad. (Shick *et al.,* 1988; Chapman & Underwood, 1994; Little & Kitching, 1996). Tomando en cuenta que los organismos que habitan esta zona están expuestos a condiciones extremas, tanto el balance hídrico, como el control de la temperatura son factores claves para su distribución y supervivencia (Garrity, 1984; Soto & Bozinovic, 1998; Helmuth, 1999). Es por este motivo que la fauna móvil del intermareal rocoso encontrada en la bahía Algodonales estuvo compuesta por organismos altamente adaptados a las condiciones señaladas. Individuos de la familia Littorinidae fueron los más abundantes en este tipo de ambiente y está descrito que además presentan una amplia distribución geográfica (Little & Kitching, 1996). Las Litorinas son capaces de adaptarse a las condiciones locales de exposición al oleaje y temperatura (Underwood & McFayden, 1983; Etter, 1988). La estrategia de evasión al estrés físico ambiental incluye la formación de agregaciones, donde se genera un microclima en el centro de este (Chapman, 1994; Chapman & Underwood, 1996), ocultamiento en la concha y selección activa de grietas y lugares sombríos (Garrity, 1984). A raíz de estas estrategias, es que se presentaron con la mayor abundancia en los cuadrantes de muestreo. Por otra parte, las otras especies presentes en el intermareal rocoso de la bahía Algodonales presentan estrategias variadas para hacer frente a las condiciones del entorno, sin mostrar diferencias espacio temporales claras a lo largo de la costa.

Tabla 4.4-24: P-valores prueba de Kruskal Wallis para cobertura de fauna móvil intermareal duro.

Parámetro	Campaña	Área de estudio	Estrato
Cobertura (Ind/m^2)	0,1065	0,1326	0,1034

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas

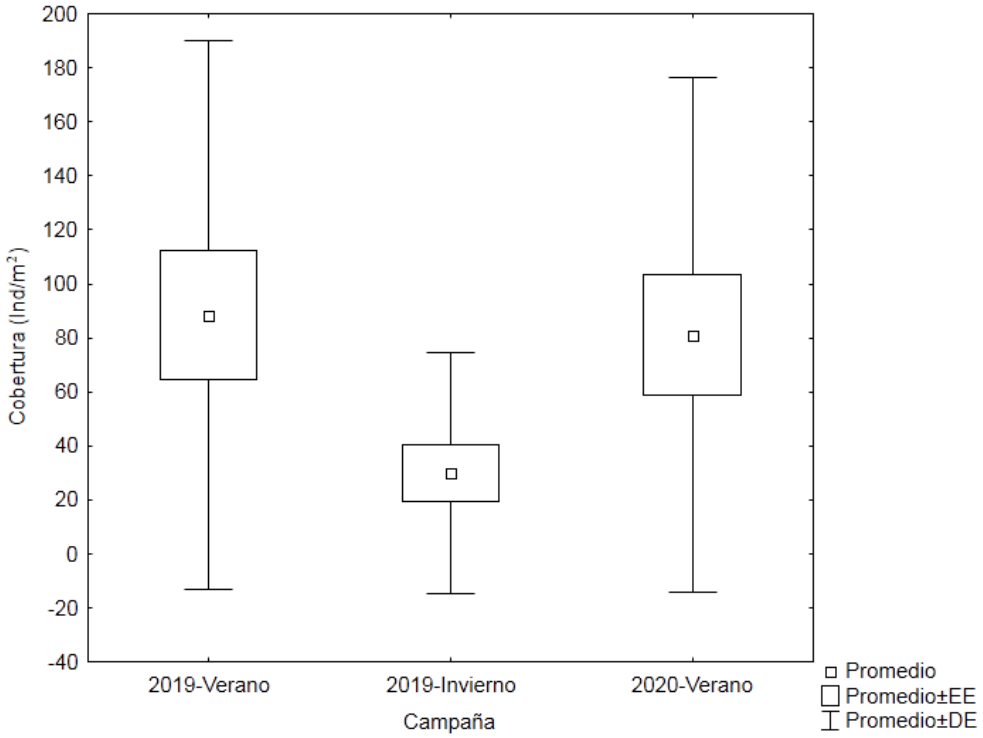


Figura 4.4-124: Cobertura de fauna móvil intermareal de fondo duro, entre las cuatro campañas en estudio.

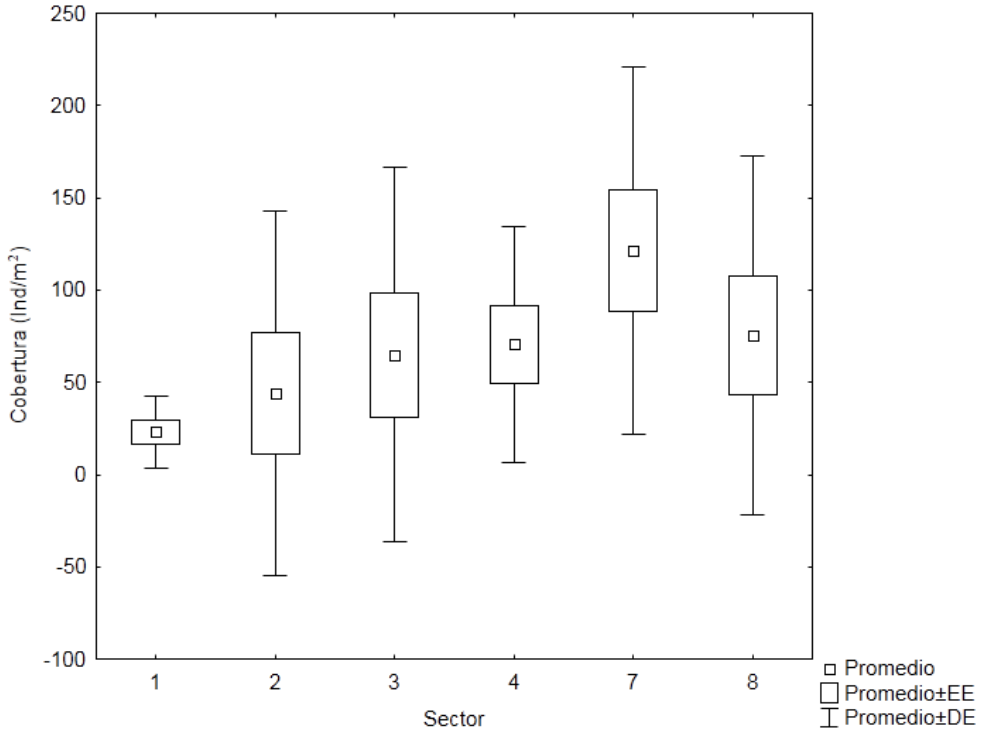


Figura 4.4-125: Cobertura de fauna móvil intermareal de fondo duro, entre sectores de la bahía Algodonales.

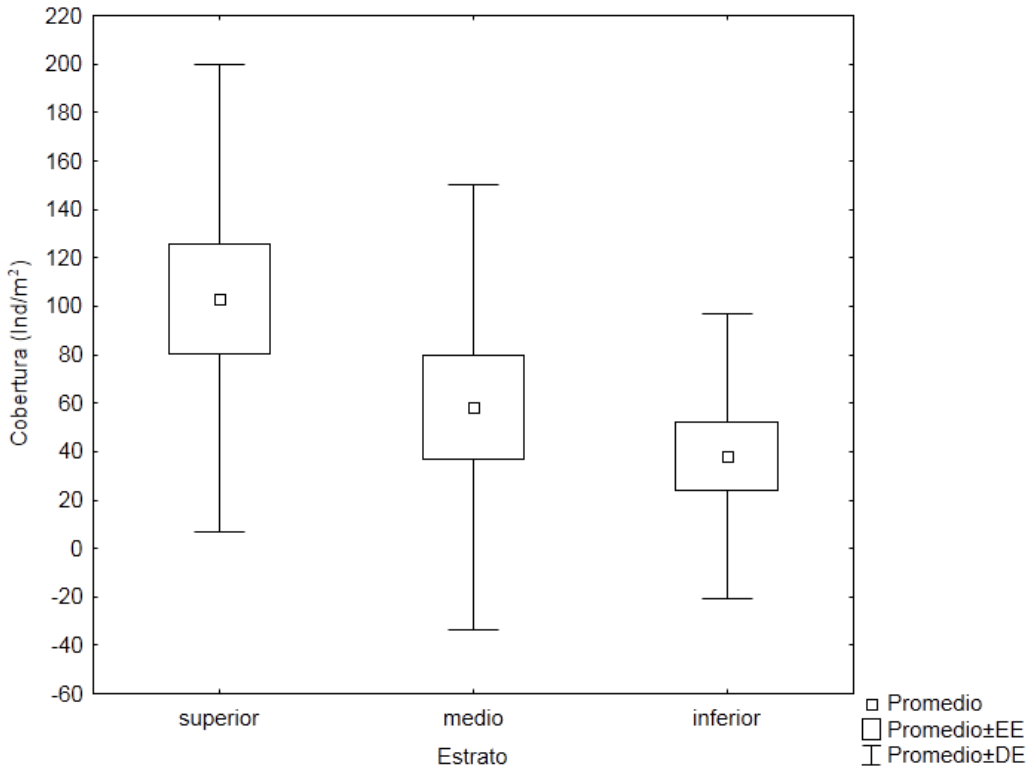


Figura 4.4-126: Cobertura de fauna móvil intermareal de fondo duro, entre estratos.

4.4.2.3.5 Comunidades bentónicas intermareal blando

El escalamiento multidimensional presentó una distribución más bien homogénea de las comunidades bentónicas del intermareal fondo blando, en cuanto a composición y abundancia entre las campañas evaluadas (Figura 4.4-127). Esto se corroboró con el análisis de similitud aplicado entre la composición y abundancia del bentos intermareal, el cual indicó una distribución espaciotemporal sin formación de grupos diferenciados (ANOSIM: R= 0,0639 p<0,05), lo que da cuenta una comunidad más bien estable en términos de composición y abundancia en los años de estudio.

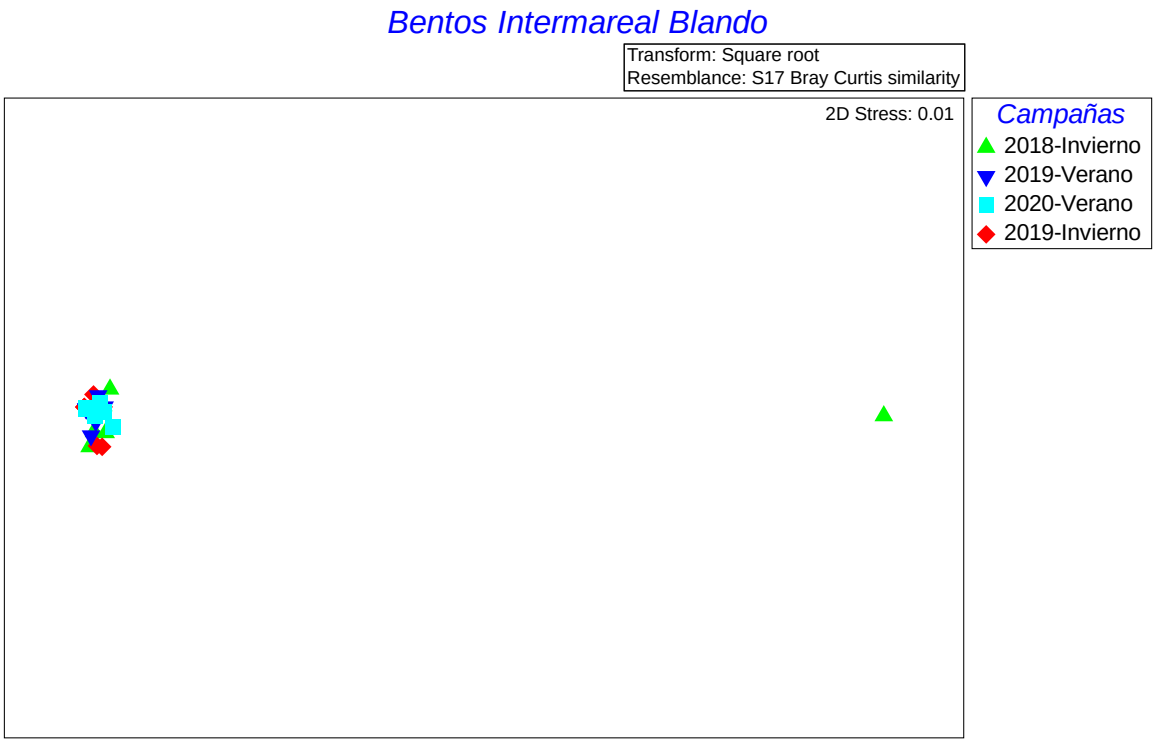


Figura 4.4-127 Análisis Escalamiento Multidimensional de bentos submareal blando, entre las cuatro campañas en estudio.

En la Tabla 4.4-25 se muestran los resultados de la prueba de Kruskal Wallis realizados para abundancia de bentos del intermareal blando (Ind/m^2). El análisis se realizó para las variables "Campaña" y "Sector", durante el periodo comprendido entre invierno 2018 y verano 2020. La prueba estadística concluye que no existen diferencias significativas para las variables cuantificadas (Tabla 4.4-25; Figura 4.4-128). Las especies con mayor abundancia en este ambiente fueron los poliquetos de la familia Sacocirridae, que son de pequeño tamaño y con glándulas adhesivas en las papilas o el epitelio ventral se adaptan bien a los hábitats intersticiales y de alta energía (Westheide, 1990). Asimismo, se detectó una importante presencia de uno de los crustáceos decápodos bentónicos dominantes en las playas de arena de las costas central y norte de Chile, *Emerita analoga* (Stimpson, 1857), conocido como pulga de mar (Contreras *et al.,* 1999). Este anomuro perteneciente a la familia Hippidae, forma agregaciones en la zona de lavado de las playas. Es un animal filtrador que aprovecha la corriente producida por el oleaje en las playas de arena (Barnes & Wenner, 1968). Se ha determinado que es más abundante en playas disipativas que en playas reflectivas, ya que le favorece el perfil plano de la playa y las arenas finas (Jaramillo *et al*., 2000).

Tabla 4.4-25: P-valores prueba de Kruskal Wallis para cobertura de bentos del intermareal blando.

Parámetro	Campaña	Área de estudio
Cobertura (Ind/m^2)	0,4996	0,0980

Fuente: Elaboración propia. * Existen diferencias significativas.

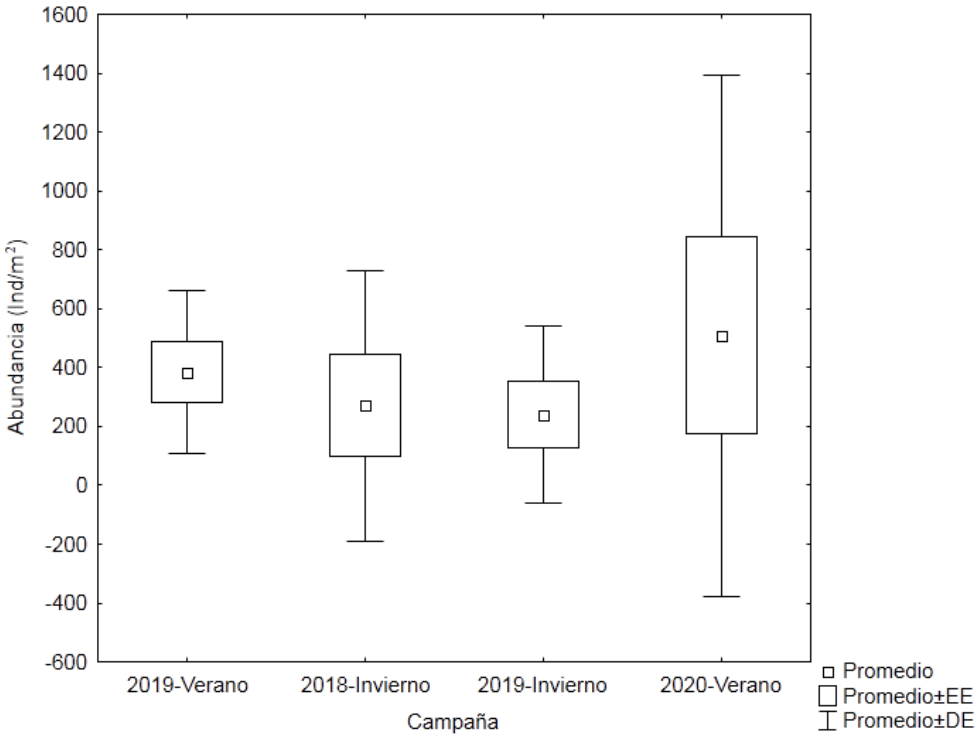


Figura 4.4-128: Cobertura de bentos del intermareal de fondo blando, entre las cuatro campañas en estudio.

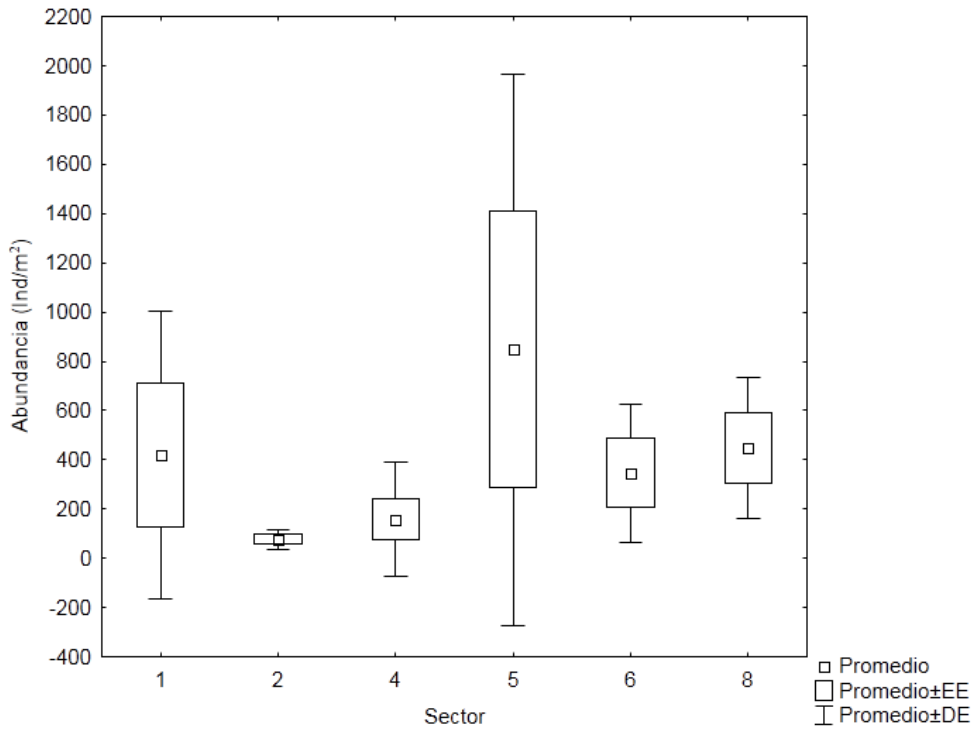


Figura 4.4-129: Cobertura de bentos del intermareal de fondo blando, entre sectores de la bahía Algodonales.

4.4.2.3.6 Metales en biota

La lista de especies muestreadas, en conjunto con la cantidad de muestras alcanzadas para cada macro componente (metales e hidrocarburos), se adjunta en la Tabla 4.4-26

Tabla 4.4-26: Especies recolectadas y número de muestras logradas para análisis de concentración de metales e hidrocarburos en biota.

Nombre común	Especie	N° muestras logradas Metales	N° muestras Logradas Hidrocarburos	Sector de captura
Bilagay	*Cheilodactylus variegatus*	3	1	Cenizales, Puerto
Erizo rojo	*Loxechinus albus*	3	3	Cenizales, Muelle Electroandina
Huiro Palo	*Lessonia trabeculata*	3	3	Cenizales, Puerto
Jaiba	*Cancer setosus*	3	-	Muelle Electroandina
Lapa	*Fissurella sp.*	3	-	Cenizales, Desaladora
Lenguado	*Paralichthys adspersus*	1	-	Punta Algodonales
Loco	*Concholepas concholepas*	3	-	Cenizales, Muelle Electroandina, Desaladora
Pejerrey	*Odontesthes regia*	3	-	Muelle Pescadores
Piure	*Pyura sp.*	3	1	Cenizales, Muelle Electroandina
Pulpo	*Octopus sp.*	3	3	Muelle Electroandina

A nivel nacional se tiene como referencia el *"Reglamento Sanitario de los Alimentos"* DS977/96 del MINSAL, el cual establece las condiciones sanitarias a las cuales deberá ceñirse la producción, importación, elaboración, envase, almacenamiento, distribución y venta de alimentos para uso humano, con el objeto de proteger la salud y nutrición de la población y garantizar el suministro de productos sanos e inocuos. En la Tabla 4.4-27 se adjuntan los valores de referencia para los parámetros de interés del presente estudio, mientras que en la Figura 4.4-130 se adjuntan las gráficas del contenido de los principales metales y contenido relativo en las distintas especies del presente estudio.

Tabla 4.4-27: Valores de referencia para compuestos en alimentos, DS 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

Respecto a los valores medios de concentración en los tejidos encontrados (Tabla 4.4-28), donde se consideró como criterio conservador que los valores de concentración bajo el

límite de detección fuesen iguales a dichos límites, y los valores de referencia del DS 977/96, se destacan en general los altos valores de concentración de arsénico, cobre y selenio presentes en las distintas especies muestreadas. Los resultados de concentración de hidrocarburos en biota arrojaron en general valores bajo el límite de detección. En el Objetivo Específico 3 (Acápite 4.3) del presente estudio, se llevó a cabo una evaluación de riesgo para la salud de las personas, en el cual se desarrolló un análisis respecto al significado e implicancia de estas concentraciones.

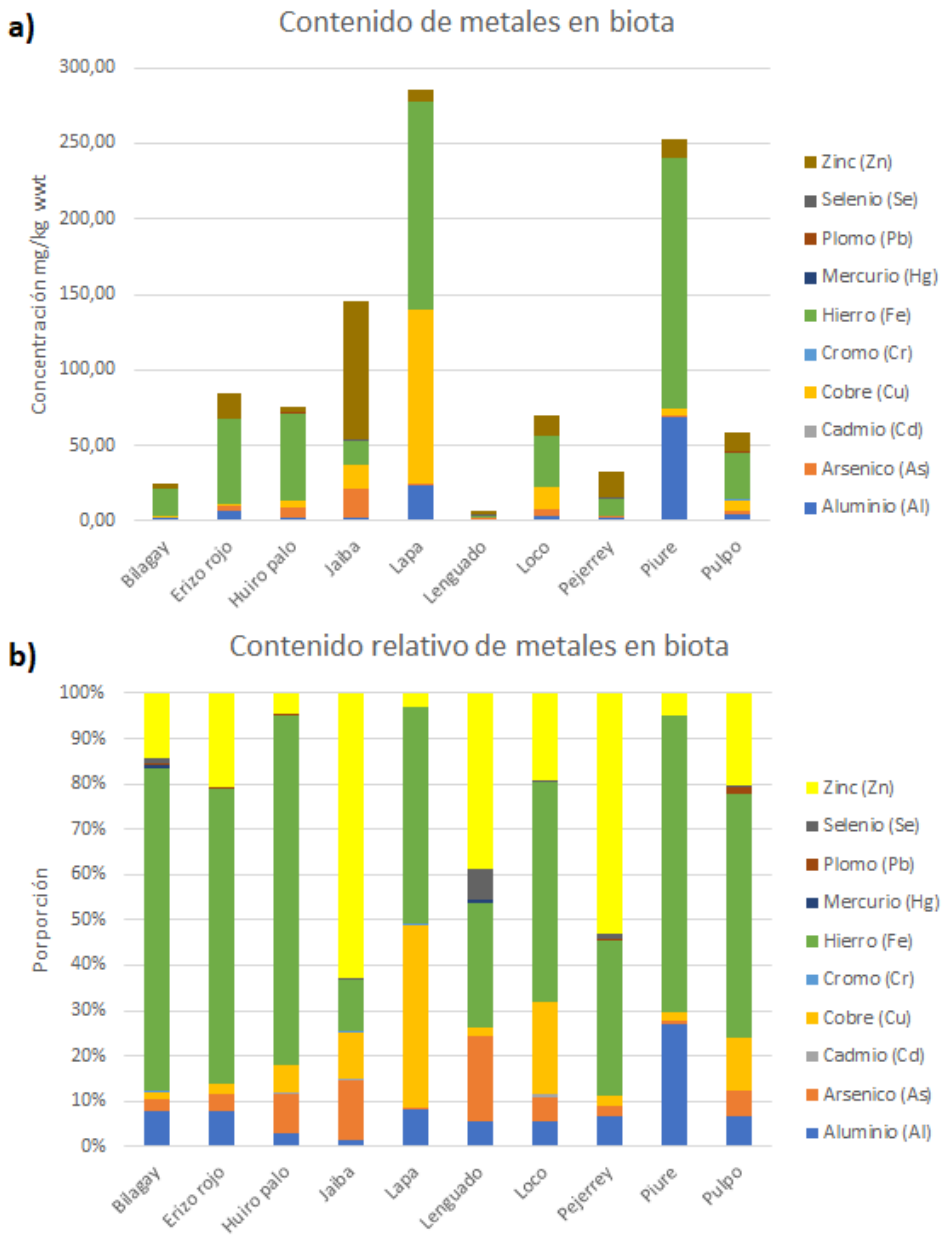


Figura 4.4-130: Contenido de metales en biota. A) Concentración de parámetros en cada una de las especies analizadas. B) Proporción de la concentración de cada parámetro por especie respecto a la concentración total de metales.

Tabla 4.4-28: Valores promedio de concentración de metales en biota. Se destacan en rojo los valores de concentración por sobre lo establecido en el DS 977/96.

Parámetro	LD	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Aluminio (Al) (mg/kg wwt)	0,4	2,010	6,633	2,163	1,803	23,333	0,400	3,870	2,177	68,333	3,917
Arsenico (As) (mg/kg wwt)	0,004	0,627	3,140	6,523	19,467	1,383	1,300	3,633	0,733	1,383	3,220
Cadmio (Cd) (mg/kg wwt)	0,001	0,030	0,153	0,157	0,245	0,215	0,001	0,545	0,000	0,436	0,094
Cobre (Cu) (mg/kg wwt)	0,02	0,378	1,700	4,703	15,167	114,867	0,131	14,200	0,800	4,467	6,817
Cromo (Cr) (mg/kg wwt)	0,01	0,032	0,120	0,084	0,033	0,204	0,010	0,024	0,017	0,196	0,037
Hierro (Fe) (mg/kg wwt)	0,6	18,000	55,567	57,667	16,467	137,000	1,920	33,767	11,300	164,967	31,300
Mercurio (Hg) (mg/kg wwt)	0,005	0,197	0,002	0,001	0,030	0,004	0,043	0,009	0,007	0,006	0,017
Plomo (Pb) (mg/kg wwt)	0,004	0,133	0,066	0,424	0,026	0,238	0,005	0,050	0,111	0,105	0,861
Selenio (Se) (mg/kg wwt)	0,01	0,277	0,146	0,020	0,639	0,160	0,470	0,243	0,407	0,699	0,141
Zinc (Zn) (mg/kg wwt)	0,1	3,637	17,600	3,360	91,167	8,190	2,730	13,367	17,533	12,067	11,943

Tabla 4.4-29: Desviación estándar de concentración de metales en biota para cada especie muestreada.

Parámetro	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Aluminio (Al) (mg/kg wwt)	1,546	4,652	1,245	0,620	12,088	0,000	3,528	1,501	47,919	2,859
Arsenico (As) (mg/kg wwt)	0,163	0,446	0,850	3,861	0,390	0,000	0,793	0,050	0,397	1,745
Cadmio (Cd) (mg/kg wwt)	0,007	0,074	0,080	0,060	0,086	0,000	0,357	0,000	0,059	0,078
Cobre (Cu) (mg/kg wwt)	0,169	0,535	2,383	6,035	45,327	0,000	8,022	0,141	1,226	2,816
Cromo (Cr) (mg/kg wwt)	0,027	0,038	0,035	0,007	0,061	0,000	0,012	0,005	0,114	0,020
Hierro (Fe) (mg/kg wwt)	12,804	45,886	37,915	3,675	77,927	0,000	26,535	2,642	102,115	15,988
Mercurio (Hg) (mg/kg wwt)	0,017	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000	0,005	0,001	0,002	0,009
Plomo (Pb) (mg/kg wwt)	0,099	0,020	0,049	0,003	0,148	0,000	0,015	0,041	0,043	0,518
Selenio (Se) (mg/kg wwt)	0,006	0,022	0,002	0,191	0,027	0,000	0,027	0,013	0,206	0,040
Zinc (Zn) (mg/kg wwt)	1,081	1,871	1,136	14,693	2,951	0,000	1,725	0,368	2,176	4,016

Tabla 4.4-30: Mínimos valores de concentración de metales en biota para cada especie muestreada.

Sector	Cenizales	Cenizales	Cenizales	Muelle Electroandina	Cenizales	Punta Algodonales	Cenizales	Muelle pesca artesanal	Muelle Electroandina	Muelle Electroandina
Parámetro (mg/kg wwt)	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Aluminio (Al)	0,640	3,000	1,000	1,000	6,300	0,400	0,400	1,100	21,000	0,630
Arsenico (As)	0,430	2,670	5,690	15,500	0,840	1,300	2,800	0,680	0,880	1,370
Cadmio (Cd)	0,021	0,070	0,100	0,200	0,130	0,001	0,280	0,000	0,390	0,014
Cobre (Cu)	0,227	1,000	1,500	10,800	67,600	0,131	5,400	0,700	3,000	3,520
Cromo (Cr)	0,010	0,079	0,040	0,027	0,119	0,010	0,012	0,010	0,103	0,010
Hierro (Fe)	8,500	12,000	8,000	12,000	29,000	1,920	6,200	9,000	83,900	8,700
Mercurio (Hg)	0,185	0,001	0,001	0,026	0,003	0,043	0,005	0,006	0,003	0,006
Plomo (Pb)	0,036	0,048	0,374	0,022	0,127	0,005	0,029	0,057	0,052	0,134
Selenio (Se)	0,269	0,124	0,019	0,402	0,129	0,470	0,207	0,390	0,420	0,085
Zinc (Zn)	2,690	15,100	2,000	72,200	4,970	2,730	11,400	17,100	10,100	6,730

Tabla 4.4-31: Máximos valores de concentración de metales en biota para cada especie muestreada. Se destacan en rojo los valores de concentración por sobre lo establecido en el DS 977/96.

Sector	Puerto	Muelle Electroandina	Puerto	Muelle electroandina	Desaladora	Punta Algodonales	Muelle Electroandina	Muelle Pescadores	Cenizales	Muelle Electroandina
Parámetro (mg/kg wwt)	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Aluminio (Al)	4,170	13,200	3,890	2,510	33,100	0,400	8,710	4,300	134,000	7,600
Arsenico (As)	0,830	3,740	7,690	24,700	1,740	1,300	4,700	0,800	1,850	5,560
Cadmio (Cd)	0,038	0,250	0,270	0,330	0,333	0,001	1,050	0,000	0,519	0,200
Cobre (Cu)	0,614	2,300	7,210	23,700	176,000	0,131	24,800	1,000	6,000	10,400

Sector	Puerto	Muelle Electroandina	Puerto	Muelle electroandina	Desaladora	Punta Algodonales	Muelle Electroandina	Muelle Pescadores	Cenizales	Muelle Electroandina
Parámetro (mg/kg wwt)	Bilagay	Erizo rojo	Huiro Palo	Jaiba	Lapa	Lenguado	Loco	Pejerrey	Piure	Pulpo
Cromo (Cr)	0,070	0,171	0,125	0,043	0,257	0,010	0,041	0,023	0,357	0,059
Hierro (Fe)	36,100	119,000	100,000	21,000	210,000	1,920	69,600	15,000	309,000	43,200
Mercurio (Hg)	0,221	0,002	0,001	0,039	0,005	0,043	0,017	0,008	0,008	0,028
Plomo (Pb)	0,270	0,094	0,490	0,029	0,447	0,005	0,064	0,156	0,157	1,300
Selenio (Se)	0,282	0,175	0,023	0,869	0,195	0,470	0,270	0,421	0,910	0,172
Zinc (Zn)	5,150	19,600	4,780	108,000	12,100	2,730	15,600	18,000	15,100	16,500

En cuanto a la recurrencia de los sectores de extracción de las especies con los valores máximos de concentración, se destaca que están asociados al Puerto o Muelle de Electroandina (Zonas de estudio 4 y 5), mientras que los menores valores de concentración se ubicaron en el sector de Cenizales (Zona de estudio 1).

La Tabla 4.4-32 muestra los factores de bioacumulación en recursos Hidrobiológicos provenientes de bahía Algodonales Tocopilla, para 9 metales en 10 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. Sin embargo, en anexos digitales se puede encontrar la totalidad de metales comprometidos en la propuesta.

Los factores de bioacumulación fueron calculados a partir de la concentración de metales disueltos en el estrato fondo de la columna de agua.

En general, los organismos bentónicos presentan los mayores factores de bioacumulación, presentando por lo menos un orden de magnitud mayor a los organismos pelágicos. Cabe destacar el alto valor de bioacumulación resultante para todas las especies en todos los metales de la tabla, indistinto del hábito alimenticio y del grupo.

Estos valores de bioacumulación dan cuenta de procesos biológicos presentes en la bahía que pueden estar produciendo efectos de biomagnificación en la cadena trófica presente en el ambiente, pues las diferentes tasas de consumo y excreción de metales, además de la longevidad de los organismos, dan cuenta de los elevados valores de concentración de tejido en biota.

Tabla 4.4-32: Factores de Bioacumulación en recursos hidrobiológicos provenientes de bahía Algodonales, Tocopilla.

Especie	Nombre Común	Hábitat Alimenticio	Grupo	Hábitat	Matriz considerada en el FBA	(As)	(Cd)	(Cu)	(Cr)	(Hg)	(Ni)	(Pb)	(Se)	(Zn)
Cheilodactylus variegatus	Bilagay	Carnívoro	Pez	Pelágico	Agua fondo	166,0	38,0	197,6	35,0	221,0	13,3	33,8	56,4	836,7
Loxechinus albus	Erizo rojo	Herbívoro	Equinodermo	Bentónico	Agua fondo	748,0	250,0	740,3	85,5	2,0	67,3	11,7	35,0	3184,4
Lessonia trabeculata	Huiro Palo	Productor primario	Alga	Bentónico	Agua fondo	1538,0	270,0	2320,6	62,5	1,0	42,0	61,3	4,6	776,6
Cancer setosus	Jaiba	Carnívoro	Crustáceo	Bentónico	Agua fondo	4940,0	330,0	7900,0	21,5	39,3	16,0	3,6	173,8	54000,0
Fissurella sp.	Lapa	Herbívoro	Molusco	Bentónico	Agua fondo	348,0	333,0	56647,8	128,5	5,1	32,3	55,9	39,0	1965,9
Paralichthys adspersus	Lenguado	Carnívoro	Pez	Pelágico Bentónico	Agua fondo	260,0	1,0	43,7	5,0	43,4	13,3	0,7	94,0	1365,0
Concholepas concholepas	Loco	Carnívoro	Molusco	Bentónico	Agua fondo	940,0	1050,0	7982,2	20,5	16,5	13,3	8,0	54,0	2534,5
Odontesthes regia	Pejerrey	Carnívoro	Pez	Pelágico	Agua fondo	160,0	16,0	333,3	11,5	8,3	13,3	19,5	84,2	4054,7
Pyura sp.	Piure	Omnívoro Filtrador	Molusco	Bentónico	Agua fondo	370,0	519,0	2000,0	178,5	7,6	105,3	19,6	182,0	7550,0
Octopus sp.	Pulpo	Carnívoro	Molusco	Bentónico	Agua fondo	1112,0	200,0	3466,7	29,5	28,3	13,3	162,5	34,4	8250,0

4.4.2.4 Flujos antrópicos de materiales y organismos

La información que se presenta en el presente capítulo corresponde a la información histórica recabada en el Objetivo Específico 1, en el ítem 4.1.1.3.4, que corresponde a los registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) consultados el día 5 de octubre del año 2017.

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 generó[7], mientras que Fuentes Puntuales son aquellas fuentes donde la ubicación del punto de descarga, generación o emisión al medio ambiente es plenamente identificable[8]. Para los propósitos del estudio, se estudian las emisiones para Fuentes puntuales.

De la base de datos reportada por establecimiento, se encontró que un total de 5 establecimientos industriales informan de sus emisiones en la comuna de Tocopilla. La Tabla 4.4-33 muestra los establecimientos industriales identificados.

Tabla 4.4-33 Establecimientos industriales con fuentes puntuales al medio receptor agua, en la comuna de Tocopilla.

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

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

4.4.2.4.1 Metales y metaloides

Un total de 15 metales y metaloides han sido informados como emisiones al cuerpo receptor agua durante el 2005 al 2016. Estos han sido ordenados de mayor a menor en función de la masa total que ha sido descargada en todo el periodo, de esta forma es posible identificar cuáles son los principales elementos que se emiten en la comuna de Tocopilla, dando cuenta de la actividad industrial presente en la bahía. A modo de simplificar el

[7] http://www.retc.cl/glosario/
[8] http://www.retc.cl/glosario/

análisis, se realizó una suma de los elementos cada 3 años, lo cual permite identificar si han existido cambios en las descargas a través de los años. La Tabla 4.4-34 muestra las cifras ordenadas de mayor a menor.

Tabla 4.4-34 Masa en toneladas de metales y metaloides descargados, sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Aluminio	-	0,04	1.842,59	691,35	2.533,98
Hierro - hierro disuelto	-	0,46	791,31	1.029,12	1.820,89
Boro	-	5,10	-	326,61	331,71
Xileno	201,49	0,17	-	-	201,66
Molibdeno	-	0,01	90,49	92,14	182,64
Zinc	-	15,25	62,35	84,27	161,87
Cromo Total	-	16,01	12,82	15,42	44,25
Cobre	-	3,44	0,03	24,94	28,41
Plomo	11,56	16,11	-	0,00	27,67
Cromo hexavalente	-	16,05	-	0,00	16,05
Níquel	-	0,11	0,02	15,91	16,04
Cadmio	-	5,09	-	-	5,09
Arsénico	-	0,02	-	0,87	0,89
Mercurio	-	0,32	-	-	0,32
Manganeso	-	0,03	-	-	0,03
Estaño	-	0,01	-	0,01	0,02
Selenio	-	0,00	-	0,00	0,00

Asimismo, la Figura 4.4-131 muestra tales valores de manera gráfica. Por otro lado, estos resultados se han seccionado en distintos gráficos a modo de visibilizar los distintos órdenes de magnitud identificados para la totalidad de metales y metaloides.

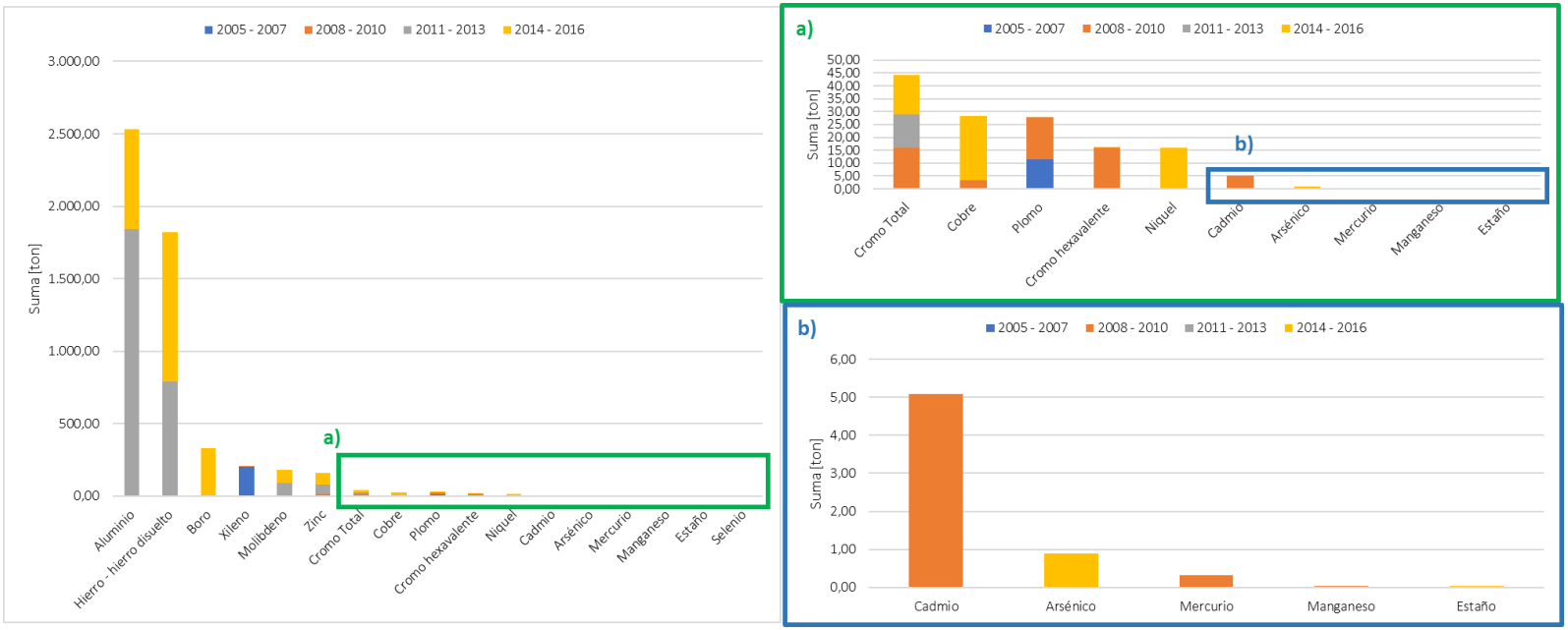


Figura 4.4-131 Masa de metales y metaloides descargados, sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

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

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

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

4.4.2.4.2 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 (Figura 4.4-132).

Tabla 4.4-35 Masa de parámetros asociados a nutrientes y productividad, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

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

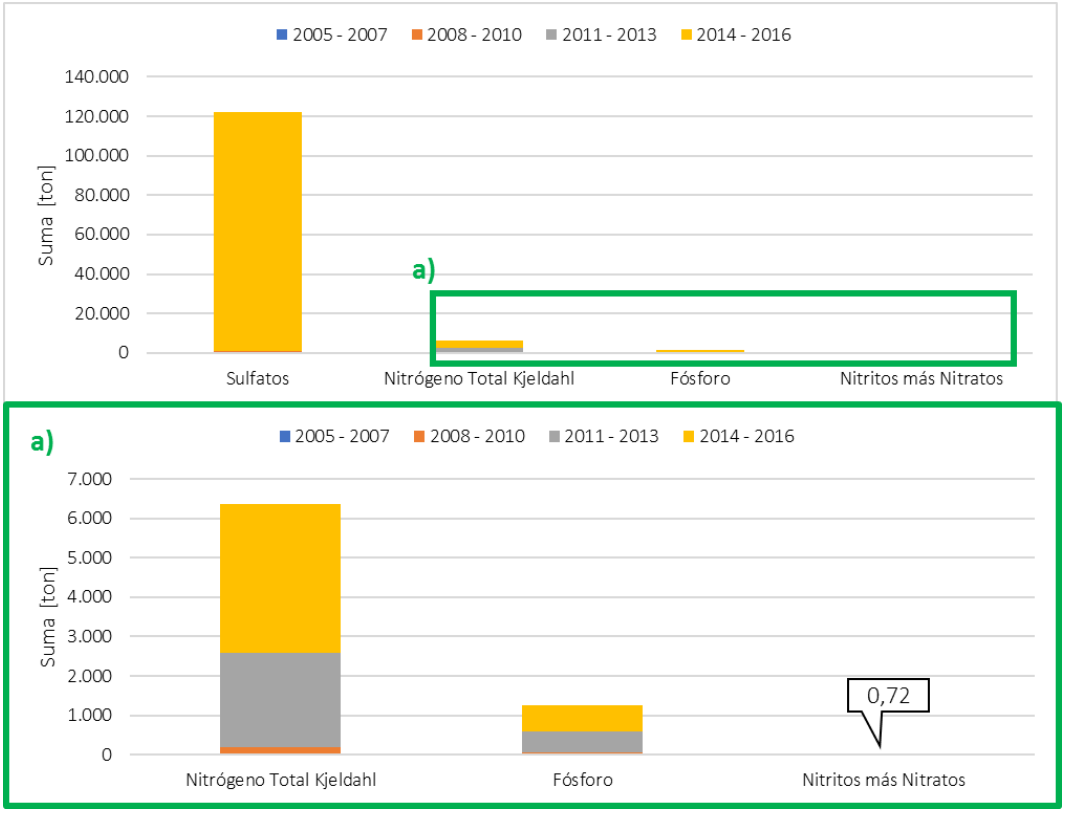


Figura 4.4-132 Masa de parámetros asociados a nutrientes y productividad, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

De los resultados anteriores se desprende que:

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

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

4.4.2.4.3 Parámetros Físicos

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

Tabla 4.4-36 Masa de parámetros físicos, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

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

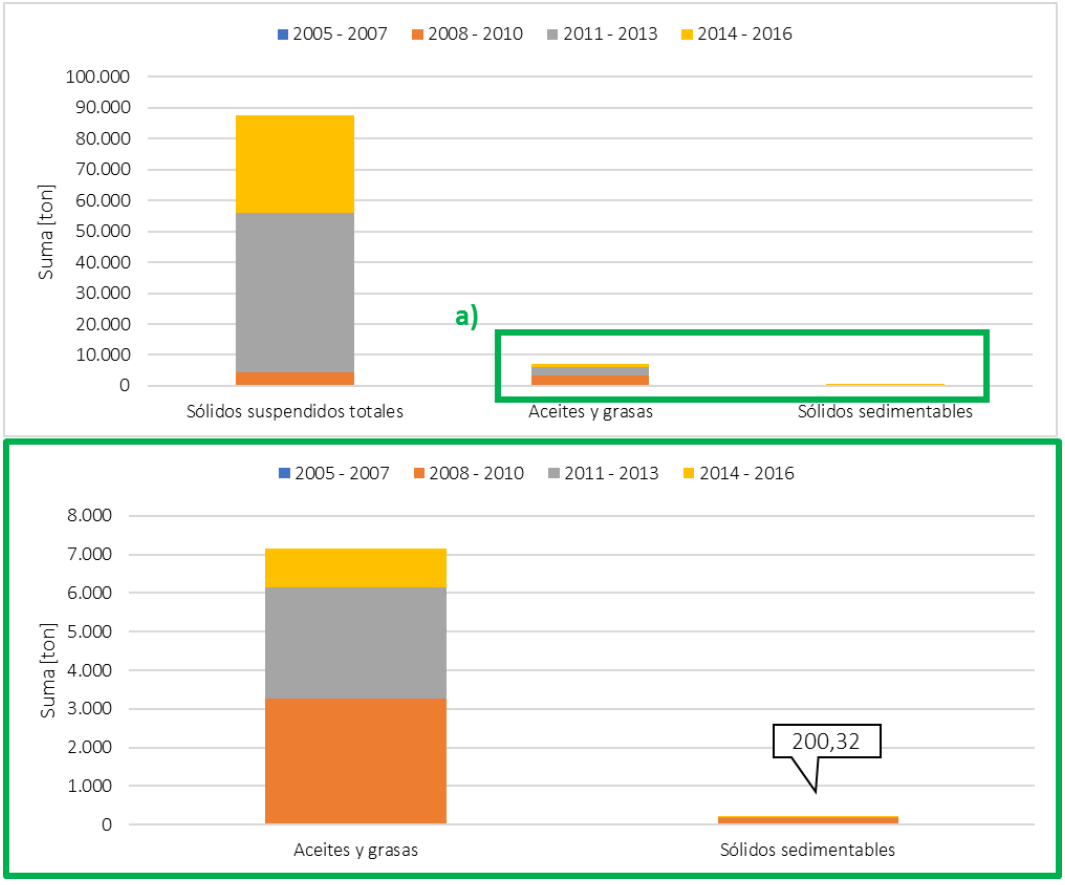


Figura 4.4-133 Masa de parámetros físicos, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

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

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

4.4.2.4.4 Otros parámetros de interés

Un total de 13 agentes categorizados como “otros parámetros de interés ambiental” han sido informados como emisiones al cuerpo receptor agua durante el 2005 al 2016. La Tabla 4.4-37 y Figura 4.4-134 dan cuenta de las cifras reportadas por las empresas a través del RETC.

Tabla 4.4-37 Masa de otros parámetros de interés ambiental, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

Parámetro	2005 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2013	2014 - 2016	Total
Cloruros (tons)	-	1.151,32	-	872.050,16	873.201,48
Hidrocarburos totales (tons)	-	3.228,22	12,94	940,13	4.181,29
Fluoruros (tons)	-	252,49	1.908,33	600,85	2.761,67
Indice de fenol (tons)	-	16,06	423,92	1,54	441,52
Hidrocarburos fijos (tons)	-	8,26	-	404,70	412,96
Hidrocarburos volátiles (tons)	-	321,03	1,71	28,77	351,51
Sulfuros (tons)	-	64,21	-	-	64,21
Sustancias Activas de Azul de Metileno (tons)	-	4,16	11,43	9,61	25,20
Cianuro (tons)	-	0,42	-	-	0,42
Tolueno - metil benceno - Toluol – Fenilmetano (tons)	-	0,17	-	-	0,17
Tetracloroeteno (tons)	-	0,01	-	-	0,01
Triclorometano (tons)	-	0,01	-	-	0,01
Pentaclorofenol – PCP (tons)	-	0,00	-	-	4,00E-03

Figura 4.4-134 Masa de otros parámetros de interés ambiental, descargados sobre el medio receptor agua por medio de fuentes puntuales, en la comuna de Tocopilla.

De los valores anteriores, se desprende lo siguiente:

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

4.4.2.5 Caracterización funcional del ecosistema

Para entender aspectos ecológicos de sistemas naturales, desde la perspectiva de los ecosistemas, se estudian frecuentemente procesos relacionados a flujos de materia, energía y materiales en función de componentes o entre componentes que constituyen un ecosistema determinado. Entre los flujos de ingreso se encuentran los nutrientes, la energía solar, materiales potencialmente tóxicos como los metales pesados o ciertos compuestos orgánicos.

Los flujos de energía de los ecosistemas litorales, provienen de la radiación solar que ingresa al ecosistema mediante el proceso de fotosíntesis que realizan las macro algas bentónicas y las micro algas que conforman el fitoplancton, para lo cual se requiere de nutrientes.

Los flujos de materiales, provienen de las relaciones del litoral con fuentes de materiales que ingresan a los ecosistemas marinos, desde el litoral y desde los sedimentos o desde masas de agua que ingresan a la Bahía Algodonales. Entre los materiales, los ingresos de materia orgánica a los ecosistemas marinos son importantes, porque aportan nutrientes y energía disponible para ciertos grupos de organismos.

El uso de esos materiales, generalmente descrito como degradación de materia orgánica, genera cambios en las propiedades físicas y químicas en los componentes de columna de agua y sedimentos de los ecosistemas marinos del litoral. Los ingresos de material que ingresan a Bahía Algodonales pueden cambiar la estructura y funcionamiento de su ecosistema, alterando parámetros importantes como el oxígeno generando condiciones desfavorables para los organismos.

En Bahía Algodonales, es conveniente considerar los procesos ecosistémicos que se conectan directamente a la existencia de flujos de materiales relacionados con la actividad productiva o económica. Dicha actividad, genera una nueva estructura de flujos de materiales y energía en los ecosistemas litorales. En el caso de los materiales, pueden ser tóxicos como metales pesados y compuestos orgánicos derivados de la actividad humana. Estas situaciones de toxicidad en los organismos se estudian en la aproximación clásica de Evaluación de Riesgo Ecológico. En esa aproximación es fundamental la relación entre posibles contaminantes, las fuentes emisoras, vías y los organismos que pueden ser afectados, los receptores. Esto es, un símil a la evaluación de riesgo en salud humana, donde se identifican las fuentes de esos contaminantes, las vías y los receptores de esos materiales que pueden tener efectos tóxicos, por exposiciones agudas o crónicas.

Se ha considerado describir flujos de materiales de estos ecosistemas en relación a dos ideas centrales:

i) materiales potencialmente tóxicos y que si se encuentran en concentraciones tóxicas pueden transformar el ecosistema existente en uno distinto;

ii) materiales que no siendo tóxicos *per se*, también pueden transformar un ecosistema. Transformación es usado en el sentido que se conforma en otro tipo de ecosistema.

4.4.2.5.1 Funcionamiento ecosistémico y materiales potencialmente tóxicos

Los materiales potencialmente tóxicos pueden ingresar a los ecosistemas marinos litorales, por perturbaciones naturales o de origen antrópico. Por otro lado, los procesos ecológicos son observados mediante parámetros acotados y muestreos a escalas temporales y espaciales muy pequeñas. Desde esta perspectiva, los metales pesados y los compuestos orgánicos que se han medido en distintos componentes corresponden a un instante de la dinámica del ecosistema. Los aspectos dinámicos que implican los flujos son altamente costosos de determinar y las evaluaciones se realizan en distintos instantes de tiempo, no obstante que los sistemas operan, en forma continua. Luego resulta importante considerar los límites metodológicos en el muestreo e interpretación de resultados, donde en el presente estudio corresponde a 4 instantes de tiempo asociado a 4 campañas de muestreo sobre el ecosistema y el análisis de la data histórica existente.

4.4.2.5.1.1 Metales

Estos flujos se han determinado mediante los análisis de emisiones de fuentes fijas, además de realizar mediciones en los componentes Columna de agua y Sedimentos en los ecosistemas litorales. Los resultados indican que los valores de los metales considerados, fueron bajos en la columna de agua y en consecuencia no se espera que generen efectos funcionales negativos a nivel ecosistémico sobre esta matriz. Esto no ocurre en la componente sedimentaria superficial, donde se detectaron niveles que pueden tener

afectación al ecosistema bentónico en metales como el arsénico, cobre, cromo, vanadio, hierro y zinc, principalmente en las zonas 3 y 4 de la bahía Algodonales, en donde los sedimentos son más finos y el sistema presenta menor energía y mayores tasas de residencias, por lo tanto estos elementos presentan las condiciones para depositarse y estar disponibles en el sistema dependiendo de las condiciones de oxido-reducción. Así los sedimentos de bahía Algodonales podrían actuar como posibles fuentes de contaminación, ya que los metales no se quedan permanentemente en los sedimentos y pueden ser liberados a la columna de agua por cambio en las condiciones de pH, potencial redox y oxígeno disuelto.

De la data histórica, se observa que las condiciones de pH en la columna de agua de bahía Algodonales han variado de neutro a moderadamente alcalino, los valores de potencial redox favorecen las reacciones de oxidación y por tanto no representan condiciones desfavorables para los cambios en la disponibilidad de los metales.

Para el oxígeno disuelto en el último periodo de evaluación se han registrados niveles buenos de oxigenación sobre los 2 mg/L que son niveles anóxicos y que generan cambios en los sistemas y efectos sobre la biota acuática.

4.4.2.5.1.2 Compuestos orgánicos

Estos flujos se refieren a la serie de productos definidos como tóxicos y que se pueden descargar en los RILES que ingresan al componente columna de agua de los ecosistemas litorales. La importancia de determinar la carga orgánica en los sistemas radica en que la degradación biodegradable de la materia consume oxígeno, el cual es una variable estado de los sistemas y niveles bajos de esta componente genera cambios en la oxido reducción de la matriz. En bahía Algodonales, no hay pesqueras que pudiesen aportar materia orgánica al sistema como riles propiamente tal, sin embargo, no se cuenta con mediciones de este elemento en la columna. Indirectamente y a partir de las concentraciones de DBO5 registradas en la bahía (ANEXOS_DIGITALES/OE-4/IntegracionInformacion/BD_FULL_Agua_v3) se infiere que los niveles de materia orgánica en la matriz han sido bajos, a excepción del año 2014, donde se registraron valores altos.

En la matriz de sedimentaria, en cambio, se tiene registro de la materia orgánica donde se ha detectado en ocasiones niveles sobre el 10% de materia orgánica en los registros del POAL (ANEXOS_DIGITALES/OE-4/IntegracionInformacion/BD-FULL-SED-v4), por lo tanto, resulta importante considerar la materia orgánica que se encuentra depositada en los sedimentos, ya que su degradación afecta los niveles de oxígeno disponible en la matriz.

4.4.2.5.2 Funcionamiento ecosistémico y materiales no tóxicos

En el ecosistema originario de la bahía Algodonales los flujos de materiales están determinados y caracterizados por la circulación. El ingreso de materiales se encuentra asociado a las corrientes, las actividades industriales, asentamientos urbanos y en muy poca

medida el ingreso por la erosión eólica. Es conveniente considerar para este estudio aspectos funcionales, como los procesos de producción y degradación de materia orgánica, que pueden ser seguidos a partir de parámetros que se registran en estudios ambientales.

Desde la perspectiva del desarrollo de la población local y de la actividad económica que se estructura, los flujos de materiales de origen orgánico en los ecosistemas marinos se han modificado, dado que se incorporan descargas de materiales, (RILES) o por fugas desde depósitos con diferentes mecanismos de transporte, pero que finalmente se entregan a la masa de agua de la bahía Algodonales. Así se pueden relacionar los valores de variables de estado como el pH, el estado de óxido-reducción o la concentración de oxígeno del medio, logrando describir el funcionamiento ecosistémico en base a la condición ambiental del sistema.

Los análisis de las fuentes de emisión muestran que existen materiales inorgánicos que pueden transformar el funcionamiento de los ecosistemas que existían en la bahía Algodonales. Estos materiales, pueden generar cambios hacia una mayor disponibilidad de nutrientes, metales y fuentes de carbono y energía para grupos importantes de organismos consumidores de fauna como microorganismos. Así, pueden promover cambios importantes en la composición de especies, como en el funcionamiento de los ecosistemas. Es conocido, que aportes importantes en materia orgánica, producen cambios en los nutrientes y en algunos parámetros fisicoquímicos de la columna de agua y los sedimentos.

Para comprender el funcionamiento ecosistémico y las relaciones entre los flujos de materiales y las actividades económicas que se desarrollan en la bahía Algodonales se han seleccionado dos procesos: i) producción de biomasa (de materia orgánica) y; ii) degradación o respiración (de la materia orgánica). Es conveniente destacar que estos procesos se asocian a parámetros de los cuales se dispone de mediciones en terreno.

4.4.2.5.2.1 Producción de biomasa

La zona fótica en el océano alcanza generalmente profundidades de hasta 100 metros. Bahía Algodonales alcanza profundidades de cerca de 20 a 100 metros, y en consecuencia ocurre producción primaria durante el día en forma regular y puede ocurrir en toda la columna de agua. La producción primaria podría ocurrir hasta el fondo de esta bahía relativamente somera.

En cuanto a la distribución vertical de Clorofila “a” en la columna de agua mostró niveles bajos en la mayoria de las campañas y puntos de muestreo (≈ 1 ug/l). La excepción se observó en el sector de Cenizales(zona 1, punto de muestreo TOC-1), que registró valores sobre los los 10 µg/L, inclusive, durante la campaña de verano del 2019, lo que implica una alta productividad primaria relativa en el ecosistema nerítico, hasta cerca de los 6 m de profundidad. Para el resto de las campañas y puntos de muestreo se infiere una baja producción primaria hasta los 15 metros aproximadamente (Figura 4.4-135). Esto podría señalar una reducción en la disponibilidad de los nutrientes en toda la columna de agua que podrían estar influyendo en la productividad primaria.

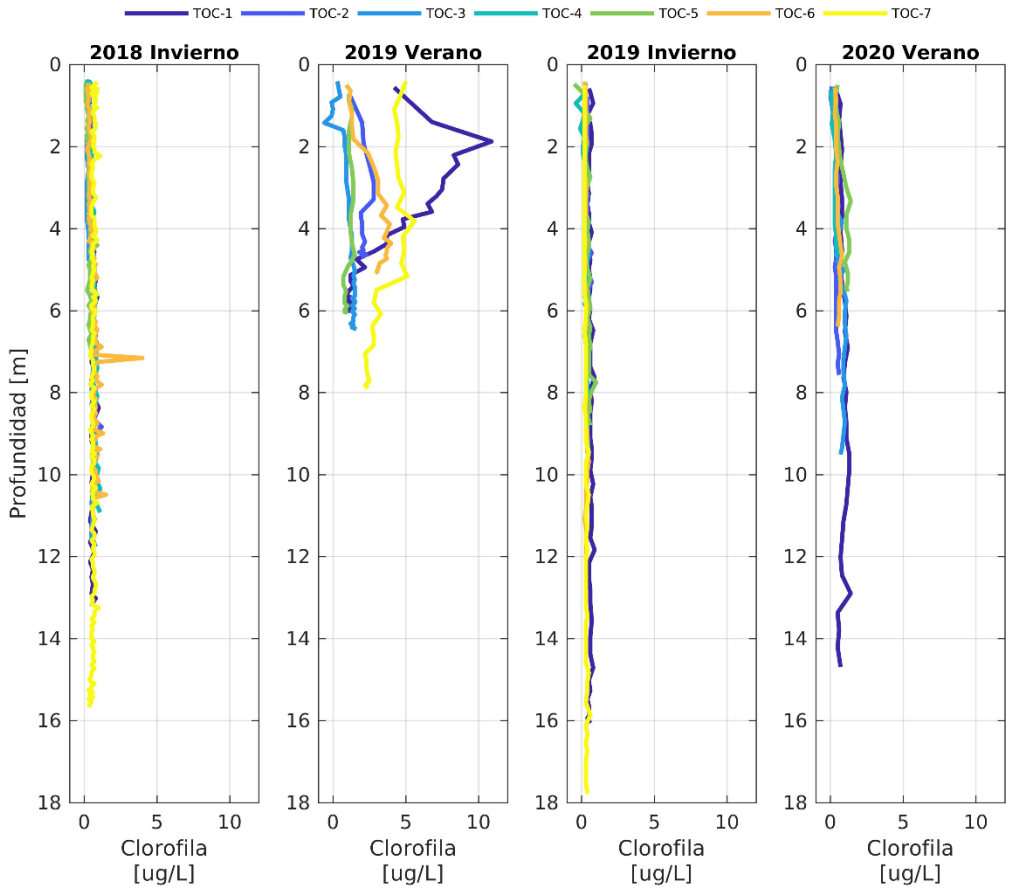


Figura 4.4-135 Clorofila en la columna de agua para los distintos puntos de monitoreo en la Bahía Algodonales. Datos obtenidos de la medición con CTD en todas las campañas de monitoreo realizadas.

4.4.2.5.2.2 Degradación de la materia orgánica

El enriquecimiento con materia orgánica de fondos suaves asociado a una baja en el potencial Redox e hipoxia favorece a especies oportunistas. Las condiciones en la superficie del sedimento, con bajos valores de potencial Redox significan un cambio en factores del hábitat. Desde hace bastante tiempo se conoce este efecto, y se ha sugerido que cuando la concentración de oxígeno cae de 2mL/L se podría iniciar la mortalidad de la infauna bentónica de los sedimentos (Diaz, *et.,al*, 1995). Se ha consensuado en definir hipoxia con una concentración de oxígeno disuelto < 2 mg/L o en partes por millón (ppm) (= 1.4 mL/L).

a) Columna de agua

También se ha propuesto recientemente que 3 mg/L (= 2.14 mL/L) define el punto de quiebre entre comunidades bentónicas normóxicas y comunidades hipóxicas. En el mar de

Marmara se encuentran sedimentos anóxicos entre -259 mV -21 mV., es decir, fuertemente anóxico (Cetecioglu, et.,al, 2009)

La Figura 4.4-61 muestra que en bahía Algodonales los niveles de oxigenación no indican eventos de hipoxia en la columna de agua para el estrato de fondo, considerando el periodo 2018 al 2020. Desde el punto de vista ecosistémico, los niveles de oxígeno no tendría implicancias directas en la biodiversidad del medio.

b) Sedimentos

De acuerdo con los antecedentes sobre bahía Algodonales, este tiene zonas con un fondo de sedimentos finos y gruesos, con contenido de materia orgánica bajo el 5 % en la mayoría de las zonas. No se tiene información del potencial RedOx y oxígeno disuelto en sedimentos, de forma tal de saber si la degradación de la materia orgánica se desarrolla en forma anóxica, sin embargo por las concentraciones de oxígeno disuelto en los niveles profundos de la columna de agua, y por las bajas cantidades de materia orgánica se puede inferir que la degradación se desarrolla en un ambiente que favorece las reacciones de oxidación y por tanto con menos implicaciones en la especiación de metales pesados.

4.4.2.5.3 Funcionamiento ecosistémico Oxígeno y Potencial Redox

El oxígeno es el aceptor terminal clave en el metabolismo aeróbico de todos los organismos vivientes. La concentración de oxígeno en la columna de agua y los sedimentos es así una variable central en el funcionamiento de los ecosistemas marinos. Los cambios espaciotemporales de esta variable se pueden considerar como un gradiente para los organismos a veces denominado *oxiclina*. Cuando las concentraciones de oxígeno disminuyen y afectan el metabolismo de los organismos o de un organismo en especial, se indica que el ambiente es hipóxico o que el organismo sufre de hipoxia en ese ambiente.

La hipoxia es un fenómeno que afecta de un modo general a muchos organismos y con ello el funcionamiento de los ecosistemas, y la biodiversidad. La hipoxia es un problema creciente afectando las aguas costeras, con severas consecuencias para la vida marina, incluyendo cambios catastróficos y muerte. Se predice que la hipoxia aumentará bajo los efectos combinados de una ampliación de la eutrofización y el calentamiento global. (Vaquer-Sanyer, *et al*.,2008).

En ambientes acuáticos, el término hipoxia es usado para describir concentraciones de oxígeno decrecientes a niveles que son dañinos y causan respuestas perjudiciales en los ecosistemas. La hipoxia es una de las consecuencias negativas de la eutrofización (Rabalais NN ,et al., 2010.y Sinkko 2013).

La hipoxia marina tiene efectos adversos en el crecimiento, sobrevivencia, reproducción, reclutamiento y conducta de los organismos. Incursiones de bajo oxígeno en áreas costeras pueden causar mortalidades en masa, cambios en la distribución, reducción de la

biodiversidad y pérdida de hábitat para importantes especies comerciales (Matabos M *et.al*.,2012).

Una de las dificultades es el uso de términos asociados a un gradiente como es la concentración de oxígeno. Para nuestro estudio hemos adoptado la clasificación de (Matabos M *et.al*.,2012).

Dada la importancia de la hipoxia y anoxia en ambientes marinos y especialmente en sedimentos, se han propuesto modelos generales de sucesiones comunitarias en función de rangos de concentración de oxígeno, para comprender el impacto que esto tiene en las comunidades bentónicas (Diaz, *et.al*., 1995).

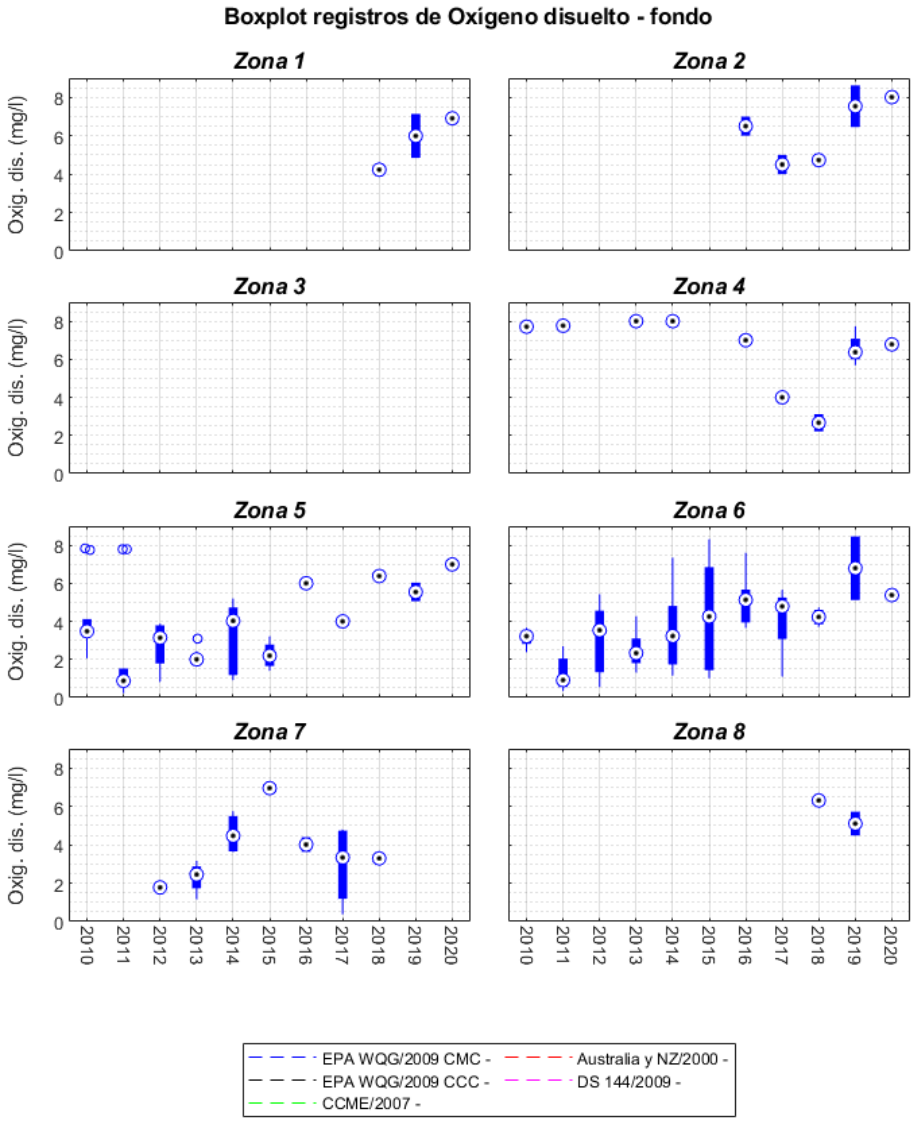


Figura 4.4-136: Gráfico de caja y bigote de los registros de oxígeno disuelto en el estrato de fondo en la matriz agua, para las distintas zonas de estudio en bahía Algodonales, Tocopilla.

Las observaciones en Bahía Algodonales muestran niveles de hipoxia en las zonas 5, 6 y 7 durante los años años 2011,2013 y 2015, sin embargo, en estos últimos años los valores de oxígeno disuelto son mayores y en consecuencia se reduce la condición de hipoxia observado en profundidad (Figura 4.4-136). Así, los resultados obtenidos indican que potencialmente muchos organismos metazoos, pueden ser afectados por los cambios de concentraciones en el oxígeno disuelto, dado los diferentes niveles de hipoxia distintos que existirían para los grupos animales, en la biodiversidad y el funcionamiento ecosistémico de Bahía Algodonales.

En el caso de los sedimentos se desconocen los niveles de oxígeno disuelto presentes en bahía Algodonales.

El oxígeno disuelto en las aguas costeras en muchas regiones, a nivel global, ha cambiado drásticamente en las décadas pasadas más que cualquier otra variable ecológicamente importante, muestran que la hipoxia es de amplia ocurrencia.

Esto determina procesos anaeróbicos para la degradación de la materia orgánica que se encuentra en los sedimentos, y la generación de condiciones fuera de la capacidad fisiológica de la mayoría de los metazoos, quedando casi exclusivamente microorganismos anaeróbicos, en esas condiciones anóxicas.

También muestra el dinamismo de las propiedades ecosistémicas, donde el muestreo realizado es indicativo de la complejidad del funcionamiento, pero también muestra la coherencia de los resultados en el contexto ecosistémico. Por otra parte, se debe recordar que las observaciones realizadas corresponden a la parte día del ciclo diurno nocturno que presentan estas variables ecosistémicas.

El oxígeno es una variable central, que refleja complejas interacciones en los ecosistemas de ambientes marinos. Los resultados observados permiten concluir que existen ingresos de materiales orgánicos a los ecosistemas marinos, que direccionan a los ecosistemas a presentar bajas concentraciones de oxígeno, y llevan a funcionar a los ecosistemas en la columna de agua en su parte inferior.

En el sedimento del fondo de los ecosistemas acuáticos encontramos una zona superior oxidada y a medida que se agota el suministro de oxígeno en profundidad aparece una zona reducida. El potencial es positivo en la zona oxidada y negativo en la zona reducida o del sulfuro.

En la zona reducida la actividad microbiana recupera hacia arriba los nutrientes en forma de gases. La mayor parte de los animales del bentos están en la zona oxigenada como son los poliquetos, lamelibranquios, copépodos, platelmintos, ciliados y nematodos.

La zona oxidada puede ser delgada y si el agua por encima del fondo se vacía de oxígeno la zona reducida se va extendiendo hacia arriba como ocurre en el mar Negro.

En la zona de transición existen bacterias quimiointéticas y fotosintéticas en el caso de que haya luz.

En la zona reducida sólo las bacterias anaerobias como las reductoras del sulfato y las del metano, protozoos anaerobios que se nutren de bacterias y algunos nematodos.

La condición redox de un sistema, se entiende como el estado de oxigenación de la zona de contacto entre la columna de agua y el sedimento, es la forma más práctica de caracterizar químicamente un ambiente de depositación marino (Valdez, 2000). Normalmente el agua superficial se encuentra saturada de oxígeno, y a medida que aumenta la profundidad su concentración va cambiando debido a los procesos de remineralización de la materia orgánica y a las características propias de las diferentes masas de agua que allí se pueden encontrar (Libes 1992 en Valdez, 2000). En el caso del sedimento, el oxígeno es suministrado sólo desde el agua inmediatamente en contacto con el fondo, y va disminuyendo con la profundidad debido a la descomposición bacteriana y a una limitada difusión (Brown et al. 1994 en Valdez, 2000).

El rápido decaimiento de la concentración de oxígeno disuelto ejerce un fuerte control sobre la cantidad y calidad de la materia orgánica preservada en los sedimentos. Por otra parte, esta pobreza extrema de oxígeno inhibe el desarrollo de fauna bentónica, permitiendo una buena preservación de la estructura primaria de la columna de sedimento (Valdez, 2000).

Prácticamente todos los metales son encontrados en el océano, en forma disuelta o particulada, siendo introducidos por ríos, fuentes hidrotermales, difusión desde los sedimentos, vientos, y actividad antrópica. Muchos de estos metales reaccionan a la condición de oxigenación de su entorno, por lo que son llamados redox-sensitivos (Valdez, 2004) los cuales aporta importante información respecto del estado de oxigenación imperante en el ambiente depositacional cuando dicho sedimento fue depositado.

Los elementos traza que responden a variaciones de la condición de oxigenación del ambiente de depositación marino generalmente se pueden agrupar en dos categorías. La primera corresponde a aquellos elementos cuya valencia varía en función del potencial redox. En esta categoría están el manganeso (Mn), el cual forma un óxido insoluble en un ambiente oxigenado, y el molibdeno (Mo) y el vanadio (V), los cuales forman especies aniónicas altamente solubles en ambientes oxigenados, pero que son reducidos a especies reactivas insolubles de menor valencia bajo condiciones anóxicas. La segunda categoría agrupa a aquellos elementos cuya valencia no cambia, pero que bajo condiciones anóxicas forman sulfuros insolubles. Entre estos están el cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni) y zinc (Zn), los cuales usualmente son removidos de la solución en presencia de H2S (Valdez, 2004).

4.4.3 Diagnóstico de la condición ambiental de la bahía

4.4.3.1 Modelo DPSIR Eco-Salud

En el modelo general DPSIR Eco-Salud de bahía Algodonales las fuerzas motrices más importantes son las actividades industriales que generan descargas difusas y puntuales en la bahía, las cuales corresponden al sector que suministra alimentos y materias primas. Las presiones más importantes corresponden a la descargas puntuales y difusas de elementos potencialmente contaminantes como resultado de la operación de industrias, operación portuaria y descarga de aguas residuales. También se destaca la presencia de pasivos ambientales en una zona con vulnerabilidad aluvional.

4.4.3.1.1 Metodología

Los problemas ambientales (como contaminación, extensión urbana, equidad ambiental) son complejos y a menudo trascienden las escalas espaciales y temporales. La investigación científica y las decisiones son frecuentemente limitadas por un entorno económico particular, nivel de la autoridad o campo científico y por lo tanto, dirigidos a un único aspecto de un problema con insuficiente comprensión o consideración de las consecuencias de corto y largo plazo, para el sistema mayor. Adicionalmente los actores y los tomadores de decisiones, con frecuencia, implementan múltiples acciones de manejo no-coordinadas. Mientras cada una de esas acciones de manejo, puede ser implementada exitosamente para un propósito particular, los efectos combinados pueden no llevar a una mejora de las condiciones ambientales.

El sistema conceptual o de pensamiento es una aproximación a la resolución de problemas, que está basada en la idea que las partes componentes de un sistema, son mejor comprendidas en el contexto de sus relaciones e interacciones unos con otros, y con otros sistemas. Los modelos conceptuales, los que consisten en diagramas y narrativas que los acompañan, pueden ser desarrollados para caracterizar, visualizar y organizar conexiones entre factores claves en un sistema complejo y puede ser usado para evaluar consecuencias de decisiones alternativas sobre la provisión de servicios ecosistémicos uniendo estresores ambientales y antropogénicos a las condiciones de los ecosistemas (Bradley & Yee, 2015).

Una base de trabajo, basada en una aproximación sistémica es el de Fuerzas Motrices – Presiones – Estado – Impacto – Respuestas (DPSIR), aproximación que ha sido una valiosa herramienta para la organización y comunicación de los hechos ambientales complejos. DPSIR fue desarrollado por la Agencia Ambiental Europea, ha sido usado por las Naciones Unidas y ha sido adoptada por la Agencia de Protección Ambiental de US (Bradley & Yee, 2015).

La base de trabajo DPSIR es un sistema de pensamiento que supone relaciones causa-efecto entre componentes interactuantes de sistemas ambientales, económicos y sociales. La base de trabajo DPSIR ha sido usada para muchas aplicaciones de recursos ambientales, incluyendo el manejo de sistemas agrícolas, recursos de agua, recursos de suelo y la tierra, biodiversidad y recursos marinos. DPSIR también ha sido usada para integrar aspectos

económicos, culturales, sociales de la salud humana y del medio ambiente en una única base de trabajo. DPSIR ha sido usada más comúnmente en el contexto del manejo medio ambiental, para unirlo a los factores económicos y ecológicos. Para muchos tipos de toma de decisiones medio ambientales, esta versión básica fue suficiente. La EPA ha denominado a esta aproximación como Eco DPSIR.

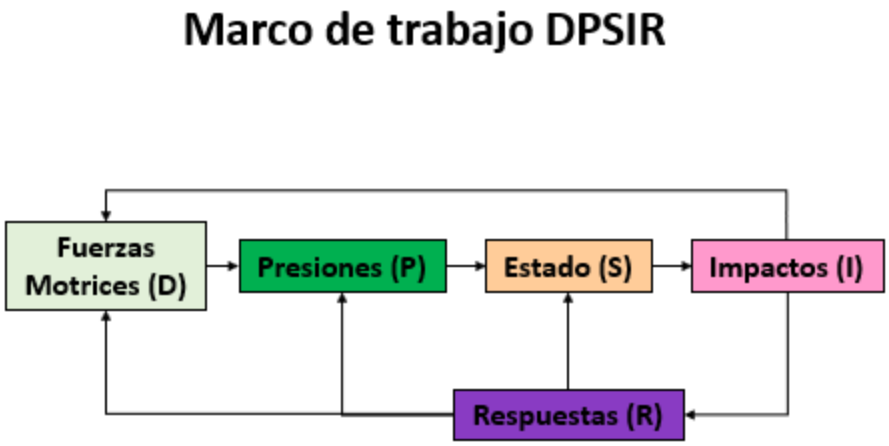


Figura 4.4-137 Base de trabajo de la ECO DPSIR y las relaciones conceptuales entre las categorías DPSIR

La base de trabajo DPSIR define cinco categorías fundamentales que interactúan, como se muestra en la **Figura 4.4-137**. Esta base puede ser considerada como un paradigma que se aleja de las investigaciones que se focalizan en aspectos singulares de hechos complejos. En ese marco, se definen las siguientes categorías: **i) Fuerzas motrices**, que son factores que motivan las actividades humanas y satisfacen la necesidades humanas, las que se han sido identificadas consistentemente como condiciones necesarias y materiales para una buena vida, buena salud, buenas relaciones sociales, seguridad y libertad; **ii) Presiones**, que son definidas como actividades humanas, que inducen cambios en el medio ambiente, o conductas humanas que pueden incluir la salud humana; **iii) Estados**, que se refiere a estado del ambiente natural y construido (calidad y cantidad de los componentes, químicos, físicos y biológicos o componentes de los ecosistemas) y del sistema humano; **iv) Impactos**, que son cambios en la calidad y funcionamiento de los ecosistemas y tienen un impacto sobre el bienestar de los humanos, incluyendo la producción de bienes de los ecosistemas y finalmente el bienestar humano; y **v) Respuestas**, este componente puede tener lugar en cualquier nivel de la red causal. Las respuestas son acciones tomadas por individuos o grupos en la sociedad o gobierno, para prevenir, compensar, mejorar o adaptarse a los cambios en el estado del medio ambiente, y para modificar las conductas humanas que contribuyen a los riesgos de salud, para modificar directamente la salud a través de tratamientos médicos o para compensar los impactos económicos y sociales de las condiciones humanas sobre el bienestar de la población (Bradley & Yee, 2015).

Este marco de trabajo puede ser articulado fácilmente con las descripciones ecológicas basadas en los niveles de organización ecológica (individuo, población, comunidad,

ecosistema, paisaje, bioma, biosfera) o bien con la aproximación de la biodiversidad, que integra esos niveles de distintas maneras, como las propuestas por Noss (1990) para ambientes terrestres y Zacharias et al (2000) para los ambientes marinos. También puede ser adecuadamente integrado con la idea de servicios ecosistémicos desarrollada desde una perspectiva más ecológica de las necesidades humanas y su bienestar (MEA, 2005). Así, DPSIR es una base, a nuestro juicio flexible, y que facilita el trabajo para la resolución de problemas ambientales complejos. Por otra parte, ésta permite operacionalizar la idea de "sistema ambiental" desarrollada anteriormente, que también es una aproximación conceptual sistémica. DPSIR presenta la ventaja que incorpora las acciones de una forma más explícita en cualquier nivel de la red de interacciones, bajo la idea de respuestas. De este modo se ha adoptado DPSIR para desarrollar el presente estudio.

4.4.3.1.2 Desarrollo

Con respecto a la realización de un modelo conceptual para la comprensión del estado y las presiones ambientales en bahía Algodonales, se utilizó un marco de trabajo de aproximación sistémica en función de las directrices recomendadas por Bradley & Yee (2015). Este marco de trabajo corresponde al DPSIR (Fuerzas Motrices – Presiones – Estado – Impacto – Respuestas), el que integra aspectos económicos, culturales, sociales de la salud humana y del medio ambiente en una única base de trabajo. El modelo conceptual elaborado en el marco de la fuerzas motrices-presiones-estado, impactos-respuestas de bahía Algodonales se puede observar en la Figura 4.4-138, además de una versión simplificada para facilitar la lectura en la Figura 4.4-139.

En la Tabla 4.4-38 se presenta un resumen de marco conceptual de acuerdo a la metodología "Presión-Estado -Respuesta/Efectos". EPA, 1995.

La Figura 4.4-138 se puede encontrar en alta resolución en los anexos digitales:

- "GOA004_DPSIR_Eco-Salud_Algodonales_V1.cmap", el cual puede ser visualizado con el software libre Cmaps Tools (https://cmap.ihmc.us/)
- "GOA004_DPSIR_Eco-Salud_Algodonales_V1.jpg"

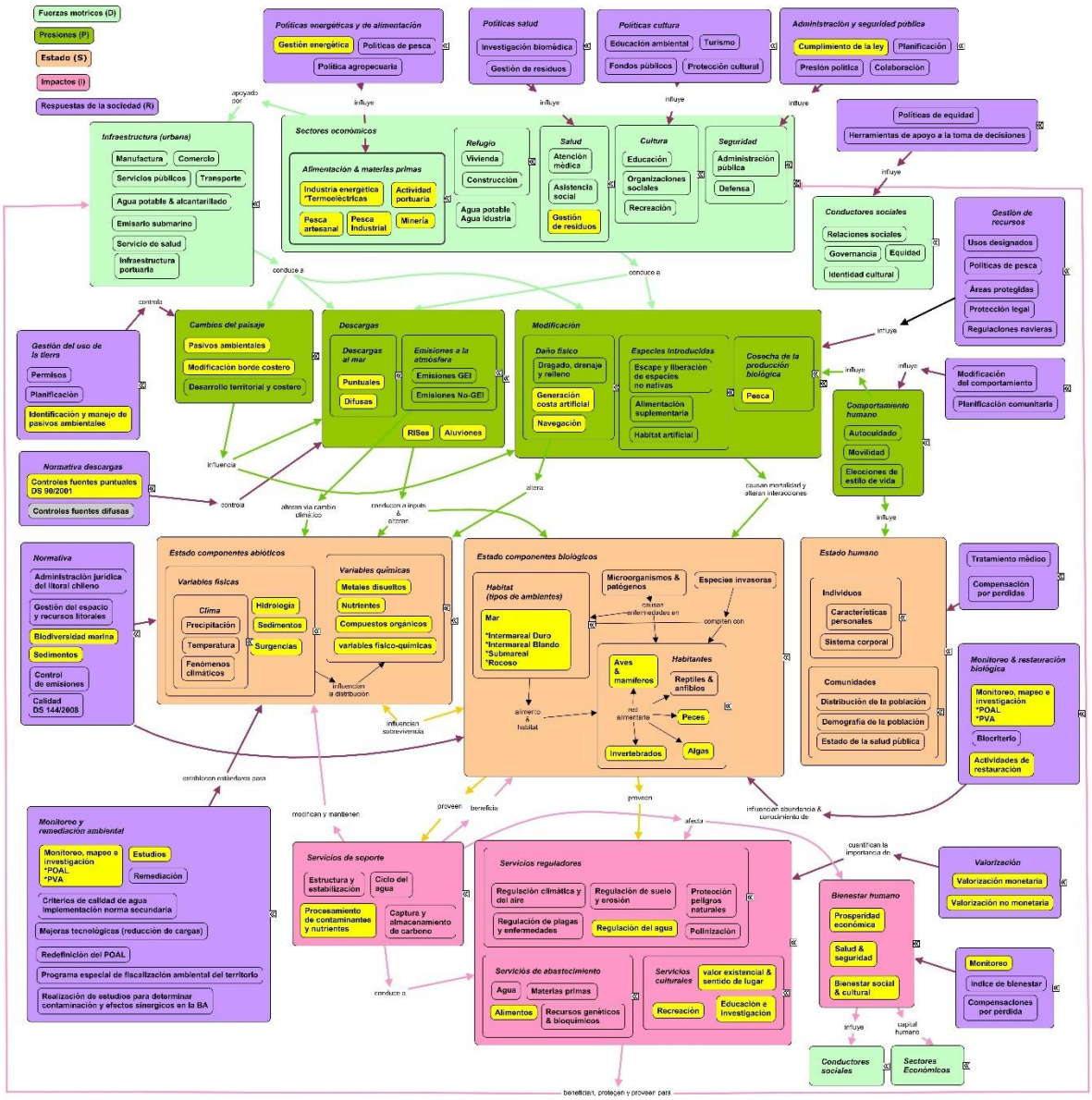


Figura 4.4-138 Modelo DPSIR bahía Algodonales de acuerdo a metodología EPA 2015.

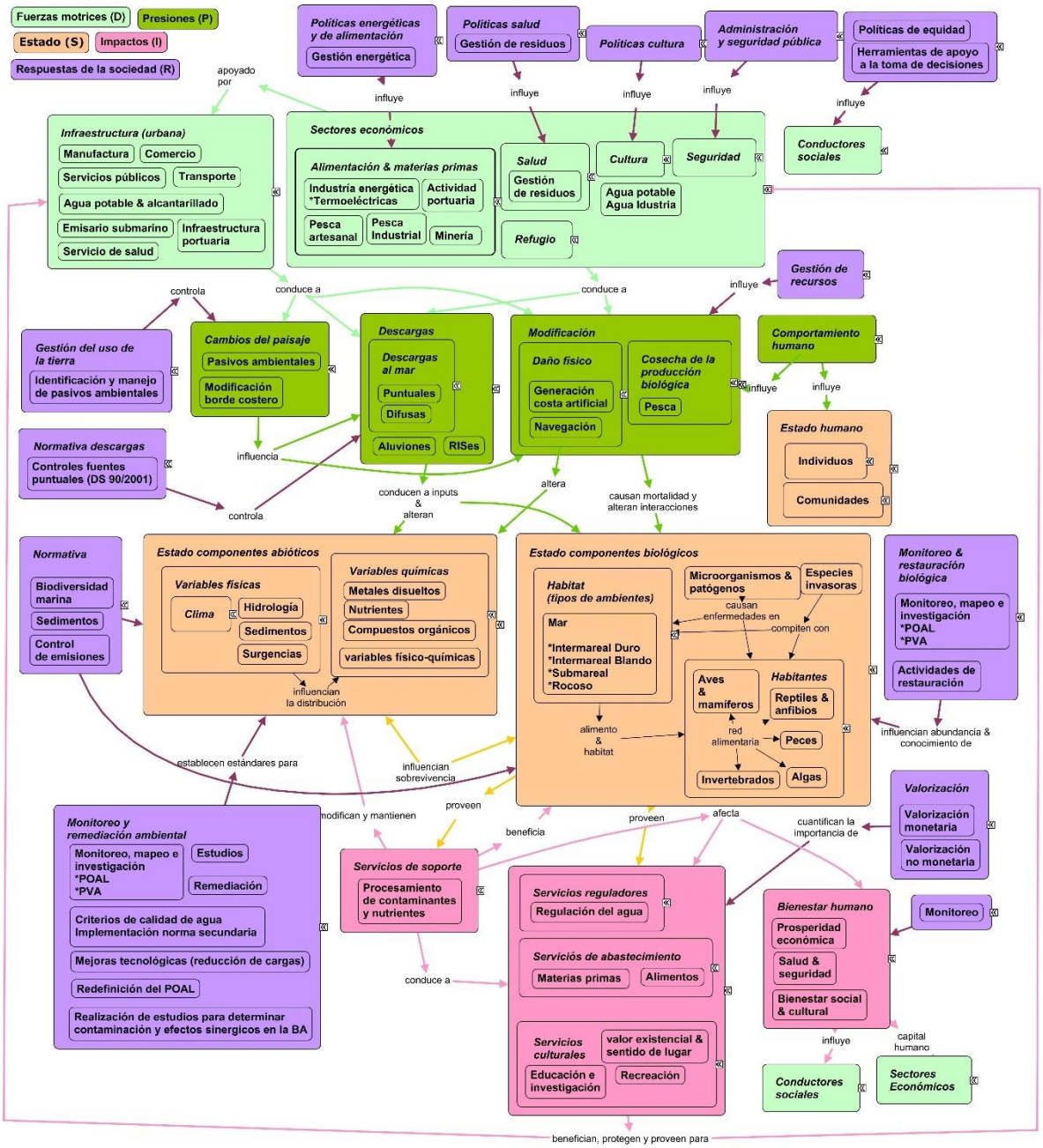


Figura 4.4-139 Modelo DPSIR simplificado bahía Algodonales de acuerdo con metodología EPA 2015.

Tabla 4.4-38 Resumen de acuerdo a marco conceptual "Presión-Estado -Respuesta/Efectos". EPA, 1995

PRESIÓN (P)	**ESTADO DEL MEDIO AMBIENTE** (E)	**RESPUESTA DE LA SOCIEDAD** (R)	**EFECTOS** (E) (relaciones entre P,E y/o R)
PRESIONES SUBYACENTES Alimentación y materias primas Infraestructura Salud	**ESTADO COMPONENTES ABIÓTICOS** Variables físicas: Hidrología, Sedimentos, Surgencias Variables químicas: metales, nutrientes, compuestos orgánicos, variables fisicoquímicas	**ACCIONES DE GOBIERNO** Programa energía zero carbón-Ministerio de Energía Revisión DS 90/2000 Evaluación de variables medidas en programas de seguimiento ambiental Evaluación implementación de mejoras en el POAL	**EFECTOS ECOLÓGICOS** Procesamiento de contaminantes Regulación de los flujos de agua Abastecimiento
PRESIONES INDIRECTAS Industría energética Actividad portuaria Minería Pesca industrial & artesanal Gestión de residuos Potencial aluvional	**ESTADO COMPONENTES BIÓTICOS** Hábitat marino: intermareal duro y blando, submareal duro y blando Habitantes: peces, algas, invertebrados, aves y mamiferos	**ACTIVIDADES SECTOR PRIVADO** Reducción de carga de contaminantes Reducción impacto centrales termoeléctricas Implementación de buenas prácticas en operaciones portuarias	**EFECTOS EN LA SALUD HUMANA** Disminución de la exposición a contaminantes Longevidad
PRESIONES DIRECTAS Descargas al mar Pasivos ambientales Navegación Modificación del borde costero Generación de costa artificial	**SERVICIOS ECOSISTÉMICOS** Servicios de soporte: procesamiento de contaminantes y nutrientes, ciclo del agua Servicios reguladores: regulación del agua Servicios culturales: valor existencial y sentido de lugar, educación e investigación, recreación Servicios de abastecimiento: alimentos	**ESFUERZO COOPERATIVO** Diagnostico y manejo de pasivos ambientales Estudios de la biodiversidad de la bahía Estudios técnicos para profundizar conocimiento de la bahía Estudio de factibilidad para la remediación de sedimentos Valorización de los servicios ecosistémicos	**EFECTOS EN BIENESTAR HUMANO** Prosperidad económica Bienestar social Equidad

4.4.3.1.2.1 Fuerzas Motrices

En el modelo general DPSIR Eco-Salud de bahía Algodonales las fuerzas motrices más importantes son las actividades industriales que generan descargas difusas y puntuales en la bahía, las cuales corresponden al sector que suministra alimentos y materias primas. Entre las que destacan: el sector energético con la presencia de termoeléctricas (ENGIE, AES Gener), el sector minero (Lipesed), el sector portuario (SQM); y la gestión de residuos la que se ve representada principalmente por la planta de tratamiento de aguas servidas y emisario submarino de Aguas de Antofagasta S.A.

Otras fuerzas motrices económicas que se identifican para bahía Algodonales corresponden las que satisfacen las necesidades de: i) agua; riego y agua de consumo industrial); ii) vivienda (construcción, bienes raíces, viviendas unifamiliares y de unidades múltiples); iii) salud (atención médica, hospitales, consultorios, asistencia social, centros de cuidado infantil); iv) cultura, educación (primaria y secundaria), información (telecomunicaciones, investigación y desarrollo científico) y organizaciones sociales (sindicatos pesqueros, agrupaciones sociales y culturales, grupos estudiantiles, juntas de vecinos); v) seguridad (administración pública y defensa); y vi) la infraestructura que proporcionan el apoyo físico, organizativo y técnico para que la economía funcione.

En cuanto a las fuerzas motrices sociales. Para bahía Algodonales se identifican a los siguientes conductores sociales: i) las relaciones sociales, que son las interacciones y conexiones diarias dentro de una comunidad, incluyendo: grupos sociales, estado civil, dinámicas familiares, afiliaciones religiosas; ii) la equidad, que describe la justicia de las oportunidades en una comunidad, incluyendo el acceso a la educación, la atención de la salud, y a los puestos de trabajo; iii) la gobernabilidad, que es la disposición política y las características de una comunidad, incluyendo: patrones de votación, las funciones de los responsables de la toma de decisiones, y el tipo de gobierno; iv) y la identidad cultural, que son las actitudes históricas, sociales y culturales que definen a una comunidad, incluyendo a las comunidades urbanas, rurales, tribales o costeras; como también a identidad étnica o religiosa

4.4.3.1.2.2 Presiones

En el modelo general DPSIR Eco-Salud de bahía Algodonales se identificaron las presiones correspondientes a descargas puntuales y difusas de elementos potencialmente contaminantes como resultado de la operación de industrias, operación portuaria y descarga de aguas residuales. Donde en lo que respecta a metales y metaloides, los mayores ingresos corresponden a aluminio y hierro/hierro disuelto para el periodo 2011-2016, cargas másicas que corresponden a la Central Térmica Tocopilla. Además de presentarse en menor proporción descargas de boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente en la columna de agua.

También se debe poner especial atención al nitrógeno total Kjeldahl y al fósforo total, lo que da cuenta de un ingreso no menor de nutrientes al sistema. Se observa en el desarrollo llevado a cabo en el acápite 4.4.2.4 que gran parte de este flujo másico proviene de las centrales termoeléctricas (Central térmica Tocopilla y Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla).

Dentro de las presiones ambientales identificadas en bahía Algodonales, también se identifica de presiones relacionadas a cambios del paisaje, siendo la más importante la presencia de pasivos ambientales, los que corresponden a cenizales provenientes de la combustión de carbón de la industria termoeléctrica de Tocopilla. Aquellos depósitos son una fuente constante de contaminación por el alto nivel de material particulado que se diseminan por el aire y por el mar por efecto de los constantes vientos marinos (Galaz-Mandakovic, 2013). Como también la presencia pasivos ambientales mineros en el área urbana de la comuna de Tocopilla, los que corresponden a depósitos, piques y un tranque de relaves (BCN, 2012)

También se puede mencionar el vertedero en proceso de cierre: consiste en la regularización del vertedero tocopillano, el que desde el año 1955 fue utilizado como sitio para el depósito de residuos sólidos domiciliarios, sitio que no contaba con medidas preventivas para evitar riegos hacia el medio ambiente y la población (Galaz-Mandakovic, 2013).

Las presiones relacionadas a pasivos ambientales tienen un potencial impacto en la bahía debido a la vulnerabilidad aluvional de la zona. Donde se han registrado aluviones el 25 de agosto del año 2013 y el 9 de agosto del año 2015, los que significaron el desplazamiento de toneladas de cenizas residuales hacia el mar (Galaz-Mandakovic, 2013, 2017)

Otras presiones ambientales identificadas en bahía Algodonales incluyen: i) los cambios en el uso de la tierra como resultado de alteraciones del paisaje natural, típicamente asociadas con el crecimiento de la población, en las que se incluyen el desarrollo territorial y costero, la alteración del litoral y las modificaciones hidrológicas; ii) los usos de contacto, que son actividades humanas que conducen a una alteración o manipulación directa del medio ambiente, las que incluyen las modificaciones físicas (dragado, relleno, daños producto de los equipos y anclajes de embarcaciones, encallamientos de embarcaciones, alteraciones, movimiento de embarcaciones); y iii) la adición biológica) descarga de lastre, liberación de especies no nativas, alimentación, creación de hábitat artificial).

4.4.3.1.2.3 Estado

El Estado se refiere al estado del medio ambiente natural y construido, donde se destaca el efecto en el agua derivado de los flujos antrópicos de materiales y organismos. Esta información se detalla en el capítulo 4.4.2.4, donde se presentan las emisiones de las variables de importancia en el cuerpo receptor, modificando el estado de los componentes abióticos de la bahía, las que fueron clasificadas en fuentes puntuales y transferencias. Por otro lado, al hacer la integración de la información histórica recopilada y la levantada mediante el monitoreo estacional (capítulo 4.4.2.2), se encontraron concentraciones de arsénico, cobre, hierro y zinc en los sedimentos que han superado los límites establecidos en las referencias normativas internacionales consideradas en este estudio (capítulo 4.4.2.2.2) lo que modifica el estado de los componentes biológicos de la bahía.

Con respecto al estado humano, la bahía de Tocopilla tiene una población que ha ido incrementando paulatinamente su magnitud, con un aumento mayor al 5% de su población del año 2002 al año 2017. Este incremento poblacional, en paralelo al auge industrial de la zona, ha provocado un aumento de la presión sobre los recursos naturales, particularmente los de la bahía de Tocopilla del Sur[9].

La situación de salud de la población de Tocopilla se caracteriza por presentar tasas elevadas, en comparación al resto del país y la región de Antofagasta, de Años de Vida Potenciales Perdidos, con problemas respiratorios y digestivos entre las principales causas de hospitalización[10].

Dentro del marco de este estudio, 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 estimó el

[9]Instituto Nacional de Estadística Censo de Población y Vivienda 2002 y 2017

[10] CIAMA Ltda, a partir de estadísticas de egresos hospitalarios del DEIS (Objetivo Específico 3 del presente estudio).

riesgo proveniente de la presencia de metales en la columna de agua de mar y en algunos alimentos hidrobiológicos extraídos en la bahía, donde se obtuvo como resultado que los habitantes de la comuna no presentan riesgo de tener efectos crónicos debido a la ingesta de alimentos. Sin embargo, el consumo de arsénico presente en las especies marinas induce una probabilidad de cáncer por arsénico (cáncer en la piel) de aproximadamente 1 persona por cada 100.000 expuestos a 6 personas por cada 100.000 expuestos, según el escenario de exposición mediante la alimentación. Así, los resultados de este estudio permiten plantear que la salud ambiental de la población que habita en la comuna de Tocopilla se encuentra impactada por el entorno ambiental, y en particular por la bahía.

4.4.3.1.2.4 Impactos

Los cambios en la calidad y el funcionamiento del ecosistema tienen un impacto en el bienestar de los seres humanos, incluyendo la producción de bienes y servicios del ecosistema y, en última instancia, el bienestar humano. En el caso de bahía Algodonales, se identifican impactos en los servicios de soporte del ecosistema, específicamente en los servicios de procesamiento de contaminantes y nutrientes, al aumentarse la carga de diversas variables en los sedimentos marinos, donde se detectaron niveles que pueden tener afectación al ecosistema bentónico en metales como el arsénico, cobre, cromo, vanadio, hierro y zinc, principalmente en las zonas 3 y 4 de la bahía Algodonales. Esto conduce a una afectación de los servicios de abastecimiento de alimentos; de los servicios culturales del ecosistema, ya que las comunidades ven perturbado el valor existencial y el sentido de lugar, y las actividades recreativas. Lo que a su vez afecta el bienestar humano, en particular la salud y seguridad de los individuos.

4.4.3.1.2.5 Respuestas

A continuación, se presentan propuestas de respuestas de acuerdo al marco conceptual DPSIR, estás se ordenaron de acuerdo al nivel en el que estas actúan en la red causal (Fuerzas motrices, presiones, estado, impactos).

xi. Respuestas al Nivel de Fuerzas Motrices

Dentro de las respuestas identificadas para tomar acción al nivel de las fuerzas motrices en la red causal, se encuentra la implementación de mejoras en la gestión energética. Donde el Presidente de Chile Sebastián Piñera presentó el 4 de junio del año 2019 el plan de cierre y reconversión de las centrales a carbón, enmarcado en la Ruta Energética 2018-2022. Este programa considera el cierre de ocho termoeléctricas, que representan un 19% de la capacidad instalada de centrales a carbón, en un plazo de cinco años (24 horas, 2019).

El retiro de las operaciones de las unidades se realizará través de un cronograma que establece el cese de los primeros 1.047 MW de las ocho centrales más antiguas a 2024 (Figura 4.4-140). Dichas unidades están en las comunas de Iquique (1), Tocopilla (4), Puchuncaví (2) y Coronel (1), y representan en su conjunto un 19% del total de la capacidad instalada de centrales a carbón (24 Horas, 2019).

En junio de 2019 ENGIE cerró dos unidades de carbón ubicadas en Tocopilla (170 MW), en el marco de un acuerdo voluntario firmado con el gobierno (Engie, 2019). En el mismo contexto, la compañía también comprometió el cierre de otras dos unidades en la misma comuna (270 MW) lo que ya fue visado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y que se ejecutaría a fines de 2021.

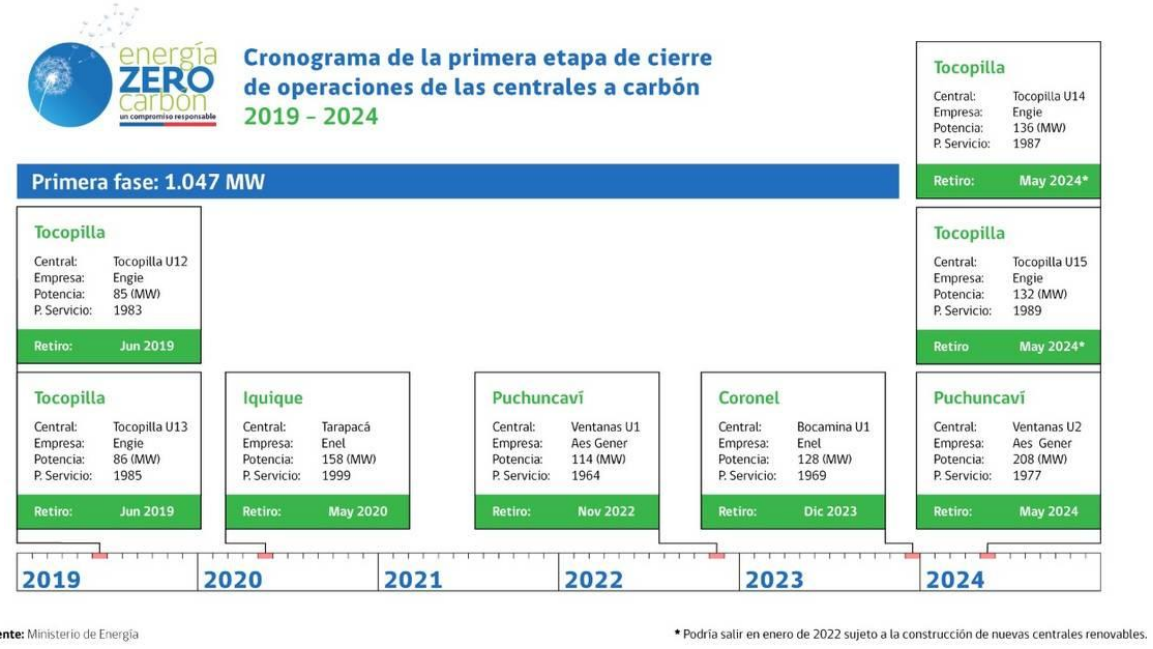


Figura 4.4-140 Cronograma de la primera etapa de cierre de operaciones de las centrales a carbón 2019-2024 (Ministerio de Energía, 2019)

xii. Respuestas al Nivel de Presiones

Dentro de las respuestas identificadas para tomar acción al nivel de las presiones en la red causal, se proponen las siguientes:

- Reducción de la carga de contaminantes que recibe la bahía de Algodonales, a través de la implementación de nuevas o mejores tecnologías que permitan disminuir el caudal y mejorar la calidad de los residuos líquidos que provocan las distintas actividades que se realizan en la bahía. Estas pueden considerar por ejemplo la reutilización de las aguas de los procesos para disminuir la descarga al mar o la implementación de plantas de tratamiento para obtener un RIL inocuo para el medio ambiente y que además cumpla con la normativa vigente y su disposición adecuada para minimizar la carga sobre la bahía. Esta respuesta debería evaluarse en conjunto entre gobierno y privados.

- Evaluar e implementar medidas tendientes a reducir el impacto de las centrales termoeléctricas asociado a la succión de agua y descarga de residuos líquidos Esta respuesta debería evaluarse en conjunto entre gobierno y privados.

- Realizar un diagnóstico comunal de los pasivos ambientales, de manera de identificar, evaluar y proponer medidas de gestión para los sitios con presencia de pasivos ambientales. E incorporar los pasivos ambientales como zonas de usos restringidos en los instrumentos de planificación territorial. Esta respuesta debería evaluarse en conjunto entre gobierno y privados.

- Análisis de los diferentes sistemas de estabilización-confinamiento-encapsulamiento de cenizales, considerando distintas tecnologías y evaluando técnica, ambiental, económica y socialmente cada opción. Esta respuesta debería evaluarse en conjunto entre gobierno, privados y la comunidad.

- Evaluación de una revisión del Decreto N°90/2000, el cual establece la norma para la regulación de las descargas de residuos industriales líquidos a las aguas superficiales y marinas, con el fin de hacerlo más restrictivo, en particular respecto al parámetro temperatura. Se requiere incorporar un límite máximo y mínimo a la temperatura de vertido al océano en función de su condición basal que permita el resguardo de la flora y fauna marina. Además de considerar el efecto sinérgico de las descargas de las distintas Unidades Fiscalizables (UF) a cargo de la Superintendencia del Medio Ambiente de Chile (SMA). Esta respuesta debería evaluarse a nivel gubernamental.

- Evaluación de la factibilidad técnica para la implementación de una Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) para la bahía de Algodonales, lo que permitiría establecer la capacidad de carga de contaminantes y alteraciones en el cuerpo de agua, considerando la protección de la biota del ecosistema. El establecimiento de una normativa también permitiría implementar Planes de Prevención y Descontaminación Ambiental (PPDA), en el caso de que se constate superación o latencia. Esto requeriría un conocimiento acabado del ecosistema marino y su tolerancia o sensibilidad a contaminantes. Esta respuesta debería evaluarse a nivel gubernamental y social.

- Operaciones portuarias: Evaluar la implementación de buenas prácticas y mejores tecnologías que otorguen una mejor seguridad ambiental en operaciones portuarias de carga y descarga, disminuyendo la ocurrencia de vertidos de materia al suelo, playa y mar.

xiii. Respuestas al Nivel del Estado

Dentro de las respuestas identificadas para tomar acción al nivel de estado en la red causal, se proponen las siguiente

- A nivel de estado biótico se propone la evaluación de las variables medidas en los programas de seguimiento ambiental de proyectos con Resolución de Calificación Ambiental aprobada, de manera de medir variables que permitan identificar los efectos sinérgicos de contaminantes en la bahía. Esta respuesta debería evaluarse a nivel gubernamental.

- A nivel de estado biótico se propone contar con un diagnóstico de la biodiversidad de la comuna que incluya, su distribución, estados de conservación y tendencias poblacionales, así como con una propuesta de medidas a implementar, a fin de facilitar la toma de decisiones, planificación y gestión ambiental. Generar estudios tendientes a contar con información y sistematizar la ya existente, como la que se ha realizado en este estudio para la evaluación de riesgo ambiental, llegando a generar catálogos y antecedentes relevantes de la flora y fauna de la comuna. Dicha información permitirá estructurar programas y tomar decisiones para la adecuada conservación de la biodiversidad de la comuna. Esta respuesta debería evaluarse a nivel gubernamental y social.

- A nivel de estado abiótico se propone llevar a cabo estudios específicos y técnicos que permitan determinar aquellos impactos ambientales de los que aún no se tiene información o que requieren una mayor profundización, como por ejemplo, medir los efectos sinérgicos de los flujos de contaminantes en la bahía. Esta respuesta debería evaluarse a nivel gubernamental.

- A nivel de estado abiótico se propone desarrollar un estudio de factibilidad para la remediación de sedimentos en áreas con acumulación de contaminantes. Esta respuesta debería evaluarse a nivel gubernamental.

- A nivel de estado abiótico y biótico se propone evaluar la implementación de mejoras en el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), considerando por ejemplo la revisión y evaluación del número y ubicación de las estaciones de monitoreo; la revisión de los métodos analíticos que permiten evaluar el estado ambiental del borde costero; y la evaluación de incorporar elementos y variables adicionales, considerando las condiciones específicas del borde costero la bahía de Algodonales. Esta respuesta debería evaluarse a nivel gubernamental.

- Al nivel del estado humano se proponen las medidas indicadas en las conclusiones obtenidas en la evaluación de riesgo para la salud de las personas realizada para este estudio (Objetivo Especifico 3), las que corresponden a:

    - Completar una evaluación de riesgo integral, de modo de identificar la otra vía no estudiada. Es decir, conocer el impacto de la calidad del agua potable, suelo, polvo sedimentable, otros alimentos de cultivo local y especiación del

material particulado respirable, además de incorporar la medición en el aire de otros contaminantes que pudieran tener efectos sinérgicos como es el dióxido de azufre y en general todos los gases de la combustión; además de realizar una evaluación cuantitativa de la incertidumbre.

- 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 Tocopilla.

- Eventualmente, establecer un Sistema de Vigilancia de los efectos de la exposición a metales pesados en las personas, de modo de detectar precozmente la aparición de síntomas y signos precursores de enfermedad.

xiv. Respuestas a Nivel de Impactos

Dentro de las respuestas identificadas para tomar acción al nivel de impactos en la red causal, se propone evaluar la realización de un estudio para valorizar tanto económicamente como de forma monetaria los servicios ecosistémicos. Como también realizar monitoreos del bienestar humano en cuanto a salud y seguridad, como también de acuerdo con el bienestar social y cultural, y prosperidad económica.

4.4.3.1.3 Anexos

4.4.3.1.3.1 DPSIR Eco-Salud

Los problemas ambientales (como contaminación, extensión urbana, equidad ambiental) son complejos y a menudo trascienden las escalas espaciales y temporales. La investigación científica y las decisiones son frecuentemente limitadas por un entorno económico particular, nivel de la autoridad o campo científico y, por lo tanto, dirigidos a un único aspecto de un problema con insuficiente comprensión o consideración de las consecuencias de corto y largo plazo, para el sistema mayor. Adicionalmente los actores y los tomadores de decisiones, con frecuencia, implementan múltiples acciones de manejo no-coordinadas. Mientras cada una de esas acciones de manejo, puede ser implementada exitosamente para un propósito particular, los efectos combinados pueden no llevar a una mejora de las condiciones ambientales.

El sistema conceptual o de pensamiento es una aproximación a la resolución de problemas, que está basada en la idea que las partes componentes de un sistema, son mejor comprendidas en el contexto de sus relaciones e interacciones unos con otros, y con otros sistemas.

Los modelos conceptuales, los que consisten en diagramas y narrativas que los acompañan, pueden ser desarrollados para caracterizar, visualizar y organizar conexiones entre factores claves en un sistema complejo y puede ser usado para evaluar consecuencias de decisiones alternativas sobre la provisión de servicios ecosistémicos uniendo estresores ambientales y antropogénicos a las condiciones de los ecosistemas

Un marco de trabajo basado en una aproximación sistémica es el marco de trabajo DPSIR (sigla en inglés para: fuerzas motrices, presiones, estado, impacto y respuestas), el cual ha sido una herramienta valiosa para la organización y comunicación de problemáticas ambientales complejos.

El marco de trabajo DPSIR fue desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), ha sido utilizado por las Naciones Unidas, y ha sido adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en la iniciativa Puerto Rico Sostenible. El marco de trabajo DPSIR es un marco de pensamiento sistémico que asume relaciones causa-efecto entre los componentes que interactúan de los sistemas sociales, económicos y ambientales. El marco de trabajo del DPSIR ha sido utilizado para muchas aplicaciones ambientales, incluyendo la gestión de sistemas agrícolas, recursos hídricos, recursos de territoriales y de suelo, biodiversidad y recursos marinos. El marco DPSIR también puede utilizarse para integrar los aspectos sociales, culturales y económicos del medio ambiente y la salud humana en un marco único. El DPSIR se ha utilizado más comúnmente en el contexto de la gestión ambiental para vincular los factores ecológicos y socioeconómicos (Figura 4.4-141). Para muchas situaciones de toma de decisiones ambientales, esta versión básica será suficiente. Para los propósitos de este manual, nos referiremos a este DPSIR como el Eco DPSIR.

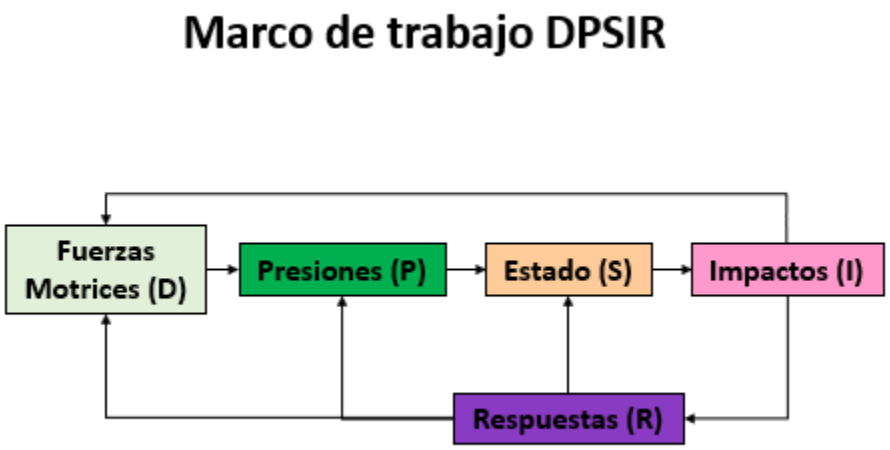


Figura 4.4-141 El marco de trabajo DPSIR Eco-Salud y las relaciones conceptuales entre las categorías DPSIR

Muchos temas ambientales incluyen aspectos de la salud humana y el bienestar, y el Eco DPSIR no captaba adecuadamente esos aspectos. La EPA ha ampliado el DPSIR para incluir más explícitamente la Salud Humana, con dos vías paralelas, una que representa la Salud de los Ecosistemas (a la izquierda) y la otra Salud Humana (a la derecha) (Figura 4.4-142). El DPSIR de Eco-Salud (Eco-Health DPSIR) también capta los conceptos fundamentales de la sostenibilidad, incluyendo la equidad, el capital natural, el bienestar y el hábitat humanos, incorpora los factores de riesgo sociales, económicos, físicos y de comportamiento relacionados con la salud y el bienestar humano (además de los factores ambientales) e integra los aspectos sociales, culturales y económicos de la salud de los ecosistemas y la salud humana en un único marco. La estructura del DPSIR de Eco-Salud sigue una secuencia lógica definida; sin embargo, tanto para los científicos que estudian la naturaleza como para los científicos que estudian la salud humana, representa un cambio de paradigma que se aleja de la investigación centrada en aspectos singulares de las problemáticas complejas.

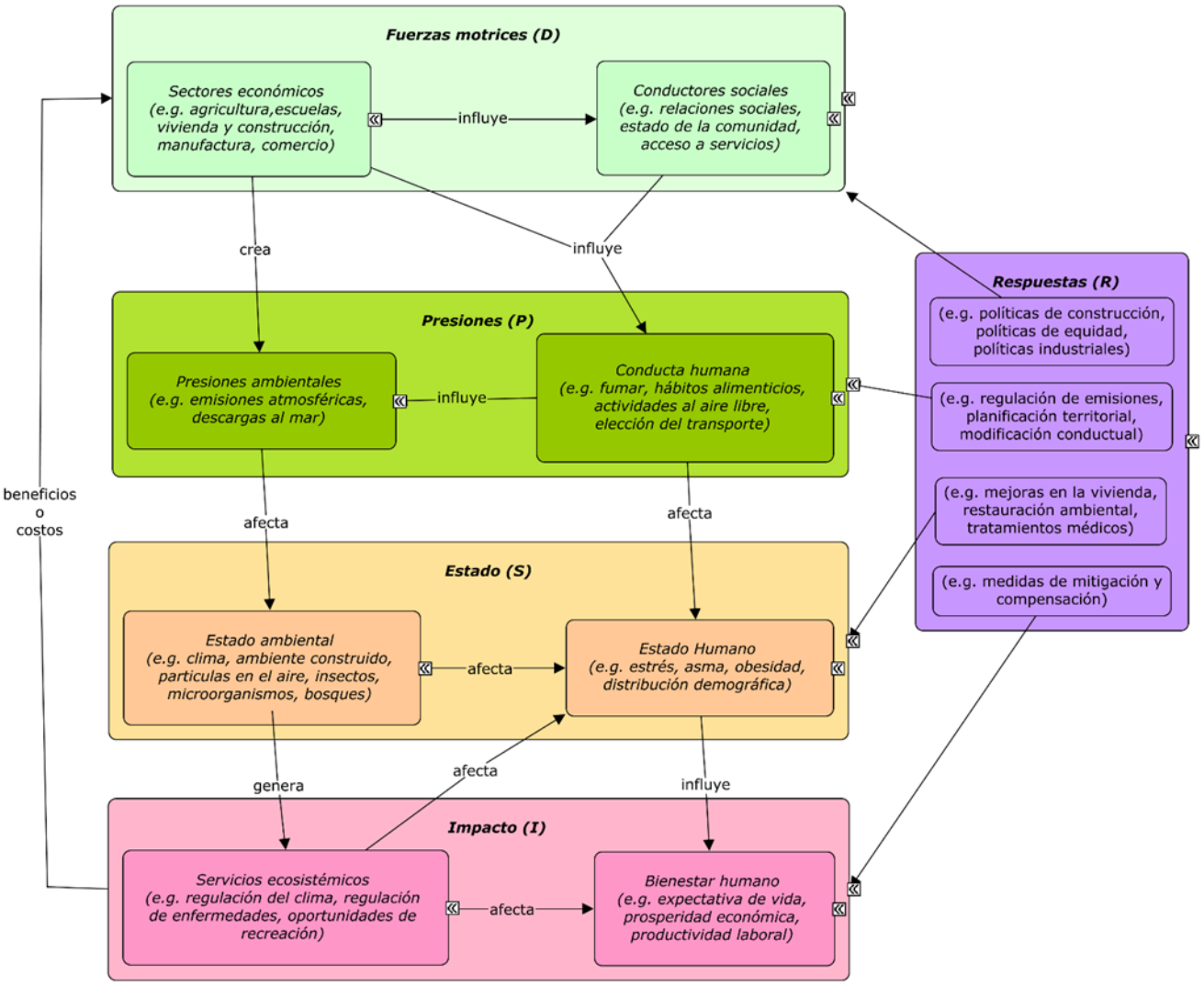


Figura 4.4-142 El marco de trabajo DPSIR de Eco-Salud, con dos vías paralelas que diferencian la salud del ecosistema (lado izquierdo) y la salud humana (lado derecho).

Durante los focus groups conducidos por la EPA, los participantes encontraron particularmente difícil colocar algunos conceptos en las categorías apropiadas. En consecuencia, la EPA desarrolló un riguroso sistema de definiciones que distingue los factores sociales, económicos y ambientales para reducir la confusión sobre el significado de las categorías y proporcionar un proceso genérico que podría aplicarse ampliamente en diferentes sistemas, temas o contextos de decisión. Las definiciones se derivaron en gran medida de la intención original del DPSIR , pero incluyen subcategorías para proporcionar claridad y ayudar a guiar los debates. La naturaleza genérica de las categorías y subcategorías hace que este marco integrador sea fácil de transferir y aplicar en una variedad de sistemas, comunidades y temas. Estas descripciones y listas detalladas tienen

la intención de servir como una guía de referencia rápida para que el facilitador y la persona que toma las notas las utilicen durante la realización de un taller de DPSIR.

xv. Fuerzas motrices

Las Fuerzas Motrices son los factores que motivan las actividades humanas y satisfacen las necesidades humanas básicas, las cuales han sido identificadas consistentemente como las condiciones y materiales necesarios para una buena vida, buena salud, buenas relaciones sociales, seguridad y libertad. La distribución espacial y la intensidad de las Fuerzas Motrices es variable - éstas pueden originarse y actuar a nivel global, regional o local. Las fuerzas motrices no son:

- Influencias climáticas y meteorológicas (por ejemplo, huracanes, aumento del nivel del mar, cambio climático global). Todo esto es parte de Estado Ambiental

- Cualquier tipo de "gestión" (por ejemplo, la gestión del agua) - estas son respuestas

- Población humana - esto se refleja realmente en el estado humano, y es el resultado de las fuerzas impulsoras sociales.

Las fuerzas motrices describen "el desarrollo social, demográfico y económico de las sociedades". Muchos estudios se refieren específicamente a los sectores económicos como impulsores, mientras que los factores sociales que influyen en la estructura, las características y el funcionamiento de los sectores económicos se describen con menos frecuencia. Los determinantes sociales también tienen una fuerte influencia en la salud humana. Por lo tanto, a los efectos de este marco de trabajo, las Fuerzas Motrices se han dividido en dos categorías: los Sectores Económicos y los Conductores Sociales (Figura 4.4-143).

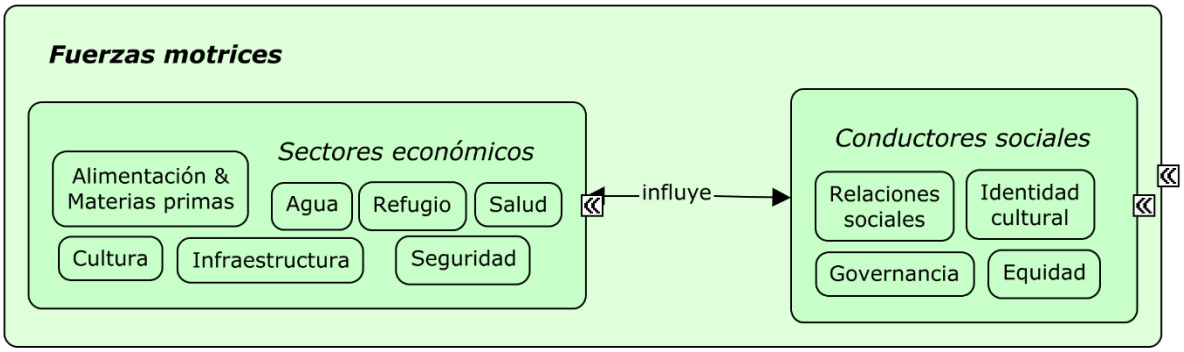


Figura 4.4-143 Categoría DPSIR —Fuerzas motrices

Fuerzas motrices económicas

Las fuerzas motrices económicas satisfacen las necesidades humanas de alimentos y materias primas, agua, cultura, seguridad, salud, vivienda e infraestructura. La EPA utiliza el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (NAICS), que es la norma gubernamental para definir los sectores económicos.

En algunos casos, las Fuerzas Motrices pueden caer en más de un sector (pesca recreativa para la alimentación y la cultura). Las cuestiones ambivalentes deben situarse donde sean más pertinentes para una cuestión de gestión.

- Los sectores que suministran alimentos y materias primas incluyen:
  - Agricultura - tierras de cultivo, pastizales
  - Acuicultura
  - Extracción de petróleo y gas
  - Pesca - pesca comercial, pesca artesanal y pesca recreativa
  - Silvicultura
  - Minería y canteras - minería del carbón, minería de minerales
- Los sectores que satisfacen las necesidades humanas de agua incluyen:
  - Abastecimiento de agua potable
  - Riego
- Los sectores que satisfacen las necesidades humanas en materia de alojamiento incluyen:
  - Vivienda - construcción de viviendas, bienes raíces, viviendas unifamiliares y de unidades múltiples
  - Textil y confección
- Los sectores que satisfacen las necesidades humanas en materia de salud incluyen:
  - Atención médica - hospitales
  - Farmacéutica y cosmética
  - Asistencia social - centros de cuidado infantil
  - Gestión de residuos - instalaciones de tratamiento de aguas residuales y vertederos
- Los sectores que satisfacen las necesidades humanas de la cultura incluyen:
  - Turismo y recreación - pesca y caza recreativa, playas y tierras naturales,
  - Educación - educación primaria y secundaria, colegios y universidades
  - Información - telecomunicaciones, investigación científica, investigación y desarrollo biotecnológico
  - Organizaciones sociales - iglesias, grupos de alcance, familias
- Los sectores que satisfacen las necesidades humanas en materia de seguridad incluyen:
  - Defensa nacional - defensa costera, municiones
  - Administración pública - gobierno, tribunales, aplicación de la ley
- Los sectores de infraestructura proporcionan el apoyo físico, organizativo y técnico para que la economía funcione e incluya:
  - Fabricación y comercio

- Transporte - transporte aéreo y terrestre, operación de barcos y embarcaciones, almacenamiento
- Construcción e ingeniería civil - construcción de carreteras y líneas de servicios públicos, construcción de edificios, construcción de presas, construcción de tuberías
- Finanzas y seguros - bancos, aseguradoras
- Servicios técnicos - gestión de empresas, servicios de reparación y mantenimiento, servicios personales
- Servicios públicos - energía eléctrica, gas natural

Fuerzas motrices sociales

Los seres humanos viven juntos en comunidades organizadas con leyes, tradiciones y valores compartidos. Las fuerzas motrices sociales satisfacen las necesidades humanas de relaciones sociales, equidad, gobernabilidad e identidad cultural. Las fuerzas motrices sociales captan ampliamente el conjunto de características sociales, comunitarias y políticas que influyen en la estructura y función de los sectores económicos, así como actúan como determinantes clave de la salud humana. Por ejemplo, la falta de equidad o la gobernanza represiva pueden influir en la capacidad de los sectores económicos para funcionar o limitar la capacidad de las personas para satisfacer sus necesidades humanas básicas.

Las fuerzas impulsoras sociales incluyen:

- Las relaciones sociales son las interacciones y conexiones diarias dentro de una comunidad, incluyendo:
  - Afiliaciones religiosas
  - Grupos sociales
  - Matrimonio
  - Dinámica familiar
- La equidad describe la justicia de las oportunidades en una comunidad, incluyendo;
  - Acceso a la educación
  - Acceso a la atención de la salud
  - Acceso a los puestos de trabajo
- La gobernabilidad es la disposición política y las características de una comunidad, incluyendo;
  - Patrones de votación
  - Funciones de los responsables de la toma de decisiones
  - Tipo de gobierno
- Identidad Cultural son las actitudes históricas, sociales y culturales que definen a una comunidad, incluyendo;
  - Comunidades urbanas, rurales, tribales o costeras
  - Identidad étnica o religiosa

xvi. Presiones

Las presiones se definen como las actividades humanas, derivadas del funcionamiento de las fuerzas motrices sociales y económicas que inducen cambios en el medio ambiente, o comportamientos humanos que pueden influir en la salud humana. Las presiones no son estresantes. Los factores de estrés son los componentes del estado que son cambiados por las presiones. Las presiones se dividen en dos clases - Presiones Ambientales y Presiones del Comportamiento Humano (Figura 4.4-144).

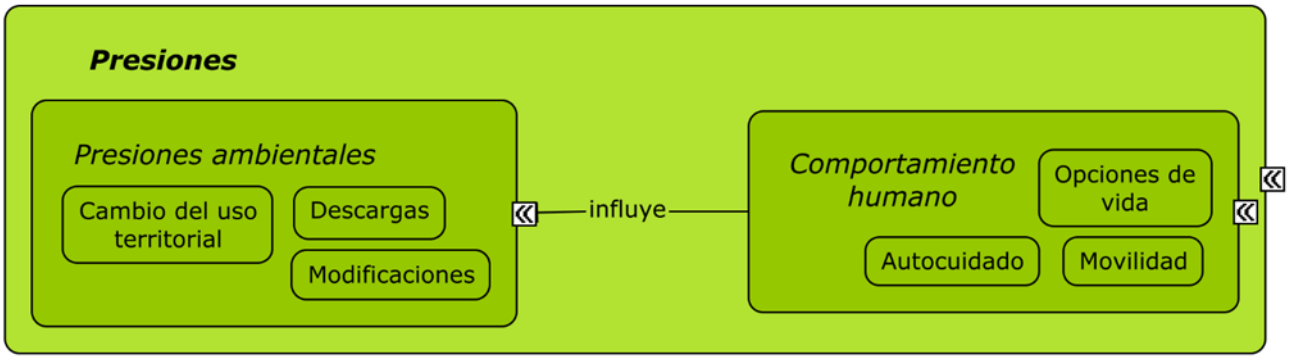


Figura 4.4-144 Categoría DPSIR—Presiones

Presiones ambientales

Desde el punto de vista medioambiental, identificar una actividad en particular como Presión implica una relación causal entre esa actividad y un cambio medioambiental. Las presiones ambientales pueden incluir descargas de agentes químicos, físicos o biológicos, cambios en el uso de la tierra y usos por contacto directo. La intensidad de las Presiones Ambientales depende de la tecnología y el alcance de las actividades en la fuente y puede variar entre regiones geográficas y escalas espaciales.

Las presiones ambientales incluyen:

- Cambios en el uso de la tierra como resultado de alteraciones del paisaje natural, típicamente asociadas con el crecimiento de la población, incluyendo:
  - Desarrollo costero
  - Desarrollo de la tierra
  - Alteración del litoral
  - Modificaciones hidrológicas
- La descarga de contaminantes como resultado de la operación de industrias o vehículos, o la distribución difusa de contaminantes de tierras agrícolas, caminos o prados a través de la escorrentía de agua subterránea o de aguas pluviales, incluyendo:
  - Productos químicos aplicados: uso de fertilizantes, pesticidas, insecticidas y herbicidas.

  - emisiones atmosféricas - emisiones de vehículos y chimeneas, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero, emisiones de óxidos de nitrógeno y azufre, emisiones de compuestos orgánicos volátiles
  - Vertidos al agua - vertidos puntuales y no puntuales, incluidos los vertidos de aguas residuales, los vertidos de contaminantes y la escorrentía superficial.
- Los usos de contacto son actividades humanas que conducen a una alteración o manipulación directa del medio ambiente, e incluyen:
  - Daños físicos - dragado y relleno, daños producto de los equipos y anclajes de embarcaciones, encallamientos de embarcaciones, alteraciones, movimiento de embarcaciones, deforestación.
  - Adición biológica - descarga de lastre, liberación de especies no nativas, alimentación, creación de hábitat artificial
  - Recolección biológica - recolección, pesca, captura accidental, desbroce.

Presiones del comportamiento humano

El Comportamiento Humano es una clase adicional de Presiones que pueden influir en la salud humana independientemente de las Presiones Ambientales, las cuales influyen en la condición física del ambiente. Definimos específicamente los Comportamientos Humanos, como con todas las Presiones, como actividades humanas que pueden aumentar las posibilidades de desarrollar una enfermedad, discapacidad o síndrome. En algunos casos, la carga de la enfermedad crónica se puede prevenir con modificaciones de estos comportamientos. Sin embargo, las fuerzas motrices sociales (por ejemplo, el estatus social, la exposición a la violencia) y los sectores económicos (por ejemplo, los servicios de salud, el gobierno) pueden a la vez motivar y restringir las acciones humanas (por ejemplo, nuestra capacidad de consumir una dieta saludable), y a menudo están más allá, o se perciben como si estuvieran más allá, del control personal.

Las Presiones del Comportamiento Humano incluyen:

- Autocuidado se refiere a acciones y actitudes que contribuyen al mantenimiento de la salud y el bienestar personal. El autocuidado incluye:
  - Nutrición y dieta (es decir, alimentación saludable)
  - Higiene personal
  - Prácticas de limpieza
  - Atención médica (por ejemplo, detección de enfermedades, atención primaria y vacunas)
- Estilo de vida es la suma de decisiones personales (es decir, sobre las cuales el individuo tiene control) que se puede decir que contribuyen a, o causan, enfermedad o muerte. El estilo de vida incluye:
  - Elección de transporte
  - Elección de alojamiento
  - Patrones de consumo (por ejemplo, comer en exceso)
  - Uso de recursos y reciclaje
  - Comportamientos sexuales de riesgo

- Consumo de tabaco y/o alcohol
- Ejercicio
- Exposición al sol

- La movilidad implica la forma en que las personas eligen ir de un lugar a otro. El comportamiento de viaje y la elección del modo de transporte, o la decisión de conducir, utilizar el transporte público, andar en bicicleta o a pie hasta un destino, están fuertemente influenciados por factores del entorno físico y construido, tales como el diseño de la comunidad, la distribución del uso de la tierra, la densidad de la población, la conectividad de las calles y la infraestructura de transporte.
  - Caminar
  - Ciclismo
  - Montar en un automóvil
  - Escalada
  - Transporte público

xvii. Estado

El Estado se refiere al estado del medio ambiente natural y construido (por ejemplo, la cantidad y calidad de los componentes físicos, químicos y biológicos). y sistemas humanos (por ejemplo, nivel de población y atributos individuales). Los procesos químicos, físicos y biológicos interactúan para afectar a diferentes componentes del ecosistema (por ejemplo, productos químicos, especies biológicas) que pueden ser medidos por sus atributos (métricas de cantidad o calidad). Toda la biota incorpora atributos de comunidad y población, pero la condición humana también incorpora el nivel individual y el nivel de subpoblación (Figura 4.4-145).

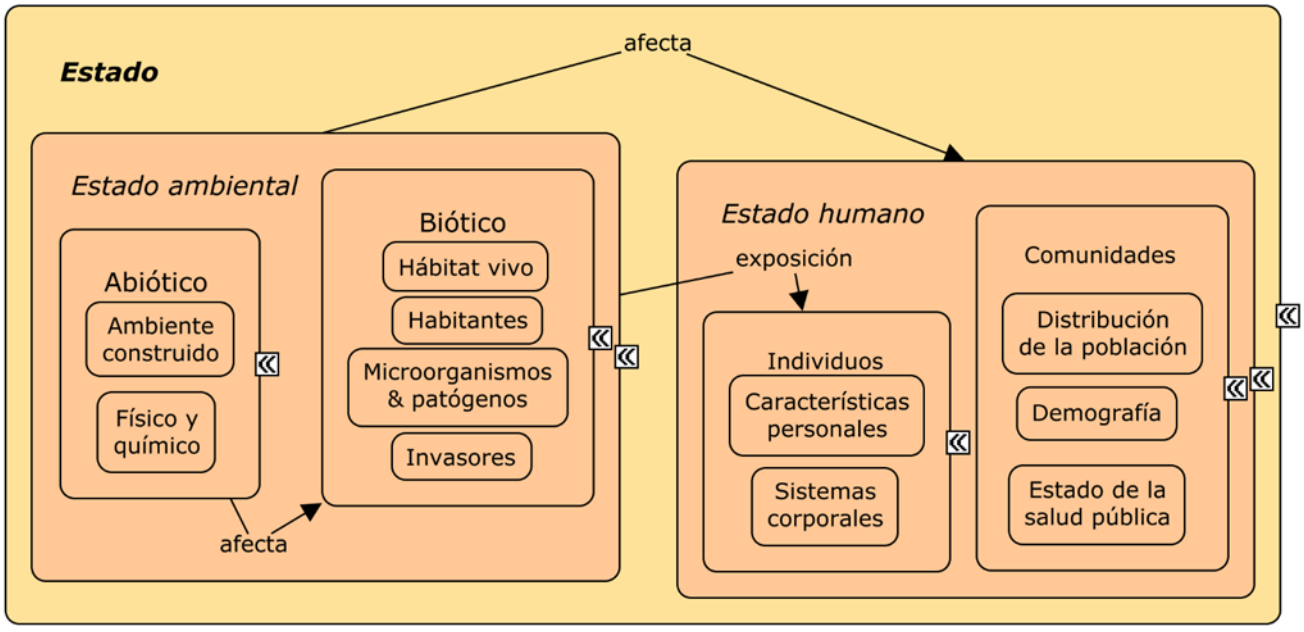


Figura 4.4-145 Categoría DPSIR—Estado

Estado ambiental

El Estado ambiental se refiere a todos los componentes físicos, químicos y biológicos del medio ambiente natural y construido. El estado ambiental incluye:

El Estado abiótico, incluye los factores químicos y físicos no vivos en el medio ambiente, así como el medio construido (estructuras artificiales), que afectan la supervivencia, el crecimiento y la distribución de los organismos vivos en el estado biológico. Los fenómenos abióticos forman parte de toda la biología. El estado abiótico refleja la magnitud, frecuencia y concentración de los componentes abióticos del medio ambiente, incluyendo:

- Ambiente físico (por ejemplo, clima, temperatura del aire y del mar, precipitaciones, tormentas y huracanes, sequía, hidrología, patrones de circulación oceánica, incendios).
- Ambiente químico (por ejemplo, nutrientes, pH, niveles de CO2 atmosférico, salinidad, contaminantes)
- Ambiente construido: estructuras físicas artificiales o modificaciones extremas del entorno natural (por ejemplo, edificios y carreteras) que contribuyen al hábitat humano.

El Estado biótico, incluye los componentes biológicos del ecosistema y sus interacciones, incluidos los seres humanos. En general, esto incluye plantas o animales sésiles que proporcionan el hábitat y la base de la red alimenticia que soporta niveles tróficos más altos. La condición biológica puede ser medida por atributos a nivel individual o comunitario, incluyendo:

- Hábitat vivo (por ejemplo, desiertos, bosques, pastizales, tierras agrícolas, humedales, arrecifes de coral, lagos y arroyos de agua dulce, estuarios).
- Habitantes (por ejemplo, aves, mamíferos, reptiles, anfibios, invertebrados)
- Especies invasoras/no nativas (por ejemplo, plantas, animales, insectos)
- Microorganismos y patógenos (por ejemplo, descomponedores, micorrizas, bacterias, hongos, virus)

Estado de los sistemas humanos

La salud humana es "un estado de completo bienestar físico, mental y social y no simplemente la ausencia de enfermedad o dolencia". Los determinantes de la salud incluyen la estructura y función de los sectores económicos (por ejemplo, los servicios de salud, la educación, la formulación de políticas), las fuerzas motrices sociales (por ejemplo, la equidad y la identidad cultural), las conductas humanas (por ejemplo, la dieta y la movilidad), el medio ambiente físico (por ejemplo, los espacios verdes, el clima), y la biología y la genética de las personas. Estas relaciones se muestran a través de la influencia de las fuerzas motrices, las presiones y el estado ambiental en el estado humano (Figura 4.4-142). Al igual que con otras biotas (por ejemplo, peces, aves), las métricas del Estado Humano pueden incluir atributos a nivel de población, como la distribución o la demografía, y atributos a nivel individual, como las características personales intrínsecas, como la edad y el sexo, y la condición o salud de los sistemas corporales individuales

El Estado de Sistemas Humanos puede ser medido por atributos a nivel individual o comunitario, incluyendo:

- Nivel individual
    - Características personales
        - Etapa de vida
        - Género
        - Etnicidad
        - Situación socioeconómica
    - Sistemas corporales
        - Sistema respiratorio
        - Sistema inmunológico
        - Sistema gastrointestinal
        - Sistema reproductivo
        - Sistema endocrino
        - Sistema neurológico
        - Salud mental
        - Genética
- Nivel comunitario
    - Distribución de la población - distribuciones a nivel de la comunidad de:
        - Edad
        - Situación económica
        - Carrera
        - Educación
        - Género
    - Estado de salud pública - métricas a nivel de la comunidad de:
        - Prevalencia de la enfermedad
        - Incidencia de enfermedades

xviii. Impactos

Los cambios en la calidad y el funcionamiento del ecosistema tienen un impacto en el bienestar de los seres humanos, incluyendo la producción de bienes y servicios del ecosistema y, en última instancia, el bienestar humano (Figura 4.4-146).

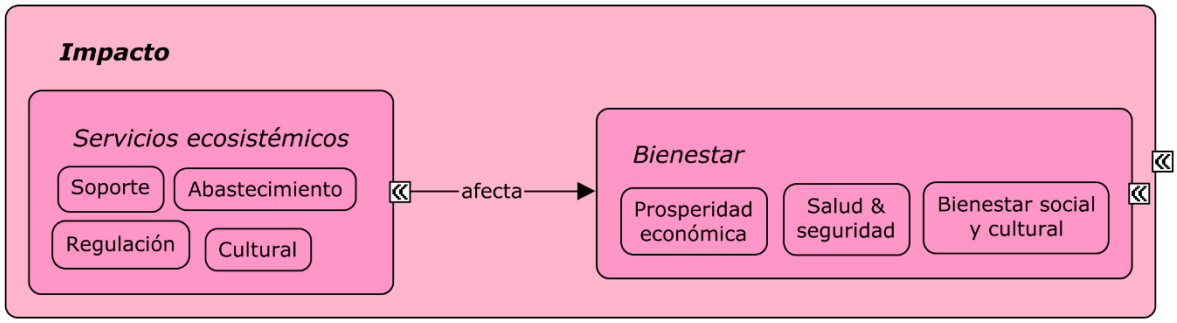


Figura 4.4-146 Categoría DPSRI—Impactos

Servicios ecosistémicos

Los bienes y servicios de los ecosistemas se han definido de diversas maneras como procesos de los ecosistemas, o los productos de esos procesos que benefician directa o indirectamente a los seres humanos. Tal como se define notablemente en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, los bienes y servicios de los ecosistemas incluyen:

- Servicios de aprovisionamiento: los productos biológicos, químicos o biológicos obtenidos o cosechados de los ecosistemas para uso humano, incluidos los alimentos, el agua, los recursos bioquímicos y genéticos y las materias primas.
- Servicios de regulación - los procesos biofísicos que regulan el ecosistema, incluyendo la regulación de la calidad del aire, la calidad del agua, el clima, las enfermedades, la polinización y los peligros naturales.
- Servicios culturales - los beneficios no materiales que las personas obtienen de la integridad ecológica de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas, incluyendo las oportunidades recreativas y educativas, el valor estético, el sentido del lugar y el valor espiritual o religioso.
- Procesos de soporte - procesos biofísicos que mantienen el funcionamiento del ecosistema y que son necesarios para la producción de otros servicios del ecosistema, pero que pueden no tener impactos directos en los seres humanos, incluyendo el ciclo de nutrientes y contaminantes, el suministro de alimentos y hábitat a especies críticas, el ciclo del agua y la producción primaria.

Bienestar humano

El Bienestar Humano es un concepto abstracto que captura una mezcla de las circunstancias de la vida de las personas y cuantifica el grado de satisfacción de las necesidades humanas básicas de alimentación, agua, salud, seguridad, cultura y vivienda. El bienestar humano refleja un estado físico, mental y social positivo. El Bienestar Humano puede cuantificarse mediante métricas que reflejen el grado de satisfacción de las necesidades humanas, incluidas las necesidades de materiales básicos, relaciones sociales, buena salud, seguridad y libertad.

El Bienestar Humano incluye:

- Prosperidad económica (por ejemplo, productividad, capacidad de trabajo, ingresos)
- Salud y seguridad (por ejemplo, duración de la vida, costos médicos o de seguro, días de enfermedad, dolor y sufrimiento)
- Bienestar cultural y social (por ejemplo, "felicidad", sentido de pertenencia, vitalidad comunitaria, realización espiritual).

xix. Respuestas

Un beneficio clave en el uso del marco DPSIR es que incluye explícitamente un componente de Acción o Respuesta que puede ser tomado en cualquier nivel de la red causal (Figura 4.4-147). En el marco del DPSIR, las respuestas son acciones tomadas por grupos o individuos en la sociedad y el gobierno para prevenir, compensar, mejorar o adaptarse a los cambios en el estado del medio ambiente; y para modificar los comportamientos humanos que contribuyen a los riesgos para la salud, para modificar directamente la salud a través de tratamientos médicos, o para compensar los impactos sociales o económicos de la condición humana sobre el bienestar humano.

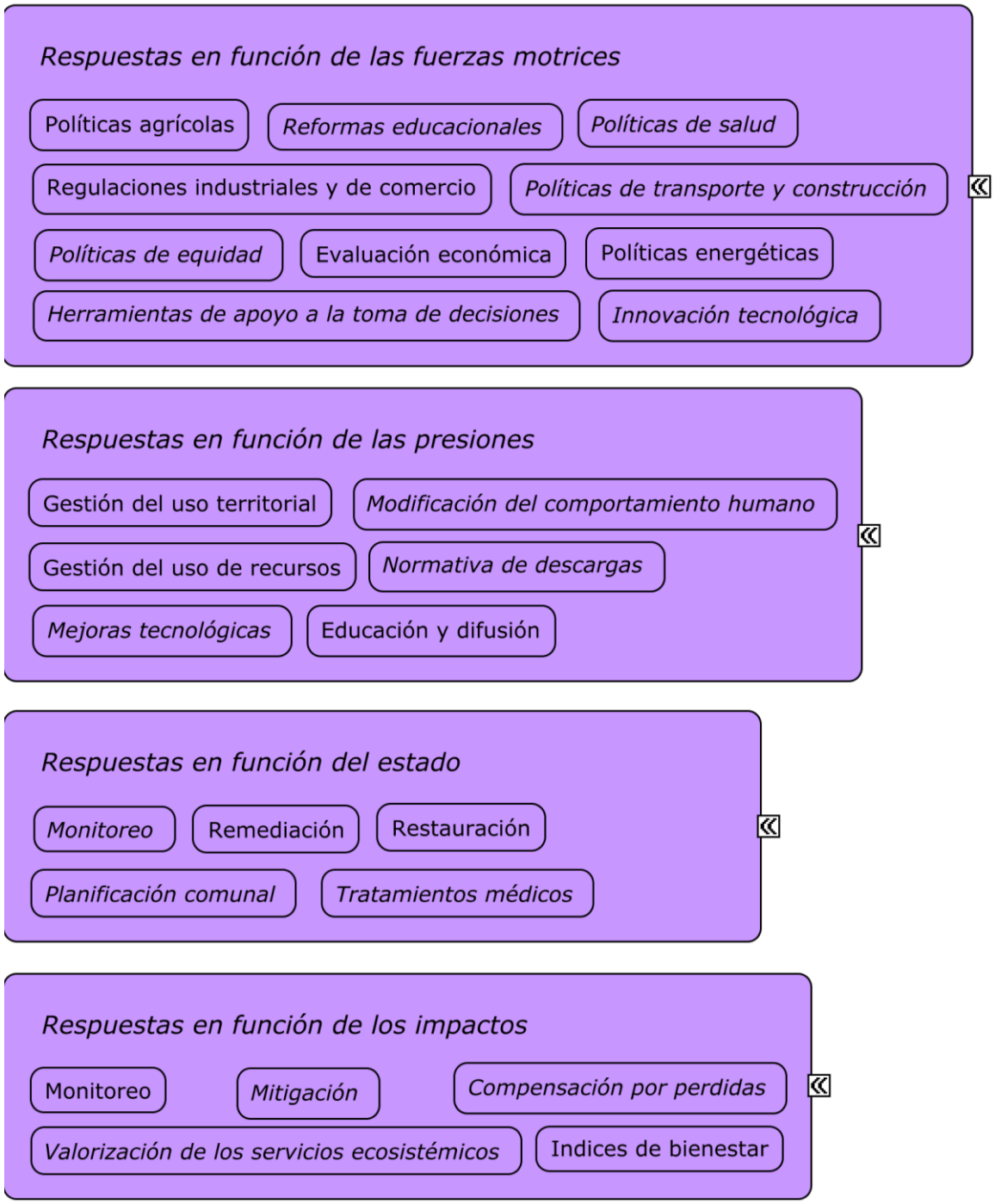


Figura 4.4-147 Categoría DPSIR—Respuestas

Respuestas basadas en las fuerzas motrices

Las respuestas pueden tratar de controlar a las Fuerzas Motrices a través de políticas o decisiones económicas que influyen directamente en los sectores, incluyendo:

- Las políticas alimentarias y energéticas son la legislación, las restricciones y las directrices que se aplican a los sectores que explotan o extraen recursos naturales, entre ellos:
    - Mejores prácticas de manejo agrícola - incluyendo el manejo de plagas y nutrientes, o amortiguadores de conservación.
    - Políticas de pesca y caza - tales como limitaciones de capturas, preferencias de los consumidores por especies sostenibles.
    - Políticas energéticas - incluyendo bonos de carbono, pruebas de emisiones, fuentes de energía alternativas
- Las políticas de salud son decisiones que influyen en el funcionamiento de los sectores de la salud, entre ellos:
    - Políticas de tratamiento de residuos
    - Financiación de la investigación biomédica
    - Leyes de patentes sobre productos bioquímicos encontrados de forma natural
- Las políticas culturales son respuestas que impactan la distribución y el funcionamiento de los sectores culturales, incluyendo el turismo, la recreación, la educación y las organizaciones sociales. Las respuestas incluyen:
    - Educación y extensión ambiental - incluyendo capacitación, exposiciones o material informativo
    - Políticas turísticas - incluyendo el establecimiento de centros de visitantes o la comercialización para aumentar, disminuir o dirigir las actividades turísticas.
- Las políticas de seguridad y administración pública son respuestas para mejorar la capacidad de las instituciones gubernamentales para tomar decisiones y hacerlas cumplir, entre otras cosas:
    - Medidas para mejorar la aplicación de la legislación vigente
    - Presión política por parte de ciudadanos o funcionarios sobre el gobierno
- Las políticas de transporte y construcción son respuestas para mejorar la distribución y el funcionamiento de los sectores que proporcionan infraestructura para edificios y redes de transporte, entre otros:
    - Códigos y políticas de construcción
    - Ordenanzas de la ciudad
- Las políticas de manufactura y comercio son respuestas para controlar la producción, distribución y venta de bienes y servicios, incluyendo:
    - Acciones para fomentar la competencia entre empresas
    - Cumplimiento de la normativa medioambiental
    - Protección del consumidor
    - Normas de seguridad en el lugar de trabajo
- Las políticas educativas buscan impactar la distribución, función y calidad de las instituciones educativas, incluyendo las escuelas secundarias y colegios, a través de acciones tales como:
    - Adoptar y hacer cumplir las normas educativas
    - Subvenciones para investigación, construcción o suministros

- Las políticas de equidad buscan mejorar la equidad y el acceso a los servicios entre las poblaciones a través de:
    - Eliminación de las barreras de acceso
    - Programas y acciones para potenciar la diversidad
- Las herramientas de apoyo a la toma de decisiones son herramientas que ayudan a los tomadores de decisiones a tomar decisiones informadas presentando la información de una manera sencilla, interactiva y científicamente defendible, incluyendo:
    - Desarrollo o aplicación de modelos, sitios web y otras herramientas
    - Análisis estadístico
    - Visualización y análisis geoespacial
    - Análisis costo-beneficio
    - Evaluaciones de compensación

Respuestas basadas en las presiones

Las respuestas también pueden buscar controlar las Presiones a través de regulaciones o tecnología que limitan las actividades humanas, o decisiones diseñadas para modificar el comportamiento humano, incluyendo:

- Gestión del uso de la tierra que busca planificar y controlar el desarrollo del territorio a través de:
    - Zonificación del uso del territorio
    - Permisos de construcción
    - Restauración de playas
    - Designación de áreas protegidas
- Limitaciones de descarga que limitan y monitorean la contaminación, incluyendo:
    - Regulaciones de descarga de fuentes no puntuales
    - Regulaciones de descarga de fuentes puntuales o móviles o Innovaciones tecnológicas, que implican la investigación y el desarrollo para mejorar el uso de la tecnología, incluyendo la adopción de prácticas ambientalmente sostenibles.
- Limitaciones de descarga que limitan y monitorean la contaminación, incluyendo:
    - Rangos de descarga de fuentes no puntuales
    - Regulaciones de descarga de fuentes puntuales o móviles
- Innovación tecnológica, que implica la investigación y el desarrollo para mejorar el uso de la tecnología, incluyendo la introducción de prácticas ambientalmente sostenibles:
    - Mejoras tecnológicas
    - Fuentes de energía alternativas - como la energía solar o eólica
- Gestión del uso de los recursos, son regulaciones, políticas y acciones diseñadas para controlar el uso de los recursos naturales, incluyendo:
    - Establecimiento de usos designados
    - Reglamentos y licencias de caza, pesca o navegación
    - Gestión de las zonas costeras, incluidas las zonas marinas protegidas
    - Designación de áreas protegidas

Las respuestas pueden estar diseñadas para modificar los comportamientos humanos individuales que contribuyen a los riesgos para la salud:

- Modificación de la conducta humana es un intento de un individuo de modificar su propia conducta, que puede estar contribuyendo negativamente a la salud personal, como dejar de fumar, hacer dieta u optar por el transporte público.

- Extensión y Educación procura que un individuo o grupo de individuos modifique su comportamiento al proveerles materiales e información a través de presentaciones, folletos y otras herramientas promocionales.

Respuestas basadas en el estado

Las respuestas también pueden tener un impacto directo en el estado del medio ambiente, la condición o la salud humanas:

- Respuestas ambientales que buscan controlar el ambiente físico, químico y biológico, incluyendo:
    - Monitoreo de la calidad del agua
    - Monitoreo de la calidad del aire
    - Establecimiento de criterios de calidad del agua o del aire
    - Monitoreo biológico
    - Investigación científica
    - Establecimiento de criterios biológicos
    - Actividades de restauración y remediación, incluyendo esfuerzos para restablecer las especies nativas.
- Tratamientos médicos diseñados para modificar directamente la condición o la salud humana, incluyendo
    - Medicamentos
    - Cirugía
    - Fisioterapia
- La planificación comunitaria busca modificar el estado de la comunidad mediante la promoción e implementación de acciones tales como
    - Asistencia al propietario
    - Mayores oportunidades económicas

Respuestas basadas en el impacto

Las respuestas también pueden estar diseñadas para cuantificar o compensar los impactos sociales y económicos de la condición humana sobre el bienestar humano:

- El monitoreo implica el seguimiento del éxito de las decisiones implementadas sobre uno o más indicadores que miden los impactos sobre el medio ambiente o el bienestar humano a través de
    - Encuestas y sondeos de opinión
    - Observaciones de campo

- Valoración de Servicios de los Ecosistemas es el proceso de estimar el valor monetario o no monetario de las decisiones potenciales o implementadas, incluyendo:
    - Valoración comercial
    - Valoración no comercial
- Mitigación es un esfuerzo para aliviar las cargas sobre las personas o el medio ambiente causadas por alguna acción, compensando por la pérdida de beneficios ambientales, incluyendo:
    - Mitigación compensatoria
    - Banco de mitigación
- La compensación por pérdidas es un esfuerzo para aliviar las cargas que pesan sobre los individuos causadas por alguna acción u ofensa, compensando las pérdidas económicas, sociales o emocionales con dinero u otras cosas de valor económico, e incluye:
    - Compensación económica
    - Seguro obligatorio de daños al medio ambiente
- El Índice de Bienestar Humano es un esfuerzo por cuantificar la condición de los seres humanos y de la sociedad, definida en términos de las necesidades materiales básicas y de otros recursos naturales para una buena vida, libertad y elección, salud, riqueza, relaciones sociales y seguridad personal.

xx. Resumen

El marco de trabajo DPSIR proporciona un modelo conceptual flexible y bien definido para organizar y comunicar temas ambientales complejos.

La jerarquía de conceptos en ciencias sociales, de la salud y ambientales identificados en el marco genérico del DPSIR de Eco-Salud (Tabla 2-1) tiene por objeto identificar lugares potenciales para interacciones entre las perspectivas de múltiples interesados y entre disciplinas científicas.

La fortaleza del enfoque DPSIR es que:

- Es transparente y simple - con 5 conceptos que son fácilmente comprensibles tanto para los científicos como para las partes interesadas.
- Mejora la comunicación al simplificar las complejas conexiones entre los seres humanos y el medio ambiente.
- Fomenta un enfoque sistémico
- Es intrínsecamente centrado en el ser humano, atrayendo al público y a los responsables de la toma de decisiones.
- Implica relaciones causales entre los factores

Categoría	Conceptos
Fuerzas motrices	
Sectores Económicos	
Alimentación y materias primas	agricultura, acuicultura, extracción de petróleo y gas, pesca, silvicultura, minería
Agua	abastecimiento de agua potable, irrigación
Refugio	construcción de viviendas, inmobiliaria, textil y confección
Salud	atención médica, productos farmacéuticos y cosméticos, asistencia social, gestión de residuos, agencias de salud pública
Cultura	turismo y recreación, escuelas, telecomunicaciones, investigación científica, organizaciones sociales
Seguridad	administración pública, aplicación de la ley, defensa
Infraestructura	manufactura y comercio, transporte, construcción e ingeniería civil, industrias financieras y de seguros, servicios públicos, servicios técnicos
Fuerzas motrices sociales	
Relaciones Sociales	afiliaciones religiosas, grupos sociales, matrimonio o dinámica familiar
Identidad Cultural	comunidades urbanas, rurales, tribales o costeras; identidad étnica o religiosa;
Gobernanza	patrones de votación, roles de los tomadores de decisiones, tipo de gobierno
Equidad	acceso a la educación, acceso a la atención sanitaria, acceso al empleo
Presiones	
Presiones ambientales	
Descargas	vertidos de fuentes puntuales/no puntuales, vertidos agrícolas/urbanos, emisiones atmosféricas, fertilizantes/químicos aplicados, vertidos de aguas residuales, eliminación de residuos sólidos
Cambios en el uso del territorio	desarrollo costero, desarrollo del suelo, alteración del litoral, modificaciones hidrológicas, deforestación, desvegetación, creación de superficies impermeables
Usos de contacto	dragado, relleno, liberación de especies no autóctonas, creación de hábitats artificiales, recolección, pesca
Comportamiento humano	
Autocuidado	higiene personal, limpieza, tabaquismo, hábitos alimenticios
Movilidad	caminar, escalar, utilizar alternativas de transporte, patrones de tiempo y actividad
Opciones de Estilo de Vida	transporte o elección de vivienda, patrones de consumo, uso de recursos y reciclaje
Estado	
Estado ambiental	

Categoría	Conceptos
Estado abiótico	
Ambiente Físico y Químico	clima, temperatura del aire y del mar, precipitaciones, tormentas y huracanes, sequía, hidrología, patrones de circulación oceánica, incendios, nutrientes, pH, niveles de CO2 atmosférico, salinidad, contaminantes
Ambiente Construido	edificios, carreteras, mobiliario, vertederos, terrenos baldíos, parques
Estado Biótico	
Hábitat Vivo	desiertos, humedales, praderas, bosques, arrecifes de coral, tierras agrícolas
Habitantes	aves, mamíferos, peces, reptiles, anfibios, invertebrados
Especies invasoras	plantas invasoras, animales invasores, especies acuáticas invasoras
Microorganismos y patógenos	descomponedores, micorrizas; bacterias, hongos, virus
Estado humano	
Individuos	
Características personales	etapa de vida, género, etnia, situación socioeconómica
Sistemas corporales	sistema respiratorio, sistema inmunitario, sistema gastrointestinal, sistema reproductivo, sistema endocrino, sistema neurológico, salud mental, genética
Comunidades	
Distribución de la población	densidad de población, distribución espacial de la población
Población Demográfica	distribución a nivel comunitario de la edad, la situación económica, la raza, la educación y el género
Estado de salud pública	métricas a nivel comunitario de la prevalencia o incidencia de enfermedades
Impactos	
Servicios ecosistémicos	
Soporte	estabilización del suelo, atenuación de la energía de las olas, procesamiento de nutrientes y contaminantes, ciclo del agua, almacenamiento y ciclo del carbono, provisión de recursos y hábitat para especies críticas
Regulación	regulación de la calidad del aire y del agua, regulación del clima, regulación de la erosión, purificación del agua, regulación de enfermedades y plagas, polinización, regulación de riesgos naturales
Aprovisionamiento	recursos hídricos, recursos alimentarios, recursos bioquímicos o genéticos, combustible, fibra, recursos ornamentales
Cultural	valor recreativo y ecoturístico, valor estético, valor cultural, valor espiritual o religioso, sentido de pertenencia, valor educativo o del conocimiento, potencial de investigación
Bienestar Humano	

Categoría	Conceptos
Prosperidad económica	productividad, capacidad de trabajo, ingresos
Salud y seguridad	duración de la vida, costos médicos o de seguro, días de enfermedad, dolor y sufrimiento
Bienestar cultural y social	"felicidad", sentido de pertenencia, vitalidad comunitaria, realización espiritual, conexión con el mundo natural
Respuestas	
Respuestas basadas en las fuerzas motrices	
Políticas alimentarias y energéticas	mejores prácticas de gestión agrícola, políticas pesqueras, políticas de caza, políticas energéticas
Políticas de salud	políticas de tratamiento de residuos, financiación de la investigación biomédica, leyes de patentes bioquímicas
Políticas culturales	educación y divulgación ambiental, políticas turísticas
Políticas de transporte y construcción	códigos de construcción, ordenanzas municipales
Regulaciones de Manufactura y Comercio	cumplimiento de la normativa medioambiental, protección del consumidor, seguridad en el lugar de trabajo
Políticas de educación	normas educativas, subvenciones
Políticas de seguridad	aplicación de la ley, presión política sobre el gobierno
Políticas de Equidad	eliminación de las barreras de acceso, programas para mejorar la diversidad
Herramientas de apoyo a la toma de decisiones	modelos, sitios web, análisis estadístico, visualización, análisis geoespacial, análisis de costo-beneficio
Respuestas basadas en las presiones	
Gestión del uso del territorio	gestión del uso del territorio, permisos de construcción, restauración de playas, áreas protegidas designadas
Normativa de descargas	Regulaciones de fuentes no puntuales, regulaciones de fuentes puntuales y móviles
Innovaciones tecnológicas	mejoras tecnológicas, fuentes de energía alternativas
Gestión del uso de recursos	establecimiento de usos designados, licencias de caza, licencias de pesca, licencias de navegación, áreas protegidas designadas

Categoría	Conceptos
Modificación del Comportamiento	dejar de fumar, modificar la dieta, optar por el transporte público
Extensión y Educación	presentaciones, folletos, herramientas de promoción
Respuestas basadas en el estado	
Respuestas Ambientales	monitoreo, restauración, remediación
Tratamientos médicos	medicamentos, cirugía, terapia física
Planificación Comunitaria	mayores oportunidades económicas, apoyo a propietarios
Respuestas basadas en el impacto	
Monitoreo	encuestas, sondeos de opinión, observaciones de campo
Valorización	valoración comercial, valoración no comercial
Mitigación	mitigación compensatoria, banca de mitigación
Compensación por pérdidas	compensación financiera, seguro obligatorio de daños al medio ambiente
Índice de Bienestar Humano	Métodos para cuantificar y monitorear el bienestar

4.4.4 Discusión y conclusiones

De la modelación numérica hidrodinámica llevada a cabo, se destacan las zonas de menor circulación de corrientes identificadas entre Punta Algodonales y Caleta Duendes, hasta el sector del acopio de cenizales inclusive. Esto se vio representado por los altos valores de tiempo de retención determinado y la baja magnitud de la velocidad en esos sectores. Además, a partir de los resultados de la modelación de trazadores se observó que, debido a la estructura de circulación de la bahía, la liberación de un contaminante en el sector de Punta Algodonales podría generar una mancha de concentración considerable hasta el sector de Caleta Duendes, sin tenerse una rápida mezcla del contaminante con el medio.

Respecto de la integración de la información, las concentraciones de metales disueltos en agua estuvieron en general, bajo los límites de detección o en concentraciones muy pequeñas, sin superar los niveles de referencia en dichos casos. Con lo anterior, se espera que no se generen efectos funcionales negativos a nivel ecosistémico. Diferente es el caso de la zona 4, en la que hay que prestar atención en su evolución, debido a que las concentraciones medias durante el 2015, 2016, 2018 y 2019 se encuentran en niveles sobre el criterio de máxima concentración de la EPA (2009), con lo cual se podrían generar efectos adversos en la biota acutática. El cobre es un nutriente esencial en bajas concentraciones, pero es tóxico para los organismos acuáticos en concentraciones más altas. Además de los efectos agudos como la mortalidad, la exposición crónica al cobre puede provocar efectos adversos en la supervivencia, el crecimiento, la reproducción, así como alteraciones de la función cerebral, la actividad enzimática, la química sanguínea y el metabolismo (EPA,2009).

Debido a que la resolución temporal de los datos es baja (meses), solamente es posible realizar análisis de más largo plazo, en donde se consideran las mediciones registradas como condiciones medias para el período. Eventos de cambios en la calidad del agua particulares que tienen una menor resolución temporal, del orden de horas, días o semanas, como derrames de carbón, petróleo, etc, no se ven reflejados en este análisis. Para poder capturar estos eventos se hace necesario tener registros con una resolución temporal acorde a los tiempos de retención de los sectores afectados.

Las concentraciones de aceites y grasas e hidrocarburos totales en el cuerpo de agua estuvieron bajo los límites de detección, por lo que son de baja relevancia en cuanto al estado de la bahía. Del mismo modo, la concentración de coliformes fecales presentó, en general, valores bajo el límite de detección o levemente superiores al límite, siendo siempre valores bajos de concentración en cualquiera de los casos. Aun así, solamente se detectó un valor superior y atípico, correspondiente al máximo valor obtenido en la campaña de invierno 2018 y que fue de 240 NMP/100 ml. Con lo anterior, los valores de concentración estuvieron bajo los niveles de referencia del DS144/2009. En cuanto a los valores de Clorofila “a”, en general las concentraciones presentaron valores tipos asociados a un

estado oligotrófico del sistema a lo largo de la bahía[11], con un valor promedio de 0,99 mg/m^3.

En cuanto a la distribución vertical de Clorofila "a" en la columna de agua, ella mostró niveles bajos en la mayoria de las campañas y puntos de muestreo (≈ 1 ug/l). La excepción se observó en el sector de Cenizales (zona 1, punto de muestreo TOC-1), donde se registraron valores sobre los 10 µg/L, inclusive durante la campaña de verano del 2019. Esto indicaría una alta productividad primaria relativa en el ecosistema nerítico, hasta cerca de los 6 m de profundidad. Para el resto de las campañas y puntos de muestreo, se estimad una baja producción primaria hasta los 15 metros de profundidad aproximadamente. Esto señala una posible reducción en la disponibilidad de los nutrientes en toda la columna de agua, y que podrían influir en la productividad primaria.

Las observaciones de oxígeno disuelto en Bahía Algodonales mostraron niveles de hipoxia en los sectores de Descarga NORGENER (zona 5), Punta Algodonales (zona 6) y Playa Covadonga (Zona 7) durante los años 2011,2013 y 2015, sin embargo, en el periodo posterior los valores de oxígeno disuelto aumentaron, implicando una reducción en la condición de hipoxia observada en profundidad. Así, para el periodo 2018-2020, desde el punto de vista ecosistémico, los niveles de oxígeno no tendrían implicancias directas en la biodiversidad del medio.

En cuanto a los valores de pH en la columna de agua, se observó que las condiciones han variado de neutro a moderadamente alcalino, mientras que los valores de potencial RedOx favorecen las reacciones de oxidación y por tanto no representan condiciones desfavorables para los cambios en la disponibilidad de los metales.

En cuanto a las concentraciones de los metales analizados en sedimentos, se destaca que los sectores de Caleta Duendes (Zona 2), Playa el Arenal (Zona 3), Playa el Salitre (Zona 4), Descarga NORGENER (Zona 5) y LIPESED (Zona 8), presentaron los mayores niveles de concentración, destacándose el arsénico, cobre, hierro y zinc en cuanto a superación de niveles de referencia. En la Tabla 4.4-39 se adjuntan los niveles de concentración de referencia superados en cada zona de estudio para cada metal analizado respecto a los promedios en el periodo analizado, comprendido entre los años 2010 y 2020. En la Figura 4.4-148 se presentan de manera gráfica los porcentajes de superación de los niveles de referencia, donde se destaca un aumento sostenido desde el sector de Cenizales (Zona 1) hasta los sectores de Playa el Arenal (Zona 3) y Playa el Salitre (Zona 4), para posteriormente decaer hasta el sector de Playa Covadonga (Zona 7). El sector de LIPESED presentó niveles de concentraciones similares a los de las zonas de estudio 2 y 5.

[11] Smith et al. (1999). "Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems". Environmental Pollution. 100, 179-196.

Tabla 4.4-39: Niveles de concentración de referencia superados para cada metal analizado en cada zona de estudio, respecto al total de referencias.

Parámetro	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	N° Referencias Totales
Arsénico	0	2	5	5	4	2	0	5	5
Cadmio	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Cobre	3	5	5	5	5	5	2	5	5
Cromo	0	1	1	1	0	0	0	0	5
Hierro	1	2	2	2	2	1	0	2	2
Níquel	0	0	0	0	0	0	0	1	4
Plomo	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Vanadio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zinc	0	4	5	5	4	0	0	0	5
TOTAL	***4***	***14***	***18***	***18***	***15***	***8***	***2***	***13***	36
%	11%	39%	50%	50%	42%	22%	6%	36%	

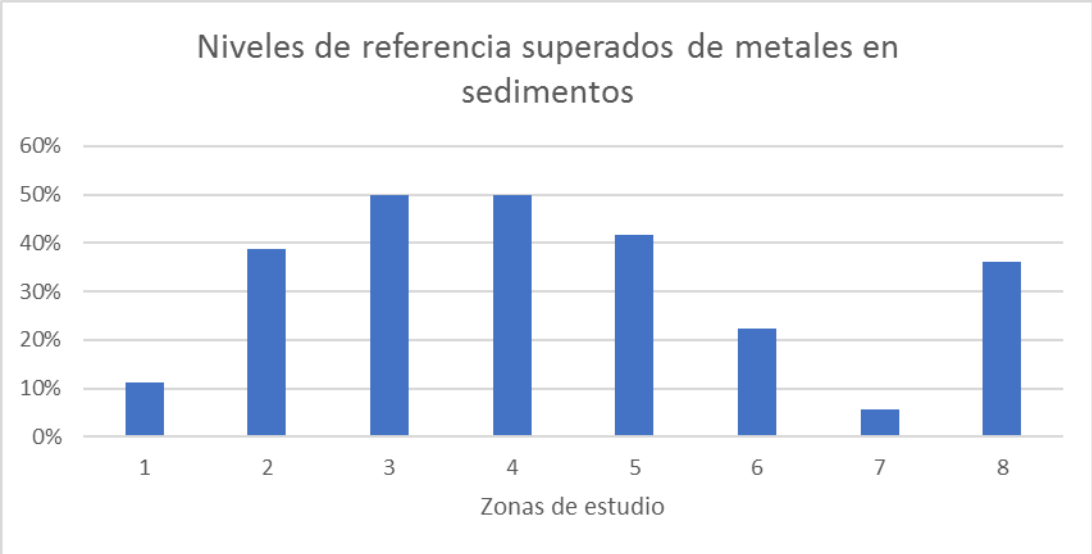


Figura 4.4-148: Niveles de referencia superados de metales en sedimentos.

Por otra parte, las concentraciones de hidrocarburos en sedimentos fueron bajas, estando en general bajo los límites de detección. Similarmente, los niveles de materia orgánica en sedimentos fueron bajos.

Las zonas con mayor concentración mencionadas anteriormente están dispuestas espacialmente en áreas de menor circulación, con mayor proporción de sedimentos finos y con mayores tiempos de retención o de lavado de la bahía. Por lo tanto, estas zonas presentan condiciones favorables 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 Algodonales 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.

Respecto a la degradación de materia orgánica, no se tiene información del potencial Redox ni oxígeno disuelto en sedimentos, de forma tal que no es posible inferir si la degradación se desarrolla de forma anóxica. Sin embargo, por las concentraciones de oxígeno disuelto en los niveles más profundos de la columna de agua, y por las bajas cantidades de materia orgánica, se puede inferir que la degradación se desarrollaría en un ambiente que favorece las reacciones de oxidación y, por tanto, con menos implicaciones en la especiación de metales pesados.

Respecto a los registros de concentración de metales en biota, los sectores de extracción de las especies con los valores máximos de concentración más recurrentes fueron los asociados al puerto o muelle de Electroandina (Zonas de estudio 4 y 5, respectivamente), mientras que los menores valores de concentración se ubicaron en el sector de Cenizales (Zona de estudio 1). Así, los máximos valores se dan en las zonas de menor energía de la bahía[12], que presentan tiempos de retención mayores. El sector norte presentó granulometría más gruesa, lo cual es indicativo de una estructura de corrientes de mayor magnitud, y donde los tiempos de retención son menores. Respecto a los valores de bioacumulación, ellos dan cuenta de la existencia de procesos biológicos que pueden estar produciendo efectos de biomagnificación en la cadena trófica presente en el ambiente, pues las diferentes tasas de consumo y excreción de metales, además de la longevidad de los organismos, dan cuenta de los elevados valores de concentración de tejido en biota.

Para los flujos de carga de origen antrópico hacia la bahía, se recopiló información del RETC respecto a emisiones al cuerpo de agua para el periodo comprendido entre los años 2005-2016, la cual permitió cuantificar los flujos de entrada a la bahía provenientes de la actividad humana, mediante valores de descarga en tonelada/año de las distintas componentes. Estos valores, al solo estar disponibles en valores acumulados anuales, no permitieron analizar en detalle la posible existencia de estacionalidad y/o variaciones intra-anuales de los procesos involucrados de las descargas respectivas. Del mismo modo, otra falencia detectada, fue la incongruencia de la información entre los reportes categorizados por “establecimiento” y por “división política y administrativa”, al aparecer empresas en rubros distintos a los que se desenvuelven en el primero (CORPESCA en Generación de Energía, por ejemplo) y al no concordar la carga másica total entre ellos. Además, al no presentarse caudales y concentraciones de cada una de las descargas emitidas por las distintas unidades del registro, no fue posible llevar a cabo un análisis detallado de estos flujos. Así, se realizó un análisis de la cuantificación y búsqueda de posibles agentes de potencial interés para la bahía.

De las cifras asociadas a metales y metaloides que son descargados de forma puntual en la comuna de Tocopilla, se destacó el considerable aporte de masa de aluminio, hierro y boro

[12] La energía en este caso es asociada a la magnitud del movimiento de las aguas.

a la bahía, cuyo origen proviene de la Central Térmica Tocopilla y la Central termoeléctrica Nueva Tocopilla, las que además cuentan con aportes menores de molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente. Respecto a los nutrientes presentes en las descargas, destacó la alta emisión de sulfatos, nitrógeno total Kjedahl y fósforo total, proveniente en mayor parte por las centrales termoeléctricas mencionadas anteriormente. Otro parámetro de interés fue la alta emisión de hidrocarburos totales a la bahía, con descargas de cientos o miles de toneladas al año.

Recientemente, el estudio "Diagnóstico ambiental de la bahía Mejillones del Sur", Código BIP 30126368, ha barajado la posibilidad de que el origen de los nutrientes y de otros compuestos presentes en las descargas de las termoeléctricas sea la calidad de agua marina que, a través de los procesos de succión, puede resuspender elementos depositados en el fondo marino, que son incorporados en las aguas de captación de las termoeléctricas, para luego ser eliminados nuevamente al medio marino.

Si bien los registros de calidad química de agua mostraron una calidad sin presencia de contaminantes en su fracción disuelta asociados a industria, más que la presencia de cobre en algunos sectores y tiempos puntuales, los registros del RETC dieron cuenta de vertimientos a la bahía de elementos asociados directamente al funcionamiento industrial, como lo son los parámetros de aluminio, hierro y boro, los cuales aparentemente son transportados fuera de la bahía debido a la estructura de corrientes presente, no teniendo mayores implicancias en el largo plazo. Sin embargo, si las descargas de masa se realizan en tiempos cortos con una concentración muy elevada, se puede esperar tener efectos agudos en el ecosistema.

Por otro lado, al observar los metales con mayor concentración presentes en los sedimentos a lo largo de la bahía (Arsénico, Cobre, Hierro y Zinc) y los metales y metaloides informados en el RETC, no se aprecia una correlación directa entre ambas componentes, por lo que el alto contenido de metales encontrado en sedimentos puede estar asociado a una sinergia entre pasivos ambientales de industria que tuvo un funcionamiento importante en la bahía, industria que no declara sus emisiones al RETC e industria que declara sus emisiones.

En cuanto al diagnóstico ambiental, se adoptó el enfoque Eco-DIPSIR, el cual es un sistema de pensamiento que supone relaciones causa-efecto entre componentes interactuantes de sistemas ambientales, económicos y sociales, definiéndose cinco categorías: Fuerzas Motrices, Presiones, Estados, Impactos y Respuestas.

Como fuerzas motrices económicas más importantes se detectaron las actividades industriales, destacando las termoeléctricas, sector minero, sector portuario y gestión de residuos. En cuanto a las presiones, se identificaron las presiones correspondientes a descargas puntuales y difusas de elementos potencialmente contaminantes como resultado de la operación de las industrias, operación portuaria y descarga de aguas residuales; donde los mayores ingresos de metales y metaloides corresponden a aluminio y hierro para el periodo 2011-2016, cargas másicas que corresponden a la Central Térmica Tocopilla.

Además, se presentan en menor proporción descargas de boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente en la columna de agua. También se identificaron presiones asociadas a pasivos ambientales, vertederos de cenizales, piques y depósitos mineros, entre otros, los cuales tienen un potencial impacto debido a la vulnerabilidad aluvional de la zona.

Luego, en el estado del medio ambiente natural se detectó la presencia de un alto contenido de metales en sedimento en la bahía, con una mayor concentración entre los sectores de Caleta Duendes y descarga NORGENER, además del sector LIPESED, los cuales podrían representar un impacto en los componentes biológicos de la bahía.

Respecto a la situación de salud de la población de Tocopilla, no se detectó un riesgo crónico por consumo de alimentos con alto contenido de metales en los habitantes. Sin embargo, se detectó un riesgo de cáncer de piel debido al consumo de arsénico en alimentos Los impactos asociados a los cambios en la calidad y funcionamiento del ecosistema son una degradación en el bienestar de la población, influyendo la producción de bienes y servicios por parte del ecosistema, además de contar con un posible deterioro en la salud de la comunidad a largo plazo. Las respuestas propuestas fueron: revisar las distintas componentes observadas a nivel de fuerzas motrices, presiones, estado e impacto en la bahía, generando una buena relación al tomar en cuenta las percepciones e intereses de los actores. involucrados en la bahía, comunidad, servicios públicos y privados.

4.5 Objetivo Específico 5 (OE-5)

OE-5: Elaborar una cartera de proyectos que permita abordar las eventuales problemáticas ambientales que el estudio detecte

Términos de Referencia "Generación de información ambiental de Bahía Algodonales"

4.5.1 Antecedentes generales y justificación

4.5.1.1 Diagnóstico del problema

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. En esta última provincia, se encuentra la comuna de Tocopilla en la cual se ubica la Bahía Algodonales (22° 05' 46''S; 70° 13' 50'' W) específicamente entre la Roca Blanca (Caleta Duende) y la Península Algodonales.

La Bahía Algodonales constituye uno de los mayores recursos de la comuna ya que posibilita el desarrollo de sus principales actividades económicas y productivas, como la generación termoeléctrica, el puerto Tocopilla, la pesca artesanal, servicios sanitarios, además del desarrollo de actividades recreativas por parte de la comunidad.

Es así como en el área de influencia de la Bahía, se encuentra la Central Termoeléctrica Norgener que produce 275,3 MW con las unidades NTO1 y NTO2, mientras que ENGIE, mediante la Central Termoeléctrica Tocopilla, produce 1747,03 MW con las unidades TG1, TG2, TG3, TG3_CP, TG3_CP2, U10, U11, U14, U15, U16, U16_CP y U16_CP2. Considerando ambas producciones, las unidades instaladas producen un total de 2022,33 MW, correspondiendo a un 28,3% de los 7146,993 MW instalados en el SING (Sistema Interconectado del Norte Grande). Cabe señalar, sin embargo, que como parte del Plan "Energía Zero Carbón" en 2019 se termina con la operación 2 centrales a carbón, Tocopilla U12 y Tocopilla U13, ambas de la empresa Engie. Para 2024, se contempla además el cierre de las centrales Tocopilla U14 y Tocopilla U15, también propiedades de Engie.

El Puerto de Tocopilla, en tanto, construido en 1987 como una unidad de apoyo a la generación eléctrica de la empresa Electroandina, se ha desarrollado de tal manera que se ha transformado en una unidad de negocio que ofrece servicios integrales de estiba y desestiba, recepción, almacenamiento y despacho de graneles sólidos, graneles líquidos y cargas generales. Actualmente posee un muelle mecanizado y un sistema de correas transportadoras de 1.500 metros de longitud, con tolvas de recepción, torres de transmisión y una red de cañerías para la transferencia de combustibles, ácido sulfúrico y químicos1.

[1] Sistema Portuario de Chile, 2005. Dirección Nacional de Obras Portuarias. Ministerio de Obras Públicas.

Por otra parte, la pesca artesanal se desarrolla de manera extendida en el área de influencia de la Bahía, siendo las especies explotadas más representativas el bilagay, cabrilla común, congrio, rollizo, blanquillo, o pejeperro. Dada la importancia de este sector, existen 14 asociaciones sindicales y gremiales que agrupan a cerca de 400 trabajadores (buzos mariscadores y pescadores artesanales). Dentro de ellas se encuentran S.T.I. Pescadores Artesanales de Tocopilla, S.T.I. Caleta Urco, S.T.I Caleta Cobija, S.T.I. Caleta Buena, S.T.I. Punta Átala y la Asociación Gremial Asopesca Tocopilla A.G. la cual agrupa a 8 Sindicatos (Buzomar, Pezmaral, Sinbuymar, Indígena, Punta Arenas, Los Patos, Huachan y Gentemar).

Finalmente, respecto de los servicios sanitarios, el sistema de alcantarillado de la ciudad de Tocopilla contempla la disposición final de aguas servidas mediante un emisario submarino ubicado en la Bahía Algodonales.

Dado el desarrollo de estas actividades es posible estimar que existe un riesgo latente de contaminación de la Bahía Algodonales, lo cual impactaría en su sustentabilidad futura y, por tanto, en la sostenibilidad económica y social de la comuna. Sin embargo, hasta 2018 se contaba con escasa e insuficiente información sobre la calidad ambiental de esta bahía. La Armada dispone de información meteorológica, mediante una estación meteorológica en capitanía de puerto. Existe también una red de monitoreo mediante el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), que obtiene información en las matrices de agua, sedimento y biota desde Caleta Duendes hasta Punta Algodonales. También se realiza levantamiento de información a través de PVA de Norgener y Engie, la que, sin embargo, presenta sesgo de datos, en términos espaciales, en zonas aledañas a instalaciones industriales.

Dado lo anterior, la Seremi del Medio Ambiente estimó necesario contar con información sistemática y científica de la calidad de las matrices ambientales (columna de agua, biota y sedimentos marinos) de forma tal de contar con información que permitiese evaluar el impacto ambiental de la Bahía. Es así, como se desarrolla el estudio "Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla", Código BIP 30130937-0.

A través de este estudio, se realiza una caracterización ambiental del ecosistema marino de la bahía a partir de la revisión de antecedentes bibliográficos de carácter científico y técnico y de bases de datos de gestión pública y privada, lo cual permitió el levantamiento de información de aguas, sedimentos de fondo y de la biota existente en la bahía.

A partir de los resultados obtenidos a la fecha con dicho estudio, es posible señalar que en general en la columna de agua los metales en general están se presentan en bajas concentraciones, incluso bajo los límites de detección. Por el contrario, en sedimentos y biota se encontraron metales que presentaron una tendencia a la disminución hasta no ser significativas en los registros más contemporáneos en términos normativos, sin embargo, las componentes arsénico y cobre registraron un alto porcentaje de excedencia en términos

de los umbrales máximos registrados en las normativas comparadas para los sedimentos, y las componentes arsénico, cadmio y cobre superaron al menos en una, las referencias nacionales e internacionales, incluyendo los 3 últimos años de muestreo. De los resultados de las campañas de monitoreo realizadas durante el estudio, se destaca la obtención de altas concentraciones de vanadio, molibdeno, arsénico, zinc y hierro en la columna de agua, mientras que en los sedimentos se registraron altas concentraciones de fierro, cobre, molibdeno, arsénico y vanadio.

Por otra parte, respecto de la calidad de vida de los habitantes, se observa un perfil de vulnerabilidad dados los riesgos presentes para la salud de las personas. Lo anterior, debido a la presencia de varias fuentes de contaminación que impactan la población, asociada a un uso del territorio en el que las distintas actividades se entremezclan con las zonas residenciales.

Debido al riesgo existente y tras la información recopilada, se hace necesario el desarrollo de un programa que permita instalar en la comuna capital humano y social además de infraestructura que posibilite la generación de información continua y oportuna sobre el estado ambiental de la Bahía y los riesgos provocados por las fuentes contaminantes presentes. Lo anterior, facilitará la toma de decisiones públicas y privadas en ámbitos sociales, económicos y productivos, de forma de tal de asegurar la sustentabilidad de la Bahía, la calidad de vida de los habitantes de Tocopilla y la sostenibilidad de las actividades que se desarrollan gracias a este recurso.

4.5.1.2 Políticas sectoriales generales y/o específicas, marco institucional y planes regionales de gobierno

- 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 expresa como un desafío primordial superar el estado de zona saturada por contaminación en que se encuentra actualmente Tocopilla. Es así como dentro de sus lineamientos estratégicos se incluye el "Lineamiento Nº3: 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 para ambas acciones ya definidas.

- Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030: los objetivos estratégicos de este instrumento 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. Nº90/00, "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.

4.5.1.3 Análisis y/o referencia de la información bibliográfica

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

Dado el escaso conocimiento científico de la bahía, se inicia en 2018 el estudio "Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla" tras lo cual fue posible recopilar información histórica y en terreno de aguas, sedimentos de fondo y de la biota existente en 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 factores.

Así, del análisis en cuanto a las concentraciones normadas para metales en columna de agua en base a los cuerpos normativos estudiados se observó que, del total de registros históricos, los metales en sus fracciones disueltas presentaron bajas concentraciones, estando bajo los límites de detección, inclusive. Por otra parte, las tendencias históricas de las concentraciones promedio de los distintos metales y metaloides estudiados en la columna de agua, se observó tendencias a la disminución en el tiempo en las fracciones totales del cobre, cromo y zinc.

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

De la caracterización de metales en biota, se obtuvo que el arsénico y los metales cadmio, cobre, plomo y zinc presentaron periodos de tiempo en donde superaron, al menos una, de las referencias nacionales y/o internacionales, donde las componentes arsénicas, cadmio y cobre, han sostenido este comportamiento en el tiempo, incluyendo los últimos 3 años de

muestreo. En el caso de los metales cromo, mercurio, plomo y zinc se registraron valores altos entre los años 1993 y 2001, con la salvedad que en los últimos años de monitoreo los valores de concentraciones fueron menores a los límites establecidos por las referencias respectivas para cada metal.

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

De los resultados de calidad química en las matrices de agua y sedimentos del monitoreo integrado llevado a cabo, en las campañas de 2018, 2019 y 2020, en el agua no se presentaron valores de pH, redox ni de oxígeno disuelto que dieran cuenta de una degradación en las condiciones ambientales de la bahía, mientras que los registros de temperatura variaron de acuerdo con la estacionalidad climática. Respecto a los metales, las mayores concentraciones correspondieron a cobre durante el año 2019. Por otro lado, en los sedimentos se observaron altas concentraciones de hierro, cobre, molibdeno, arsénico, vanadio, selenio y zinc. En cuanto a los resultados de biota, se observó variaciones estacionales en el análisis cualitativo y cuantitativo del fito, ictio y zooplancton, además de una diferenciación espacial de la composición de taxas al haber, por ejemplo, una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios en el extremo sur y una mayor proporción de larvas de bivalvos y poliquetos de meroplancton en el extremo norte del área de estudio.

4.5.1.4 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 y la Secretaría Regional Ministerial de Salud.

Adicionalmente, son potenciales usuarios aquellos actores que requieren de información para el desarrollo de planes y acciones públicas como el Gobierno Regional de Antofagasta y la Ilustre Municipalidad de Tocopilla.

Respecto de los actores privados, se encuentran todos aquellos cuyo quehacer se vincula directa o indirectamente con la Bahía, como pescadores, Asociaciones gremiales de

pescadores artesanales y sus sindicatos, Organizaciones No Gubernamentales y Universidades. Asimismo, a toda la comunidad que se encuentre interesada en la temática ambiental.

4.5.1.5 Instituciones que serán contraparte técnica del programa

La contraparte técnica de este programa será la Seremi del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta.

4.5.2 Términos de referencia

4.5.2.1 Identificación y definición del problema

La Bahía Algodonales es un recurso esencial para la comuna de Tocopilla, ya que posibilita el desarrollo de las principales actividades productivas del territorio. Sin embargo, como consecuencia de este uso industrial, la bahía presenta actualmente diversos problemas de contaminación. De acuerdo al diagnóstico ambiental de la región efectuado para cada Área de Ordenamiento Ecológico (AOE), contenido en el Plan de Acción Regional Ambiental (P.A.R.A), se identifican cuatro actividades que generan contaminación en Algodonales: la minería, la generación termoeléctrica, reducción de recursos pesqueros y descargas de aguas sanitarias (ESSAN S.A.)[2]. En este sentido, por ejemplo, en la comuna de Tocopilla se encuentra instalada parte importante de la infraestructura termoeléctrica del SING. Un hito importante, sin embargo, lo constituye el cierre de 2 centrales a carbón de la empresa Engie en 2019 mediante el plan de descarbonización vigente.

El conocimiento científico y técnico sobre la bahía es escaso e insuficiente. Hasta 2018 las fuentes de información estaban dadas principalmente por el POAL y las empresas termoeléctricas del territorio a través de sus PVA. Esta información, sin embargo, presenta deficiencias en términos de espacio y tiempo, ya que existen sectores como Caleta Vieja y Punta Duendes donde el vacío de datos impide generar tendencias históricas. Posteriormente, y tras el estudio realizado “Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla” fue posible sistematizar la información histórica disponible e incrementar en dos temporadas la base de datos disponible. Es así como se advierte que en la columna de agua la concentración de metales disueltos en general es baja, estando incluso bajo los límites de detección, a excepción de eventos de presencia de cobre disuelto en la bahía. Por el contrario, del total de registros de metales en sedimentos, el arsénico, cobre, hierro y zinc presentaron valores sobre los niveles de referencia utilizados. De la caracterización de metales en biota, en tanto, se obtuvo que el arsénico, cobre, selenio y zinc presentaron periodos de tiempo en donde superaron al menos una de las referencias nacionales e internacionales.

Respecto de las emisiones en Bahía Algodonales, la actividad de las empresas termoeléctricas ha descargado cantidades importantes de elementos metálicos y sólidos suspendidos entre 2005 y 2016. Sin embargo, no todos estos elementos se asocian a sus

[2] Consultoría sobre el Estado del Medio Ambiente Marino de Chile. Directemar, 2010.

procesos, por lo cual resulta necesario analizar y contrastar esta información con estudios adicionales.

Los resultados obtenidos, dejan de manifiesto un escenario de amenaza para la sustentabilidad de la bahía. Por ejemplo, los altos concentraciones encontradas de cobre, arsénico y zinc conllevan un riesgo para la biota marina de la bahía. Dicho escenario, constituye no sólo un problema ambiental, sino que también social, ya que es consecuencia de las actividades productivas que sustentan parte de la sostenibilidad económica del territorio además de generar riesgos de salud pública debido a la ingesta de alimentos. Es así que el problema central identificado, se define como “Vulnerabilidad socio-ambiental para los habitantes de la comuna de Tocopilla”. El efecto final de este problema es una disminución de la sostenibilidad productiva, económica y social del territorio, afectando directamente la calidad de vida de sus habitantes.

Este problema, se origina a partir de tres líneas causales:

- El desarrollo de las actividades productivas, que generan pasivos ambientales que finalmente deterioran el componente marino de la Bahía.
- Escasa información para la toma de decisiones, en particular aquellas asociadas al impacto ambiental. Producto de ello, las intervenciones realizadas en el medio marino no consideran el funcionamiento de la bahía y cómo ésta se ve afectada por las presiones pasivas generadas por las distintas actividades antrópicas que se llevan a cabo en la Bahía.
- La alta concentración de metales pesados, ocasionada por la acumulación de remanentes en sedimentos marinos dado el uso histórico de actividades como la minería y las características naturales de la Bahía.

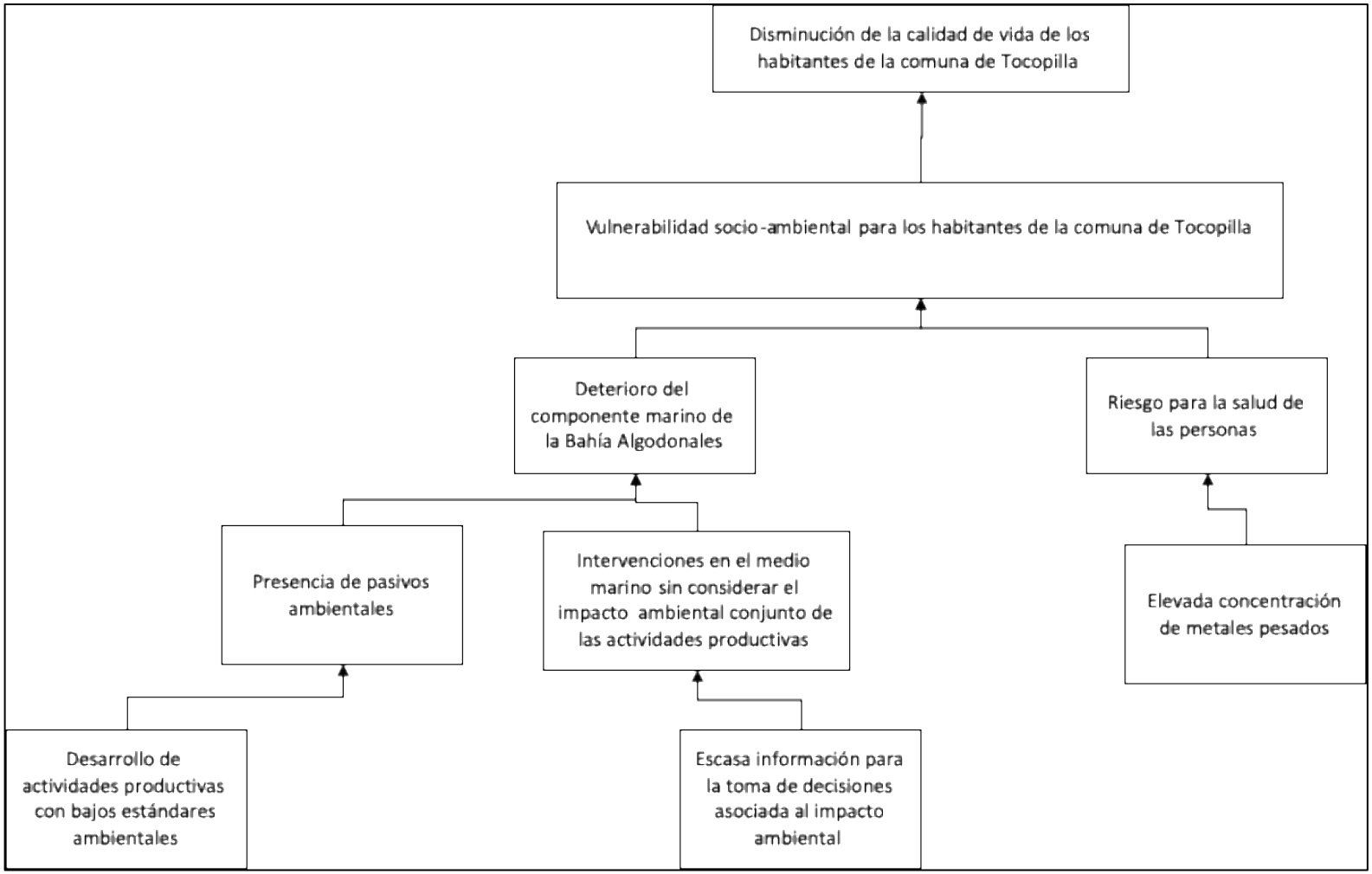


Figura 4.5-1: Árbol de problemas – Bahía Algodonales. **Fuente:** Elaboración propia en base a diagnóstico.

En función de este árbol de problemas, el árbol de objetivos corresponde a:

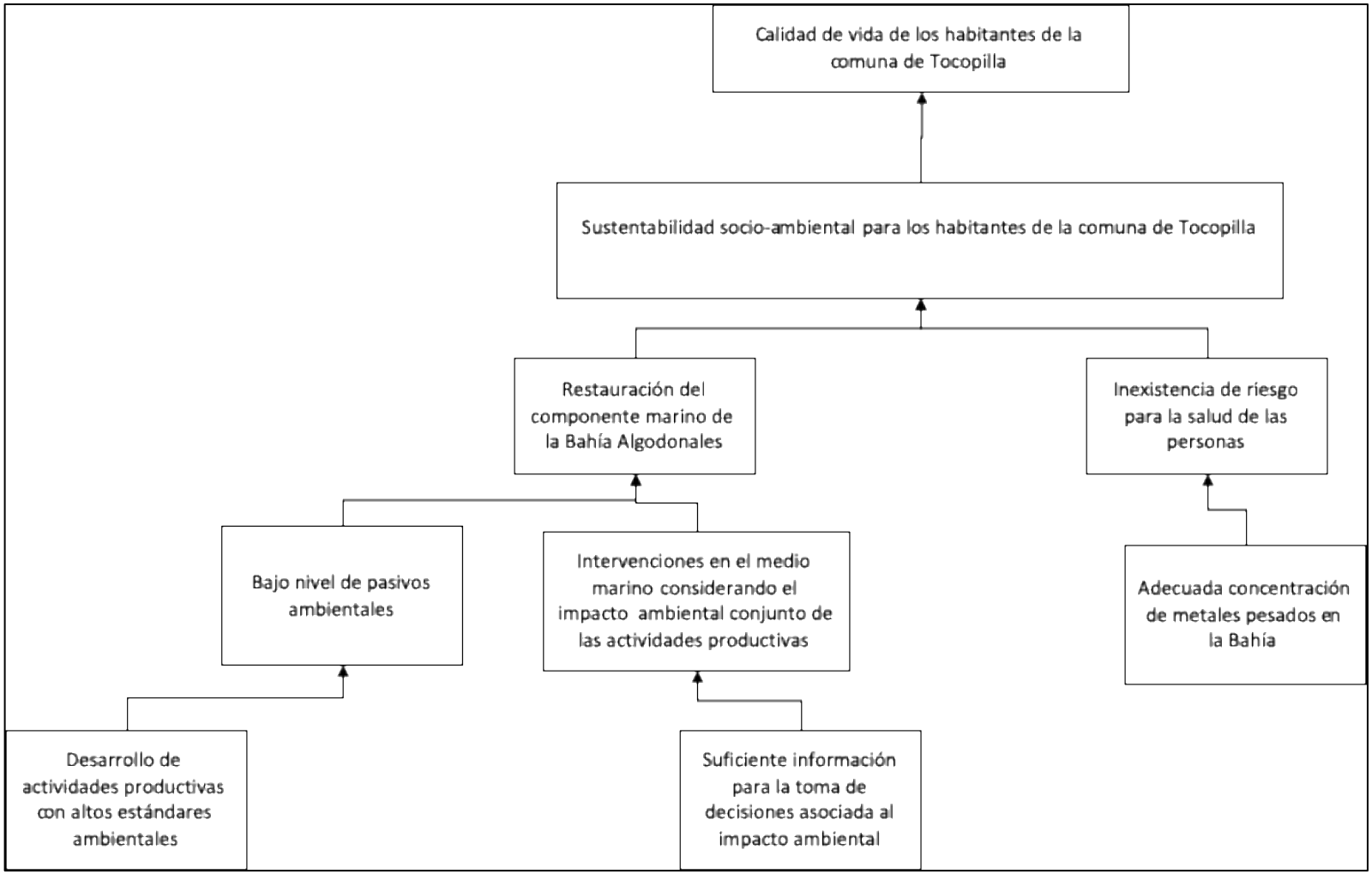


Figura 4.5-2: Árbol de objetivos – Bahía Algodonales. **Fuente:** Elaboración propia en base a árbol de problemas.

En función de los objetivos definidos, las posibles soluciones a la problemática identificada son las siguientes:

Tabla 4.5-1: Alternativas de solución.

Causa	Alternativa de solución
Desarrollo de actividades productivas considerando estándares ambientales.	Generación de normas secundarias o estándares ambientales para la industria minera, termoeléctrica, pesquera y sanitaria. Sensibilización de actores productivos.
Elevada concentración de metales pesados producto de la actividad minera	Generación de normas secundarias o estándares ambientales para la industria minera.
Escasa información para la toma de decisiones.	Generación de sistema de detección y control de impactos ambientales.

Fuente: Elaboración propia en base a árbol de problemas y objetivos.

4.5.2.2 Objetivos

4.5.2.2.1 Objetivo general

Generar información oportuna y de calidad temporal y espacial respecto de la condición ambiental de la Bahía Algodonales, a través de la instalación de herramientas, capacidades y capital social que favorezcan la sustentabilidad socioambiental de la bahía y los habitantes de la comuna de Tocopilla.

4.5.2.2.2 Objetivos específicos

- OE1. Realizar un monitoreo integrado de la bahía que permita conocer de forma permanente y oportuna el funcionamiento ambiental de la bahía.
- OE2. Realizar un estudio de riesgo ecológico de la bahía.
- OE3. Generar información base que permita la elaboración de normas secundarias o estándares ambientales para la bahía.
- OE4. Promover el desarrollo de capital social en la comuna, en torno al valor de la bahía para el territorio y sus habitantes.

4.5.2.3 Localización geográfica y cobertura del estudio

La zona que comprende el estudio se localiza en la Región de Antofagasta, comuna de Tocopilla y corresponde a la bahía Algodonales (entre Punta Algodonales y Caleta Duende) y su entorno. Por el norte, desde Caleta vieja (22°02'54,86"5 - 70°11'43,84" W) hasta el sector de Lipesed por el sur (22°07'29,57"5 - 70°13'10,29" W).

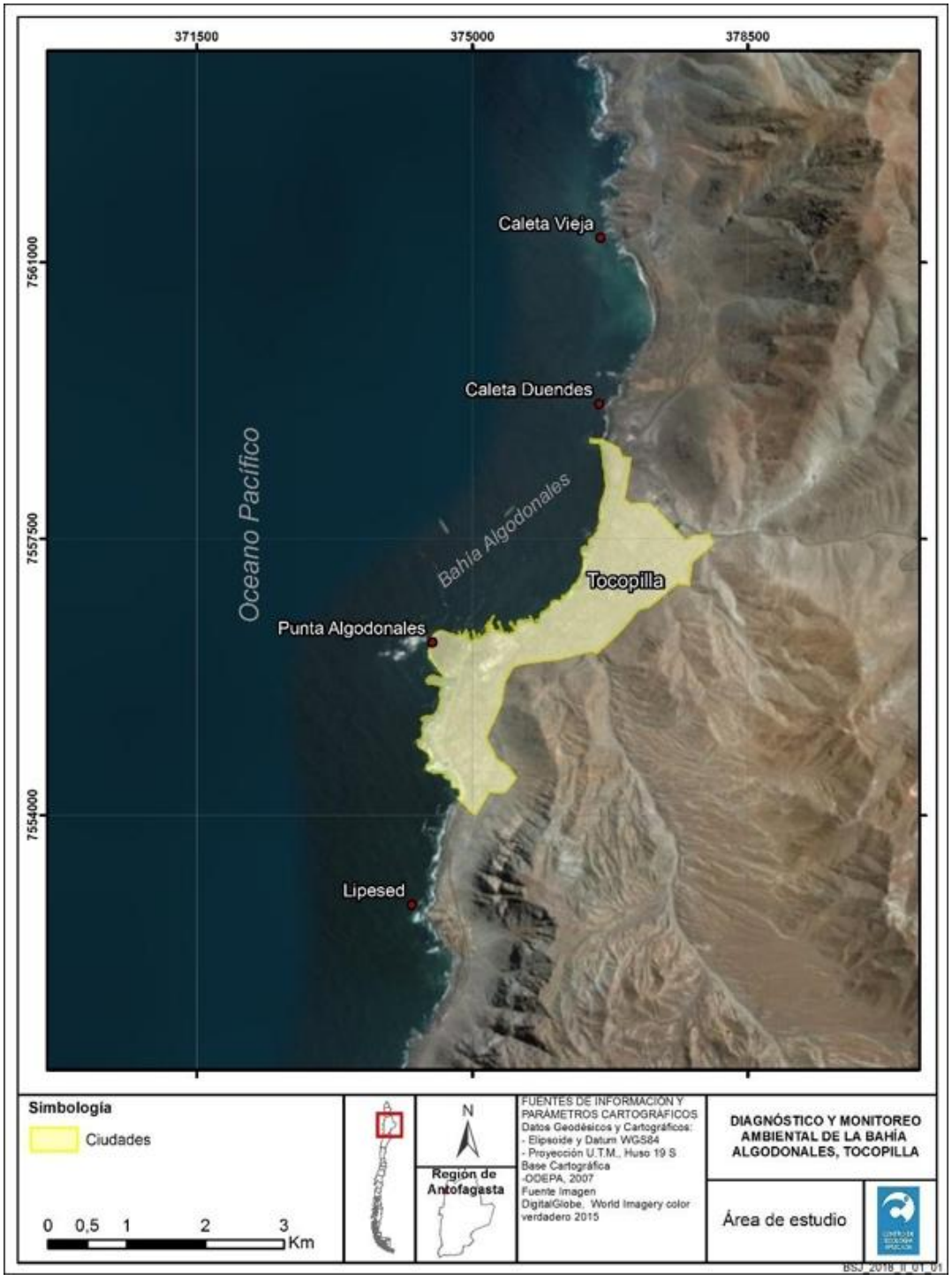


Figura 4.5-3: Ubicación geográfica de la Bahía Algodonales, Tocopilla, Región de Antofagasta.

4.5.2.4 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 de agua: profundidad, sólidos suspendidos, temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, turbidez, arsénico, amonio, grasas y aceites, hidrocarburos totales, nitratos, zinc, coliformes fecales y totales, cadmio, cobre, DBO5, fósforo total, hidrocarburos alifáticos totales, clorofila, hierro, mercurio, plomo, vanadio, cromo, níquel, manganeso, molibdeno, selenio.
- Sedimentos: hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos totales, arsénico, cobre, cromo, mercurio, plomo, vanadio, hidrocarburos alifáticos totales, molibdeno, manganeso, níquel, zinc, cadmio, hierro, selenio, pH, RedOx, materia orgánica total.
- Biota: índices comunitarios y ecológicos (similitud, diversidad, uniformidad y otros) riqueza específica, biomasa, cobertura, abundancia, antraceno, fenantreno, naftaleno, mercurio, molibdeno, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, arsénico, vanadio, selenio, cromo y cadmio.
- Evaluación de bioacumulación de metales pesados en las especies presentes en la zona de estudio, en especial sobre los recursos hidrobiológicos.

4.5.2.5 Identificación y descripción de metodología y actividades que considera el programa

Para cada objetivo específico definido, se establecen las siguientes actividades:

Objetivo específico 1: Realizar un monitoreo integrado de la bahía que permita conocer de forma permanente y oportuna el funcionamiento ambiental de la bahía.

- **Actividad 1.1. Implementación de red de seguimiento de los contaminantes presentes en la bahía:** Para efectos de este programa, se entenderá como red de seguimiento a un "*proceso de monitoreo permanente de la bahía, subcontratado a una entidad certificada y ejecutado mediante campañas semestrales de medición, cuyos resultados sistematizados son 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.

Matriz	Parámetros	
	Físico - químicos	**Ecológicos**
Columna de agua	Profundidad, sólidos suspendidos, temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, turbidez, arsénico, amonio, grasas y aceites, hidrocarburos totales, nitratos, zinc, coliformes fecales y totales, cadmio, cobre, DBO5, fósforo total, hidrocarburos alifáticos totales, clorofila, hierro, mercurio, plomo, vanadio, cromo, níquel, manganeso, molibdeno, selenio. Total = 29 parámetros	N/A
Sedimentos	Hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos totales, arsénico, cobre, cromo, mercurio, plomo, vanadio, hidrocarburos alifáticos totales, molibdeno, manganeso, níquel, zinc, cadmio, hierro, selenio, pH, RedOx, materia orgánica total. Total = 19 parámetros	N/A
Biota	Antraceno, fenantreno, naftaleno, mercurio, molibdeno, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, arsénico, vanadio, selenio, cromo y cadmio Total = 15 parámetros	Índices comunitarios y ecológicos (similitud, diversidad, uniformidad y otros) riqueza específica, biomasa, cobertura, abundancia. Total = 7 parámetros

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, en términos de la generación de pasivos ambientales que se depositen en la bahía.

Se espera la realización de al menos 1 campaña semestral de medición, durante el período de duración del programa. El muestreo realizado deberá estar acorde al Reglamento ETFA.

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 "Diagnóstico Ambiental en Bahía Algodonales, Antofagasta".

- **Actividad 1.2. 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 las reuniones de coordinación de la gobernanza, descritas en las actividades del OE5. Los costos de estas reuniones (arriendo de sala, café, materiales fungibles, arriendo de equipos audiovisuales y otros) serán de cargo del estudio. Las citaciones 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 muestreos, 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.
  - Bibliografía.
  - Anexos.

- **Actividad 1.3. Transferencia de capacidades técnicas de monitoreo:** Se deberá realizar un ciclo de capacitaciones a la comunidad, de manera tal que les permita conocer no solo la operatividad de la red implementada, sino también la utilidad e interpretación de los resultados.

Esta capacitación será de carácter teórico práctico y se estructurará en al menos 1 taller bimestral durante los primeros 6 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 60 personas capacitadas al término del ciclo. El perfil de los participantes debe incluir a representantes de los usuarios directos e indirectos de la información, de modo que se utilizada como base para el desarrollo de acciones concretas.

Objetivo específico 2: Realizar un estudio de riesgo ecológico de la bahía.

Se debe realizar un estudio de riesgo ecológico en la bahía, evaluando la exposición y el efecto de los contaminantes presentes, orientado principalmente a aquellas zonas de la bahía Algodonales donde se detectó enriquecimiento de los sedimentos con metales pesados, las que corresponden a Caleta Duendes, Playa el Arenal, Playa el Salitre, Descarga Norgener y LIPESED, áreas donde se han desarrollado las principales actividades industriales de la bahía y cuya ubicación se encuentra inmersas en zonas altamente pobladas, colindantes a balnearios y sectores recreativos de la ciudad. Durante el período de ejecución de las actividades de este objetivo, se espera la realización de al menos 2 visitas en terreno.

- **Actividad 2.1. Definición de modelo conceptual:** se deberá definir un modelo conceptual, en base a las fuentes emisoras, tanto puntuales como difusas, presentes en el área de estudio y a los potenciales contaminantes relevantes asociados a ellas. Este modelo busca representar las relaciones entre la población y las entidades ecológicas, con los factores. estresantes a las que pueden estar expuestas. Cabe señalar que este modelo será validado por el Ministerio del Medio Ambiente. a través de oficio emitido por la Sección de Recursos Naturales, Residuos y Evaluación de Riesgo de la SEREMI del Medio Ambiente Antofagasta, basados en la metodología propuesta por la Agencia de Protección de EEUU(EPA).
- **Actividad 2.2. Identificación de peligro:** consiste en la determinación de los contaminantes que, atendiendo a sus propiedades intrínsecas, pueden suponer un riesgo para los receptores (se deberá utilizar como base la concentración de metales pesados obtenidos en el estudio “Diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía Algodonales, Tocopilla”).
- **Actividad 2.3. Evaluación de la exposición:** corresponde a la determinación de la "concentración ambiental esperada" (PEC). Esto busca establecer los mecanismos por los cuales los contaminantes pueden llegar a alcanzar a los receptores en los puntos de exposición, así como determinar los grupos de receptores potenciales, a

fin de valorar en qué medida están expuestos a los contaminantes. Se deberá considerar:

- ❖ A lo menos los registros de concentración de metales en tejido en biota del estudio "Diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía Algodonales, Tocopilla y la bioacumulación de metales en tejidos. En caso de ser necesario se deberá tomar muestras adicionales.

- **Actividad 2.4. Evaluación de efectos:** deberá realizarse mediante la Evaluación de la concentración sin efecto ecológico (PNEC, por sus siglas en inglés). El objetivo es determinar la concentración del xenobiótico presente en el ecosistema a modo de comprobar que no genera un efecto inaceptable sobre el sistema ecológico particular. Se deberá considerar:
  - ❖ La realización de experimentos de toxicidad (bioensayos) a modo de determinar los "end point" (umbrales) ecotoxícológícos, tanto agudos como crónicos: concentración letal media (CLSO), dosis letal medía (DLSO), concentración eficaz media (CESO), concentración de efecto no observable (NOEC, por sus siglas en inglés) y concentración mínima con efecto observable (LOEC, por sus siglas en inglés), de las especies locales de relevancia ecológica.
  - ❖ Análisis de marcadores biológicos, de efecto y exposición, como la actividad o la cantidad de sustancias inducidas por la presencia de contaminantes (ej. enzimas o proteínas que fijan los metales).

- **Actividad 2.5. Caracterización del riesgo:** Con la determinación de la PEC y la PHEC se deberá caracterizar el riesgo, a través, de la determinación del Cociente de Riesgo (RQ) con un enfoque probabilístico.

- **Actividad 2.6. Documentación y validación:** Los resultados finales de este estudio, deberán ser documentados y presentados en terreno a la contraparte técnica. Los costos de esta reunión (arriendo de sala, café, materiales fungibles, arriendo de equipos audiovisuales y otros) serán de cargo del estudio. La citación será realizada a través de la contraparte técnica. El informe final de este estudio deberá contener como mínimo:
  - ❖ Resumen ejecutivo
  - ❖ Índice de contenidos
  - ❖ Introducción
  - ❖ Antecedentes.
  - ❖ Objetivos.
  - ❖ Metodologías.
  - ❖ Resultados.
  - ❖ Conclusiones y recomendaciones.
  - ❖ Bibliografía.
  - ❖ Anexos digitales.

Objetivo Específico 3: Generar información base que permita la elaboración de normas secundarias o estándares ambientales.

- **Actividad 3.1. Búsqueda de antecedentes:** se recopilarán y sistematizarán antecedentes técnicos de Normas de Calidad Ambiental o Estándares Ambientales para protección de bahías a nivel nacional e internacional. Los antecedentes recopilados deberán incluir al menos parámetros, valores normados, indicadores y bioindicadores de calidad ambiental de agua y sedimentos; objetos de conservación; áreas de vigilancia u otras zonas definidas; mecanismos de validación, fiscalización y seguimiento.
- **Actividad 3.2. Análisis de servicios ecosistémicos de la bahía:** se deberá realizar un análisis de los servicios ecosistémicos que entrega la bahía, incorporando todos los elementos, desde, por ejemplo, la recreación turística, hasta el transporte de materiales y receptor de residuos industriales y sanitarios, elementos que serán discutidos y acordados previamente con la contraparte técnica del programa. Para ello, se utilizarán fuentes de información secundarias, proveídas tanto por la contraparte técnica, como otras adicionales que sean pertinentes
- **Actividad 3.3. Definición de parámetros objetivos para la protección o conservación del medio ambiente y preservación de la naturaleza:** Basado en la información recopilada y en el Estudio de Riesgo Ecológico desarrollado en el objetivo específico 2, se deberán proponer los parámetros de calidad ambiental que servirán para definir los límites normativos que permitan proteger, conservar o preservar el ecosistema.
- **Actividad 3.4. Determinación de áreas de vigilancia:** Conociendo las presiones antrópicas sobre el ecosistema, la calidad química de agua y sedimentos y actualizando la información de descargas de masa a la bahía desde el RETC, se deberán proponer las áreas de vigilancia en función de la estructura ecosistémica de la bahía, tanto por los servicios que entrega como ciertos sectores de especial interés que se quieran proteger o monitorear. Esta propuesta deberá contener los criterios de selección, objetivos y delimitación georreferenciada de cada área.
- **Actividad 3.5. Elaboración de tabla de clases de calidad ambiental:** En base al conocimiento del funcionamiento de la bahía obtenido con las actividades previas, se determinará a través de trabajo de gabinete una discretización de los límites normativos, que permitan categorizar "clases de calidad ambiental", a modo de conocer el estado del ecosistema según los parámetros que se midan en la bahía. Dichas clases serán de utilidad para definir los límites entre zonas libres de contaminación, zonas latentes y zonas saturadas. Para la elaboración de estas tablas deberán considerarse los lineamientos del Ministerio del Medio Ambiente establecidos en la “Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas 2017”.

Las tablas de clases de calidad ambiental deberán ser documentadas y visadas por la contraparte técnica.

- **Actividad 3.6. Evaluación del estado actual de la bahía:** en función de la información recopilada y las tablas de clases de calidad ambiental, se deberá determinar la condición actual de las áreas de vigilancia, realizando además una comparación con normativa nacional e internacional de referencia. Complementariamente, se definirá el escenario actual (sin norma) y escenarios futuros bajo distintos esquemas de cumplimiento y a partir de ello generar los insumos que permitan desarrollar los análisis económicos que correspondan a este instrumento ambiental.
- **Actividad 3.7. Preparación de insumos para el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de la norma secundaria:** se deberá realizar un diagnóstico socioeconómico del área de estudio a través de la recopilación y sistematización de información de las actividades económicas y productivas desarrolladas y proyectadas, además de información social e indicadores de la comuna de Tocopilla. Posteriormente, se realizará un Análisis de Costos y Beneficios mediante la identificación de impactos (positivos y negativos) económicos, sociales y ambientales, provocados por la eventual aplicación de la norma propuesta los que serán cuantificados y valorizados para estimar el Beneficio Social Neto de aplicación de la norma.
- **Actividad 3.8. Validación de la propuesta y documentación final:** La propuesta generada deberá ser documentada y traspasada a la gobernanza, para la futura elaboración de anteproyecto de norma, esto último se contempla como parte de los compromisos post programa. El informe final deberá ser previamente visado y sancionado con la contraparte técnica en terreno, conteniendo al menos los siguientes aspectos.

    - Resumen ejecutivo
    - Índice de contenidos
    - Introducción
    - Antecedentes y justificación.
    - Metodología.
    - Objetivo, ámbito de aplicación y alcance de la NSCA.
    - Identificación de las Áreas de Vigilancia, georeferenciación y representación espacial.
    - Tablas de Clases de Calidad, conteniendo los objetivos y criterios de cumplimiento por parámetros.
    - Propuesta de Niveles de Calidad Ambiental por Área de Vigilancia.
    - Propuesta de condiciones de cumplimiento y excedencias.
    - Propuesta de Programa de Vigilancia.
    - Propuesta de Informe de Calidad y mecanismo de difusión.
    - Diagnóstico socioeconómico del área de estudio.

- Análisis de costos y beneficios de aplicación de norma.
- Planillas Excel con valorización de beneficios y costos identificados.
- Discusión, conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía.
- Anexos (bases de datos, catálogo digital)

Objetivo Específico 4: Poner en valor la Bahía Algodonales, promoviendo el desarrollo de capital social en la comuna que favorezca su conservación y sustentabilidad.

- **Actividad 4.1. Conformación y operación de gobernanza.** Se generará una gobernanza del programa que facilite la creación de capital social en torno a la problemática ambiental e importancia social de la bahía. Esta gobernanza deberá ser conformada de manera tal, que su funcionamiento continúe una vez finalizado este programa de forma de dar continuidad a las acciones implementadas. 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 4.5.4.1
  - 1 taller de inducción, el cual deberá contar con al menos un representante de los stakeholders convocados.
  - Definición conjunta entre los actores, de mecanismos de operación de la gobernanza.
  - 1 reunión semestral para seguimiento de actividades realizadas, resultados y planificación del período siguiente. Estas reuniones deberán ser convocadas con al menos 2 semanas de anticipación o según lo acordado en los mecanismos de operación. Por cada reunión deberá generarse un acta de acuerdos, firmada por todos los asistentes, que permita el seguimiento y monitoreo de los compromisos adquiridos y de la ejecución del programa propiamente tal.
  - Se debe considerar como parte de los acuerdos de la gobernanza, la designación a la(s) institución(es) que estará(n) a cargo de la operación permanente de la red, para lo cual se deberá establecer y documentar una matriz de asignación de responsabilidades indicando en detalle los compromisos de corto y mediano plazo para cada institución.
- **Actividad 4.2. 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.

- **Actividad 4.3. Realización de actividades de capacitación:** Se deberá realizar un ciclo de capacitación a la comunidad escolar de la comuna, en particular, niños y jóvenes de 5 a 19 años de edad. 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. Asimismo, se debe considerar la coordinación y autorización previa con el respectivo establecimiento educacional.

  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.

- **Actividad 4.4. Desarrollo de herramientas educativas y de difusión de la problemática ambiental:** Para generar conciencia y conocimiento de la bahía tanto en los usuarios directos como en toda la comunidad, se debe considerar:

  - ❖ Difusión en redes sociales, incluyendo al menos Facebook e Instagram, en la cual se conformarán comunidades virtuales a las cuales 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.
  - ❖ Desarrollo de sitio Web, compatible con computadores, teléfonos móviles y Tablet, que permita difundir las actividades realizadas además de entregar información sobre el desarrollo del programa.
  - ❖ 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.

4.5.2.6 Identificación de resultados y/o productos esperados

- 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 la comunidad.
- 3 ciclos de capacitación ejecutados. 40 personas capacitadas y con competencias para interpretar los resultados obtenidos por la red de seguimiento de contaminantes.
- 1 Estudio de Riesgo Ecológico, documentado y visado por contraparte técnica que contenga al menos la formulación del problema, un análisis del riesgo ecológico y una caracterización del riesgo.
- 1 documento con mapa conceptual de los servicios ecosistémicos de la bahía.
- 1 documento con propuesta de anteproyecto de normas secundarias o estándares ambientales.
- 1 documento con insumos para el AGIES de norma.
- 1 documento con listado de parámetros de calidad ambiental que se utilizarán como límites normativos.
- 1 documento con la definición de áreas de vigilancia en función de la estructura ecosistémica.
- 1 documento con límites normativos y clases de calidad ambiental.
- 1 documento con evaluación de la condición actual de las áreas de vigilancia definidas para la bahía.
- 1 reunión de inducción para conformación de gobernanza.
- Al menos 5 instituciones u organizaciones participando de forma activa de la gobernanza.
- Al menos 1 reunión semestral de coordinación de gobernanza realizada. 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.
- 4 talleres (2 talleres por año) de capacitación a niños, niñas y jóvenes realizados.
- Al menos 974 niñas, niños y jóvenes conocen la problemática ambiental tras participar en las capacitaciones realizadas.
- 1 sitio web multidispositivo funcionando.
- Implementación de páginas corporativas del programa en Facebook e Instagram.

- Al menos 6 infografías (3 anuales) del programa distribuidas a través de sitio web, Facebook e Instagram.
- Al menos 4 videos de 7 minutos de duración con detalle de la problemática e importancia de la bahía, distribuido a través de sitio web, Facebook e Instagram.

4.5.2.7 Equipo de Trabajo

El equipo de trabajo deberá estar conformado por:

Cargo	Funciones	Porcentaje de dedicación al programa
1 Jefe de proyecto	Ingeniero, Biólogo o similar. Profesional a cargo de la dirección técnica y científica del programa. Será responsable de la calidad de los datos obtenidos, la interpretación de los resultados y del cumplimiento de los productos solicitados. Asimismo, deberá definir acciones correctivas en caso necesario, asegurando el cumplimiento de hitos y objetivos del programa. Finalmente, estará a cargo de la presentación de informes técnicos y financieros en los plazos comprometidos.	35%
1 Profesional del área oceanográfica	Ingeniero Civil Hidráulico o similar. Estará a cargo de la implementación de la red de monitoreo, incluyendo instalación y puesta en marcha de equipos, pruebas de uso y generación de informes.	100%
1 Profesional del área ecológica	Ingeniero ambiental, biólogo marino o similar. Estará a cargo del estudio de impacto ecológico y del análisis de la componente biólogica del monitoreo	100%
2 Técnicos	Ingenieros de ejecución, técnicos o similar. Estarán a cargo de la ejecución de actividades en terreno y aquellas requeridas por los profesionales a cargo, incluida la toma de muestras, análisis de datos, entre otros.	100%
1 Profesional del área social	Sociólogo o similar. Estará a cargo de las actividades de difusión y capacitación a la comunidad, además de apoyar la conformación de capital social en la comuna.	100%
1 Coordinador regional	Ingeniero, biólogo, ecólogo, ingeniero o similar con presencia permanente en la región de Antofagasta, durante toda la duración del programa. Realizará coordinación directa con los interesados del programa así como con la contraparte técnica de la Seremi. Asimismo, apoyará la búsqueda, sistematización y análisis de información primaria y secundaria, la elaboración de informes técnicos y en general, la coordinación global del programa.	100%
1 Técnico administrativo	Ingeniero de ejecución o técnico en administración. Su función será el control y monitoreo financiero y contable del proyecto, además de la preparación y sistematización de informes y rendiciones comprometidas.	30%

4.5.2.8 Cronograma de actividades

El cronograma estimado para cada actividad, es el siguiente:

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	1.1. Implementación de red de seguimiento de los contaminantes presentes en la Bahía.																								
1	1.2. Presentación de resultados de monitoreo.																								
1	1.3. Transferencia de capacidades técnicas de monitoreo.																								
2	2.1. Definición de modelo conceptual.																								
2	2.2. Identificación de peligro.																								
2	2.3. Evaluación de la exposición.																								
2	2.4. Evaluación de efectos.																								
2	2.5. Caracterización del riesgo.																								
2	2.6. Documentación y validación.																								
3	3.1. Búsqueda de antecedentes.																								
3	3.2. Análisis de servicios ecosistémicos en bahía																								
3	3.3. Definición de parámetros objetivos para la protección o conservación del mdio ambienta y/o preservación de la naturaleza																								
3	3.4. Determinación de áreas de vigilancia																								
3	3.5 Elaboración de tabla de clases de calidad ambiental																								
3	3.6. Evaluación del estado actual de la bahía																								
3	3.7. Preparación de insumos para el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de la norma secundaria																								

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
3	3.8. Validación de la propuesta y documentación final.																								
4	4.1. Confomación y operación de gobernanza.																								
4	4.2. Realización de talleres, encuentros o conversatorios sobre la problemática ambiental.																								
4	4.3. Realización de actividades de capacitación.																								
4	4.4. Desarrollo de herramientas educativas y de difusión de la problemática ambiental.																								

4.5.2.9 Definición de informes

Informes	Contenido	Fecha
Plan de trabajo	• Informe con metodología de trabajo para la totalidad del programa, incluyendo la planificación detallada de la campaña de terreno; 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	• Detalle de variables ambientales a monitorear y frecuencias a distintas escalas espacio temporales. • Definición de proceso de medición y monitoreo. • Informe de primera campaña de medición de variables. • Informe de 3 capacitaciones realizadas para interpretación y operación de la red. • Estudio de riesgo ecológico. • 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	Ultimo día hábil del mes 06
Informe de avance 2	• Informe de segunda campaña de medición de variables. • Mapa conceptual de la bahía. • 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 gobernanza.	Último día hábil del mes 12

	• Informe y registro de puesta en marcha de sitio web y redes sociales. • Informe de ejecución de 2 encuentros, talleres o conversatorios de la problemática ambiental. • Informe de capacitación a niñas, niños y jóvenes. • 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 avance 3	• Informe de tercera campaña de medición de variables. • Informe y actas de reuniones de gobernanza. • Documento con insumos para AGIES. • 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 web y 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 18
Informe final	• Informe de cuarta campaña de medición de variables. • Informe y actas de reuniones de gobernanza. • 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 web y 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.	Último día hábil del mes 24

4.5.2.10 Identificación de mecanismos de difusión

La difusión del programa se realizará durante toda la ejecución del proyecto y comprende:

- Ejecución de ciclos de capacitaciones, tanto para usuarios directos de la información generada, como para la comunidad en general. Se contemplan así 3 ciclos a ejecutar durante los primeros 6 meses del programa, enfocada principalmente en la operación e interpretación de la red de monitoreo. Asimismo, se contemplan ciclos de capacitación semestral para niñas, niños y jóvenes en edad escolar durante toda la ejecución del programa.
- Ejecución de actividades de discusión y difusión de la problemática ambiental, dirigidas a la comunidad en general y desarrollada a través de talleres, encuentros o conversatorios dirigidos por un profesional del programa y realizados trimestralmente durante toda la ejecución del programa.
- Herramientas de difusión, en particular, sitio web y redes sociales, donde se establecerá un canal de comunicación directo con la comunidad de la Tocopilla y el país y a través de los cuales se proveerá de material didáctico en formato de infografías, videos y noticias que serán actualizadas mensualmente para dar a conocer la problemática de la bahía y las acciones realizadas con el programa.

4.5.2.11 Presupuesto

- Presupuesto por actividad

Actividad	Año 1	Año 2[3]	Total
1.1. Implementación de red de seguimiento de los contaminantes presentes en la Bahía.	47.337.500	45.500.250	92.837.750
1.2. Presentación de resultados de monitoreo.	850.000	875.500	1.725.500
1.3. Transferencia de capacidades técnicas de monitoreo.	5.606.250	0	5.606.250
2.1. Definición de modelo conceptual.	2.875.000	0	2.875.000
2.2. Identificación de peligro	2.875.000	0	2.875.000
2.3. Evaluación de la exposición.	3.881.250	0	3.881.250
2.4. Evaluación de efectos.	16.881.250	0	16.881.250
2.5. Caracterización del riesgo	2.875.000	0	2.875.000
2.6. Documentación y validación.	3.300.000	0	3.300.000
3.1. Búsqueda de antecedentes.	4.037.500	0	4.037.500
3.2. Análisis de servicios ecosistémicos de la bahía.	7.666.667	0	7.666.667
3.3. Definición de parámetros objetivos para la protección o conservación del medio ambiente y preservación de la naturaleza.	4.216.667	0	4.216.667
3.4. Determinación de áreas de vigilancia.	5.379.167	0	5.379.167
3.5. Elaboración de tabla de clases de calidad ambiental.	6.900.000	0	6.900.000
3.6. Evaluación del estado actual de la bahía.	7.437.500	0	7.437.500
3.7. Preparación de insumos para AGIES.	7.437.500	31.350.625	38.788.125
3.8. Validación de la propuesta y documentación final.	0	6.798.000	6.798.000
4.1. Confomación de gobernanza.	9.143.750	5.690.750	14.834.500
4.2. Realización de talleres, encuentros o conversatorios sobre la problemática ambiental.	11.425.000	14.600.250	26.025.250
4.3. Realización de actividades de capacitación.	3.525.000	4.660.750	8.185.750
4.4. Desarrollo de herramientas educativas y de difusión de la problemática ambiental.	13.825.000	22.557.000	36.382.000
Gestión general y administración del programa	52.255.000	53.822.650	106.077.650
Subtotal	**219.730.001**	**185.855.775**	**405.585.776**
Utilidad de consultora (10%)	21.973.000	18.585.578	40.558.578
Total general	**241.703.001**	**204.441.353**	**446.144.354**

[3] Los costos unitarios del año 2, consideran un reajuste de 3%.

- Presupuesto por cuenta

Cuenta	Unidad	Costo unitario ($)	Cantidad total	Total ($)
Recursos humanos				
Coordinador regional	mes	$ 2.500.000	24	$ 60.900.000
Jefe de proyecto	mes	$ 4.375.000	8,4	$ 37.301.250
Especialista marino o similar	mes	$ 2.875.000	18	$ 52.267.500
Ingeniero Hidráulico o similar	mes	$ 2.875.000	13	$ 37.892.500
Sociólogo	mes	$ 1.000.000	22	$ 22.360.000
Técnico administrativo	mes	$ 800.000	7,2	$ 5.846.400
Operación				
2 Técnicos muestreo	Campaña	$ 1.000.000	4	$ 4.060.000
Alimentación	Campaña	$ 375.000	4	$ 1.522.500
	dia	$ 37.500	92	$ 3.483.750
Arriendo Camioneta	Campaña	$ 812.500	4	$ 3.298.750
Arriendo de equipos	Campaña	$ 937.500	4	$ 3.806.250
Arriendo de salas: Incluye proyector y equipo de audio	dia	$ 187.500	4	$ 750.000
Arriendo de vehículo	dia	$ 93.750	36	$ 3.403.125
Arriendo embarcación	Campaña	$ 900.000	4	$ 3.654.000
Bioensayos	servicio	$ 13.000.000	1	$ 13.000.000
Combustible	Campaña	$ 250.000	4	$ 1.015.000
	dia	$ 62.500	36	$ 2.268.750
Estadía	Campaña	$ 312.500	4	$ 1.268.750
	persona	$ 50.000	45	$ 2.271.000
Laboratorio	Campaña	$ 7.500.000	4	$ 30.450.000
Material impreso para reuniones	set x taller	$ 250.000	8	$ 2.015.000
Materiales	Campaña	$ 300.000	4	$ 1.218.000
Materiales de oficina	anual	$ 1.000.000	2	$ 2.030.000
Servicio de café	dia	$ 268.750	12	$ 3.257.250
		$ 537.500	8	$ 4.364.500
Servicio de muestreo ETFA calidad química de agua y sedimentos	Campaña	$ 9.200.000	4	$ 37.352.000
Trabajo Especialista	mes	$ 2.875.000	1,1	$ 3.162.500
Traslado (avión) + taxi	Campaña	$ 500.000	4	$ 2.030.000
	persona	$ 300.000	59	$ 17.880.000
Gastos de difusión				
Charlas de difusión	Charla	$ 1.500.000	4	$ 6.090.000
Material impreso para reuniones	set x taller	$ 250.000	4	$ 1.015.000

Cuenta	Unidad	Costo unitario ($)	Cantidad total	Total ($)
		$ 500.000	8	$ 4.060.000
Publicista (RR.SS)	Servicio	$ 1.525.000	5	$ 7.716.500
Video Difusión	Video	$ 3.125.000	4	$ 12.687.500
Desarrollo y mantención de sitio web	mes	$ 1.600.000	6	$ 9.888.000
Subtotal				**$ 405.585.776**
Utilidad de consultora (10%)				$ 41.858.578
Total general				**$ 446.144.354**

4.5.3 Anexo cotizaciones

4.5.3.1 Cotización Bioensayos

11 de marzo de 2019

[BIOENSAYOS EN ESTUDIOS DE CONTAMINACIÓN MARINA]

PROPUESTA

1.- Bioensayos ecotoxicológicos.

Bioensayos de ecotoxicidad para evaluar la concentración sin efecto ecológico (PNEC)

Mediante esta actividad se determinará y evaluará la presencia y concentración de xenobióticos presentes en el ecosistema en estudio para comprobar que no genera un efecto inaceptable sobre un sistema ecológico 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.

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.

Los bioensayos se desarrollarán con los sedimentos entregados, y con 6 contaminantes (sales), los cuales serán obtenidos a partir del análisis crítico de la información recopilada.

La siguiente Tabla muestra los bioensayos y cantidad a realizar.

Bioensayos de toxicidad crónica (subletal) con determinación de CE50 y/o NOEC y LOEC, en las 6 sales		
Especie	Efecto evaluado	Duración del ensayo
Isochrysis galbana (fitoplancton)	Inhibición de crecimiento poblacional	5 días
Dunaliella tertiolecta (fitoplacnton)	Inhibición de crecimiento poblacional	5 días
Macrocystis pyrifera (macroalga)	Inhibición de germinación de esporas	3 días
Emerita análoga (crustáceo, infauna)	Mortalidad de individuos juveniles	6 días
Perumytilus purpuratus (zoobentos)	Inhibición del desarrollo del biso (Adherencia al sustrato).	6 días

Bioensayos de toxicidad aguda/letalidad, en sedimento		
Especie	Efecto evaluado	Duración del ensayo
Emerita analoga (crustáceo, infauna)	Mortalidad de individuos juveniles	6 días

Bioensayos de toxicidad crónica, en sedimento		
Especie	Efecto evaluado	Duración del ensayo
Perumytilus purpuratus (zoobentos)	Inhibición del desarrollo del biso (Adherencia al sustrato).	6 días

Bioensayos de bioacumulación en especies bioindicadoras

Se utilizará el organismo *Argopecten purpuratus* (ostión del norte) como bioindicador mediante biomarcadores moleculares de estrés ambiental. El uso de bioindicadores determina el grado de contaminación a la que son expuestos los organismos a través del tiempo en un ecosistema y de su grado de tolerancia. Para esto se utilizarán 2 tipos de bioensayos en larvas y/o juveniles de *A. purpuratus* y toma de muestra de individuos adultos.

En el bioensayo 1 las larvas y/o juveniles serán expuestas en forma crónica durante 8 días en agua o sedimento de los sitios de muestreo en la Bahía San Jorge.

En el bioensayo 2 se extraerán individuos adultos de las zonas de muestreo y se analizarán bioindicadores moleculares.

Para ambos bioensayos se evaluará una batería de genes involucrados en la respuesta a estrés ambiental previamente definidos en el ostión del norte, incluyendo heat shock protein 70 (HSP70), glutatión S-transferasa (GST) y glutatión peroxidasa (GPs). Se verificará la expresión relativa mediante PCR en tiempo real de estos genes asociados a estrés ambiental en tejidos como branquia y glándula digestiva (Zapata et al. 2009; Silva et al. 2011; Zapata et al. 2011).

Bioensayos de bioacumulación metales pesados en sedimento		
Especie	Efecto evaluado	Duración del ensayo
Argopecten purpuratus	Expresión relativa de genes en larvas previa exposición a agua	9 días
Argopecten purpuratus	Expresión relativa de genes en adultos	5 día

Referencias

Zapata M., Tanguy A, Moraga D and Riquelme C. 2009. Supression Substractive Hibridyzation Library prepared from *Argopecten purpuratus* larvaes exposed to different copper concentrations. Gene 442, 121-131.

Silva F., **Zapata M**, Moraga D and Riquelme C. 2011. Identification of genes expressed in juvenile *Haliotis rufescens* in response to different copper concentrations in the north of Chile under controlled conditions Marine Pollution Bulletin 62: 2671–2680.

Zapata, M., Lang, M., Riso, R., Moraga, D., Riquelme, C. 2011. Trace metal and biomarker levels in tissues of *Argopecten purpuratus* in the north of Chile, and the potential use of this species as a bioindicator of metallic stress. DOI: 10.1051/alr/2012024, Aquatic Living Resources.

Se requiere entre 25 a 30 días para los análisis estadísticos y redacción de informe, una vez terminado todos los bioensayos con las 6 sales y los sedimentos.
Se incluyen los valores cotizados del laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad de la Universidad de Antofagasta.
En esta cotización se incluyen 6 metales: Cu, Pb, Zn, Hg, Cd y As. Sujeto a cambio (Metales disponibles en BIOAL: As, Cd, Pb, Cr, Zn, Cu y Hg).
Se incluyen 3 sitios de muestreo.

Se considera un 30% de pago inicial y 70% contra entrega de informe de resultados. Valores incluyen IVA.

Servicio de bioensayos	N°	Valor unitario (UF)	Total (UF)
Matriz con 6 sales			
Bioensayos estandarizados de toxicidad crónica (subletal) con determinación de CE50 y/o NOEC y LOEC	30	7,1	213
Bioensayo 1 - con biomarcadores moleculares (larvas y/o juveniles ostión del norte)	6	15	90
Matriz de sedimentos			
Bioensayos estandarizados de toxicidad aguda (letalidad)	3	7,1	21,3
Bioensayos estandarizados de toxicidad crónica	3	7,1	21,3
Bioensayo 2 - con biomarcadores moleculares (adultos ostión del norte	6	15	90
Total Servicios de bioensayos			**435,6**

Dra. Mariella Rivas
Laboratorio de Biotecnología Algal y Sustentabilidad
Departamento de Biotecnología. Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos.
Universidad de Antofagasta.

4.6 Objetivo Específico 6 (OE-6)

OE-6: Difundir, a la comunidad y autoridades, las actividades del estudio,

Este objetivo se ha desarrollado de acuerdo con la programación definida en el Plan de trabajo inicial (en Anexos digitales: 2018_08_GOA004_INF_CO_V0A_Plan_Trabajo). Al respecto, se mencionan las actividades de difusión a la comunidad y a las autoridades realizadas hasta la fecha de entrega del informe final:

1) Reunión inicial con el sector de pesca artesanal, ASOPESCA, realizada el día 06 de julio de 2018. Esta reunión tuvo por objetivo informar a los integrantes del gremio sobre el estudio en relación con sus alcances y área de estudio. Adicionalmente, se respondieron dudas y se tomaron en cuenta sugerencias por parte de la autoridad y contraparte técnica con respecto a la primera campaña de monitoreo, de manera tal que la definición del diseño de muestreo favoreciese la participación activa del sector (acta: "2018_07_GOA004_ACTA_REUNION_0" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
2) Presentación del proyecto a actores relevantes: Pesca artesanal (ASOPESCA), realizada el día 18 de julio de 2018, cuyo objetivo fue el de "presentar de manera formal ante los dirigentes de la pesca artesanal del área de estudio en Tocopilla, los alcances del estudio, y acordar con ellos la modalidad de trabajo". (acta: "2018_07_GOA004_ACTA_REUNION_1" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
3) Presentación del estudio a los servicios públicos, realizada el día 19 de julio de 2018, cuyo objetivo fue el de "presentar de manera formal ante los servicios públicos los alcances del estudio e informar de los acuerdos obtenidos el día anterior con los pescadores artesanales. La instancia constituye la primera reunión de coordinación con los SS. PP.". (acta: "2018_07_GOA004_ACTA_REUNION_2" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
4) Presentación del estudio a las empresas que se encuentran dentro del área de interés, realizada el día 19 de julio de 2018, cuyo objetivo fue el de presentar los antecedentes y alcances del estudio ambiental al sector industrial. (acta: "2018_07_GOA004_ACTA_REUNION_3" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
5) Diseño de Afiche Informativo, que cumple la función de difundir los antecedentes generales del estudio y su estado de avance a la fecha. Actualmente este producto está siendo distribuido por la Seremi de Medio Ambiente en las distintas comunas de la región de Antofagasta. (Afiche: "2018_10_GOA004_AFICHE_1" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/01_AFICHE").

Figura 4.6-1: Presentación formal de los antecedentes del estudio a ASOPESCA.

Figura 4.6-2: Presentación formal de antecedentes a Servicios Públicos (SS. PP.).

Figura 4.6-3: Presentación formal de los antecedentes a Sector Industrial.

Área de estudio y estaciones de monitoreo.

Monitoreo de las matrices de calidad de agua, sedimento y biota de la Bahía Algodonales.

Figura 4.6-4: Afiche informativo de los antecedentes principales del estudio a la fecha.

6) Realización de taller 1, presentación de resultados de informe de avance 1 a ASOPESCA y Municipio, realizado el día 11 de diciembre de 2018. Acta se adjunta en anexo. ("2018_12_GOA004_ACTA_TALLER1_1" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
7) Realización de taller 1, presentación de resultados de informe de avance 1 a servicios públicos y empresas, realizado el día 13 de diciembre de 2018. Acta se adjunta en anexo. ("2018_12_GOA004_ACTA_TALLER1_2" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
8) Consulta de lista de especies de interés a pescadores de Tocopilla (STI y ASOPESCA), realizado el día 08 de enero de2019, con el fin de reconocer las especies de biota marina relevantes para estos actores locales. STI plantea la siguiente lista de especies: **Corbina, pejerrey, jurel, lenguado, piure, pulpo, laá, locate, dorado y cabinsa.** Por su parte, ASOPESCA plantea la siguiente lista: **Bilagallo, tomoyo, lapa, erizo, pejesapo, pejerrey, pulpo, chalaco, borrachilla, loco, baunco y vieja amarga.** (Acta: "201901_GOA004_ACTA_ESPECIES_1" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
9) Validar la lista de especies y de agentes contaminantes a monitorear en el estudio, en participación con SERNAPESCA, CEA y SEREMI del medio ambiente, realizada el día 24 de enero de 2019. Se definió un total de 10 especies para los análisis, además de los parámetros a analizar: **hidrocarburos: anatraceno, denantreno y naftaleno. Metales: talio, mercurio, molibdeno, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, arsénico, selenio, vanadio, cromo y cadmio.** (Acta: "201901_GOA004_ACTA_ESPECIES_2" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
10) Validar la lista de especies y contaminantes a monitorear en el estudio, en participación con SEREMI del medio ambiente, SEREMI de salud, DIRECTEMAR y CEA, realizada el día 31 de enero de 2019. Se definió una lista final de 10 especies para los análisis: **erizo, lapa, lenguado, loco, pejerrey, piure, pulpo, huiro, jaiba peluda y bilagay.** Además, los parámetros a analizar corresponden a: **antraceno, fenantreno y naftaleno (hidrocarburos), y talio, mercurio, molibdeno, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, arsénico, selenio, vanadio, cromo y cadmio en los metales.** (acta: "201901_GOA004_ACTA_ESPECIES_3" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").
11) Realización del taller 2, difundir y dar a conocer entre los estudiantes de escuelas municipalizadas de la ciudad de Tocopilla, los principales impactos ambientales de la contaminación en el medio marino, dándose a conocer el trabajo que se está realizando con el estudio de diagnóstico ambiental de la bahía y los objetivos que persigue. Se adjunta minuta de programación de actividades "2019_04_GOA004_MINUTA_TALLER2" y acta ("2019_04_GOA004_ACTA_TALLER2") en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS".

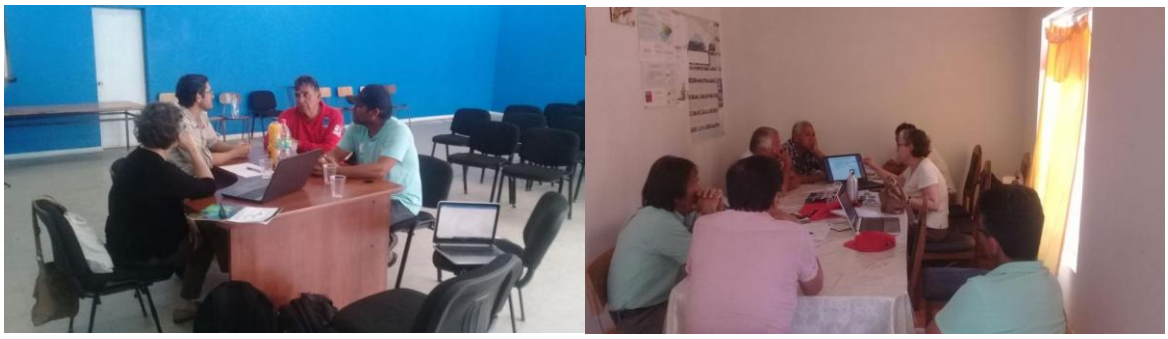


Figura 4.6-5: Reunión para la selección de especies con representantes del STI Tocopilla (panel izquierdo) y representantes de ASOPESCA (panel derecho).

Figura 4.6-6: Taller de presentación de resultados informe de avance1. Presentación en museo regional de Antofagasta (Panel izquierdo), con la participación de empresas y servicios públicos, y presentación en Gobernación provincial de Tocopilla (Panel derecho), con la participación de ASOPESCA.

Figura 4.6-7: Taller de difusión 2, charlas de contaminación marina y presentación de trabajo realizado hasta el momento.

12) Realización de los talleres 3 y 4, realizada el día 10 de septiembre de 2019, busca difundir y dar a conocer a diferentes actores del territorio (STI Tocopilla, ASOPESCA, CAC); los principales impactos ambientales de la contaminación en el medio marino. Se expusieron los resultados parciales obtenidos hasta la fecha en el Informe de Avance N°2. Se adjunta minuta de programación de actividades "2019_04_GOA004_MINUTA_TALLER_3-4" y acta "2019_04_GOA004_ACTA_TALLER_3-4" en anexos digitales: ("99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS").

13) Diseño de Tríptico; producto con el objeto de difundir los antecedentes generales del estudio y resultados preliminares obtenidos hasta el Informe de Avance N°2. Este producto es distribuido por la Seremi de Medio Ambiente en las distintas comunas de la región de Antofagasta y por el equipo que realiza las encuestas a la población de Tocopilla. (Tríptico disponible: "2019_09_GOA004_TRIPTICO_1" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/02_TRIPTICO").

Figura 4.6-8: Taller 3 y 4; charlas de contaminación marina y presentación de resultados encontrados hasta el momento.

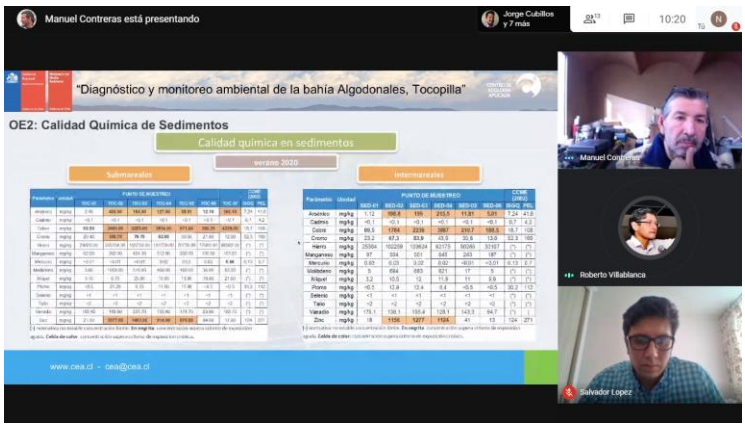
Figura 4.6-8: Tríptico de difusión de los antecedentes del estudio y trabajo realizado hasta la fecha.

14) Taller 5, realizado el día miércoles 08 de enero de 2020, busca difundir y dar a conocer a diferentes actores del territorio (Servicios públicos, empresas y ASOPESCA); los resultados parciales hasta la fecha de la entrega del Informe de Avance N°3. Se adjunta la siguiente acta de actividades "2020_01_08_GOA004_ACTA_TALLER_5" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS". A continuación, se muestra una instantánea del taller.

15) Taller 6, realizado el día miércoles 25 de febrero de 2020, busca difundir y dar a conocer a diferentes actores del territorio (Servicios públicos, empresas y ASOPESCA); los avances a la fecha de la cartera de proyectos que dan continuidad al estudio. Se adjunta la siguiente acta de actividades "2020_02_25_GOA004_ACTA_TALLER6" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/00_ACTAS". A continuación, una imagen que muestra el desarrollo de la actividad en cuestión.

16) Video de difusión: producto que da cuenta del trabajo realizado durante el estudio, sus participantes, principales resultados y el desafío el futuro. (Video disponible: "2020_05_GOA004_VIDEO" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/03_VIDEO").

17) Taller final, realizado el día viernes 29 de mayo de 2020. En condiciones de cuarentena en la comuna de Antofagasta, se realizó una reunión virtual para dar a conocer los resultados y conclusión finales del acabado estudio. Se adjunta el registro de la actividad "2020_05_29_GOA004_TALLER_FINAL" en anexos digitales: "99_ANEXOS_DIGITALES/07_OE6/05_TALLER_FINAL". A continuación, una imagen que muestra el desarrollo de la actividad.



5 CONCLUSIONES

En cuanto a los metales en agua y sedimentos, en general, las aguas del medio marino contienen pequeñas concentraciones de metales (Ahumada et al., 2007) entre otros componentes, sin embargo, la presencia de estos elementos en zonas costeras puede estar derivados del desarrollo industrial y asentamientos urbanos (Castillo and Valdes 2011). Muchos de estos compuestos pueden venir de solidos suspendidos y sedimentos, pudiendo ser reciclado varias veces en la interfaz agua-sedimento antes de ser retenidos definitivamente (Santschi et al. 1990).

Debido a las características fisicoquímicas del medio marino, los efectos de descargas de contaminantes con metales pueden tener menor severidad que en aguas dulces ya que la alta capacidad buffer del medio neutraliza los ácidos y bases, y la presencia de electrolitos crea posibilidades de floculación y posterior sedimentación (Waldichuk 1974).

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

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

De los metales estudiados destacan el Níquel y Vanadio por no estar presentes de manera natural en los sedimentos marinos costeros (Valdés et al., 2005; Valdés, 2012), las evidencias sugieren que la presencia de estos metales en los sedimentos se explicaría, al menos en parte, por la actividad de plantas termoeléctricas que utilizan “petcoke” como fuente energética (Valdés et al., 2005; Valdés, 2012), debido a que este metal es un constituyente importante de ese tipo de carbón (Chen & Lu, 2007).

Por otra parte, Zinc y Cobre si forman parte de los ecosistemas costeros, aunque en el caso del primero hay registros nacionales históricos en bahías de Chile con diferentes grados de industrialización donde se han medido valores de hasta 1600 mg kg-1, producto de la depositación histórica de desechos de la minería de cobre directamente en la zona costera (Ramírez et al.,2005).

En cuanto al Zinc, este puede entrar al ambiente acuático como resultado de actividades industriales, descargas de efluentes y escorrentía superficial (Boxall et al., 2000).

Particularmente en zonas portuarias donde se realizan actividades de embarque de minerales de Zn, es común encontrar niveles altos de este metal en los sedimentos de fondo (Calderón & Valdés, 2012).

Por otro lado, el Plomo se encuentra en la corteza terrestre en una concentración media y al igual que el suelo en los ambientes continentales, y los sedimentos de los ambientes acuáticos son la principal matriz de depositación de este metal (Alagarsamy, 2006). Por tal motivo, las altas concentraciones de Pb en los ambientes marinos, por lo general sugieren un impacto de la actividad antrópica. Sin embargo, se requieren más estudios que permitan determinar las causas específicas que explicarían la presencia de este metal en los sedimentos de estas bahías.

Pese a lo anterior, es necesario señalar también que las fuentes atmosféricas de metales son cada vez más estudiadas debido a que se ha observado una clara correlación entre el grado de desarrollo industrial de determinadas zonas y el contenido de metales en el material particulado atmosférico (Zhang et al., 2007).

Por otra parte, también en las bahías industrializadas ocurre otro aporte de metales como el proveniente de las faenas propias de la actividad acuícola (uso de combustibles en las embarcaciones, uso de pinturas en los sistemas de cultivo, uso de estructuras metálicas, etc.) pueden influir, en un grado no determinado, en el patrón de distribución de los metales estudiados. Por ejemplo, diferentes complejos hidrofóbicos de Cu y Zn son comúnmente utilizados en pinturas biocidas destinadas a cultivos marinos y mantención de embarcaciones (Turley et al., 2000; Parks et al., 2010).

Finalmente, es necesario señalar en respuesta a aumentos estacionales de concentraciones de algunos elementos, que, en esta zona, al igual que otros sectores costeros de la zona norte, existe un aporte esporádico de agua de lluvia asociado a escorrentía superficial producida durante eventos El Niño (Vargas et al., 2000), que sería una fuente secundaria de aporte de material litogénico (y metales) a estas bahías.

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

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

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

En Bahía Algodonales se cuenta con información del contenido de metales en organismos marinos, al menos para una especie, y ésta corresponde a *Perumytilus purpuratus* (Chorito maico). La fuente de información corresponde al Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), perteneciente a la DIRECTEMAR. Para la mayoría de los metales analizados se cuenta con una serie de tiempo desde el año 1993 hasta el año 2017, el diseño de muestreo restringe la distribución de los puntos de muestreo al interior de la bahía Algodonales, presentando un mayor esfuerzo de muestreo en el sector norte (Toponimos POAL: Caleta Duendes, Punta Duendes, Pesquera Eperva y Pesquera Guanaye).

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

En el caso de los metales cromo, mercurio, plomo y zinc este patrón estuvo acotado en el tiempo entre los años 1993 y 2001 y espacialmente explícito en los sectores denominados por el POAL como “Pesquera Guanaye” y “Pesquera Eperva” al norte de la bahía. En los

últimos años de monitoreo se han registrado concentraciones menores a los límites establecidos por las referencias respectivas para cada metal.

De los resultados del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, es posible indicar que las emisiones hídricas son en su mayoría provenientes de las dos centrales termoeléctricas: Central Térmica Tocopilla y Central Termoeléctrica Nueva Tocopilla. Se ha concluido que los elementos que deben ser estudiados más a fondo, en función de las mayores cargas másicas, son, en el caso de metales y metaloides: el boro, molibdeno, zinc, cromo total, cobre, plomo y cromo hexavalente; nutrientes: sulfato y nitrógeno total Kjeldahl; parámetros físicos: sólidos suspendidos totales; otros parámetros de interés ambiental: hidrocarburos, fluoruros, índice de fenol y sulfuros.

Es importante señalar además que muchos de los agentes que está emitiendo la industria de generación eléctrica no guardan relación a sus procesos unitarios, por lo que se es posible que el origen de estos elementos sean las mismas aguas marinas o el sedimento, lo que a través de los procesos de succión, y un efecto combinado a resuspensión de material de fondo (oleaje, marejadas) puedan incorporar elementos a la columna de agua, los que son tomados por las tuberías de captación de las termoeléctricas, para luego ser eliminados al medio marino.

En cuanto a los resultados de calidad química en las matrices de agua y sedimentos, en las campañas de invierno 2018, verano 2019 e invierno 2019, las aguas de la bahía Algodonales presentaron un pH moderadamente alcalino (Hounslow, 1995) en todos los sectores y estratos. Los niveles de oxígeno disuelto fueron mayores en la superficie y disminuyeron proporcional a la profundidad. Los valores de potencial redox indican procesos que favorecen las reacciones de oxidación y las temperaturas variaron de acuerdo a la estacionalidad climática. Respecto a los metales, las mayores concentraciones correspondieron al vanadio y molibdeno, durante invierno 2018, de arsénico, zinc, hierro y molibdeno para verano 2019, y cobre, molibdeno y zinc para invierno 2019. De los resultados del análisis químico de sedimentos en Bahía Algodonales se observaron altas concentraciones de hierro, cobre, molibdeno, arsénico y vanadio, principalmente en los puntos de muestreo cercanos a caleta duendes, playa camping y norgener. La granulometría en estos sectores fue arena fina a muy fina, indicando un menor flujo de energía en comparación al resto de los puntos de monitoreo y que implica condiciones que favorecen la depositación y acumulación de partículas de menor tamaño.

De los resultados de Corrientes Eulerianas se desprende la presencia de una corriente predominante NE en la capa superficial de agua (primeros 2 m), que toma una dirección predominante S en las capas medias y de fondo de la columna de agua. La componente E tiene variaciones W-E desde los 2 m desde la capa superficial hacia el fondo marino. Así, se destaca un flujo S en dirección hacia las descargas de las Centrales Nueva Tocopilla y Tocopilla. Esta corriente puede generar una mayor depositación de material suspendido en la zona aledaña a la descarga de la Central Nueva Tocopilla, al generar una corriente que tiende hacia la línea de costa de la Bahía. Además, es importante mencionar que las

trayectorias DVP obtenidas para todas las capas estudiadas, arrojaron una trayectoria tal que una partícula tendería a tocar tierra con las magnitudes de velocidad registradas.

Los resultados del análisis realizado de corrientes lagrangianas en cuadratura concuerdan con lo descrito anteriormente, mostrando que los derivadores a 0 m y 5 m de profundidad (capa superficial) toman una trayectoria Sur-Norte tanto en vaciante como llenante. Para la componente de sicigia se tiene un comportamiento distinto al presentar una corriente superficial S-W que sigue la forma de la bahía Algodonales.

En el análisis cualitativo de fitoplancton se registró la presencia de un total de 59 taxa en la campaña de invierno 2018 y de 33 taxa en la campaña de verano 2019. En invierno las mayores abundancias correspondieron a diatomeas (e.g *Chaetoceros* spp.), mientras que en verano dominaros los dinoflagelados (e.g *Tripos fusus*). A su vez, el ictioplancton registró una riqueza total de 8 taxa en invierno 2018, de 2 taxa en verano 2019 y de 7 taxa en invierno 2019. En todas las campañas se registraron mayoritariamente huevos y las mayores abundancias se asocian al punto de muestreo TOC-5. La Anchoveta, el Baúnco y el Mote, en general, dominaron en los resultados. Por otro lado, los ensambles de macroinfauna submareal prospectados estuvieron constituidos en total por 19 grupos taxonómicos en invierno 2018, de 28 grupos taxonómicos en verano 2019 y de 17 grupos taxonómicos en invierno 2019. Con relación a las abundancias relativas estimadas en los ensambles prospectados, en todas las campañas dominaron los poliquetos de la familia Hesionidae y del género *Nephtys* sp. Por otra parte, los ensambles de macroinfauna intermareal estuvieron constituidos en total por 8 grupos taxonómicos en invierno 2018 y 6 grupos taxonómicos en verano 2019, donde los gusanos poliquetos presentaron la mayor distribución y abundancia en el área de estudio.

En cuanto a la composición de taxa en el meroplancton, indica una mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios en el extremo sur (TOC-7 y TOC-6) del área de estudio. En el extremo norte se caracteriza por presentar mayores proporciones de larvas de bivalvos y poliquetos (TOC-1 a TOC-4), mientras que el Holoplancton registró 16 taxa en invierno 2018, 15 taxa en verano 2019 y 16 taxa en invierno 2019, compuesto principalmente por Copépodos. Las mayores riquezas se registraron en el sector norte del área de estudio en ambas campañas de muestreo, mientras que las mayores magnitudes de abundancia se registraron en el sector sur del área de estudio.

De la modelación numérica hidrodinámica llevada a cabo, se observaron zonas de menor circulación de corrientes identificadas entre Punta Algodonales y Caleta Duendes, hasta el sector del acopio de cenizales inclusive. Esto se vio representado por los altos valores de tiempo de retención determinado y la baja magnitud de la velocidad en esos sectores. Además, a partir de los resultados de la modelación de trazadores se observó que, debido a la estructura de circulación de la bahía, la liberación de un contaminante en el sector de Punta Algodonales podría generar una mancha de concentración considerable hasta el sector de Caleta Duendes, sin tenerse una rápida mezcla del contaminante con el medio.

Respecto de la integración de la información, las concentraciones de metales disueltos en agua estuvieron en general, bajo los límites de detección o en concentraciones muy pequeñas, sin superar los niveles de referencia en dichos casos, a excepción del cobre disuelto. Con lo anterior, se espera que no se generen efectos funcionales negativos a nivel ecosistémico. Debido a que la resolución temporal de los datos es baja (meses), solamente es posible realizar análisis de más largo plazo, en donde se consideran las mediciones registradas como condiciones medias para el período. En cuanto a los valores de pH en la columna de agua, se observó que las condiciones han variado de neutro a moderadamente alcalino, mientras que los valores de potencial RedOx favorecen las reacciones de oxidación y por tanto no representan condiciones desfavorables para los cambios en la disponibilidad de los metales.

De la integración de la información, en cuanto a las concentraciones de los metales analizados en sedimentos, se observó que los sectores de Caleta Duendes, Playa el Arenal, Playa el Salitre, Descarga NORGENER y LIPESED, presentaron los mayores niveles de concentración, destacándose el arsénico, cobre, hierro y zinc en cuanto a superación de niveles de referencia. El sector de LIPESED presentó niveles de concentraciones similares a los del sector de Playa el Arenal y Descarga NORGENER.

Respecto a los registros de concentración de metales en biota, se detectó un alto contenido de Arsénico, Cobre y Selenio, principalmente en las especies Jaiba, Lapa, Lenguado y Loco. Además, los sectores de extracción de las especies con los valores máximos de concentración más recurrentes fueron los asociados al puerto o muelle de Electroandina, mientras que los menores valores de concentración se ubicaron en el sector de Cenizales (Zona de estudio 1)

Con respecto a la evaluación de riesgo a la salud de las personas, desde un punto de vista de salud pública, la Comuna de Tocopilla de la Región de Antofagasta presenta mayor vulnerabilidad que la Bahía de Mejillones, recientemente estudiada. Esto debido a un perfil socioeconómico más deteriorado, y a la presencia de varias fuentes de contaminación que impactan la población, asociada a un uso del territorio en el que las distintas actividades se entremezclan con las zonas residenciales. Los daños a la salud se pueden observar en los indicadores clásicos, tales como la mortalidad general, años de vida perdida y mortalidad infantil que son peores que la región y el país. Además, se determinó que no existe un riesgo de tener efectos crónicos debido a la ingesta de alimentos provenientes de la bahía, y que si existe un riesgo de cáncer de piel asociado al arsénico presente en la ingesta de alimentos.

Mediante estos resultados se concluyó que la principal problemática está en los sedimentos de la bahía y se debe priorizar en la gestión para protegerlos.

6 REFERENCIAS

Ahumada, R., E. González, V. Medina & A. Rudolph. 2007. Analysis of mayor zinc sources in marine sediments of the estuarine zone in Aysén Fjord, Chile. Invest. Mar., Valparaíso, 35(2): 5-14.

Alagarsamy, R. 2006. Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Mandovi estuary, west coast of India. Estuar. Coast. Shelf Sci., 67: 333-339

Aquacien, 2016. Anexo N, Declaración de Impacto Ambiental de Planta Desaladora Tocopilla.

Arana PM (2012) Recursos Pesqueros del Mar de Chile.

Arancibia H, Neira S (2005) Long-term changes in the mean trophic level of Central Chile fishery landings *. 69:295–300.

Australian and New Zealand Environment and Conservation Counsil (2000). Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, Vol. 1.

Avaria S, Alvial A (1985) La investigación ecológica del fitiplancton marino. Rev. Biol. Mar. 21:61–106.

Ballester B (2017) La delgada línea roja : Sogas de arpón de los últimos cazadores marinos del norte de Chile (1000-1500 dc). doi: 10.5354/0719-1472.2017.46130

Bertrand A, Barbieri MA, Gerlotto F, et al (2006) Determinism and plasticity of fish schooling behaviour as exemplified by the South Pacific jack mackerel Trachurus murphyi. Mar Ecol Prog Ser 311:145–156.

Boxall, A.B.A., S.D. Comber, A.U. Conrad, J. Howcroft & N. Zaman. 2000. Inputs, monitoring and fate modelling of antifouling biocides in UK estuaries. Mar. Pollut. Bull., 40: 898-905.

Bradley, P. AND S. Yee. Using the DPSIR Framework to Develop a Conceptual Model: Technical Support Document. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-15/154, 2015.

Buccolieri A, Buccolieri G, Cardellicchio N, et al (2006) Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). Mar Chem 99:227–235.

Bumett LE, Stickle WB (2001) Coastal and Estuarine, Studies Coastal Hypoxia: Consequences for living Resources and Ecosystems. p 101–114.

Calderón, C. & J. Valdés. 2012. Contenido de metales pesados en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge (Antofagasta, 23º05”S), Chile. Una evaluación ambiental. Rev. Biol. Mar. Oceanogr., 47(1): 121-133.

Camus PA, Andrade YN (1999) Diversidad de comunidades intermareales rocosas del norte de Chile y el efecto potencial de la surgencia costera. Rev Chil Hist Nat 72:389–410.

Carrillo P (2012) Comportamiento Del Oxígeno Disuelto En Dos Estaciones Costeras La Libertad Y Manta, Como Aporte Al Conocimiento Del Fenómeno “El Niño.” Acta Ocean del Pacífico 17:21–29.

Castillo, A. & J. Valdés. 2011. Contenido de metales en Cancer polyodon (Crustacea: Decapoda) en un sistema de bahías del norte de Chile (27°S). Lat. Am. J. Aquat. Res., 39(3): 461-470.

CCME, (2002). Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of aquatic life, summary tables. Canadian Council of Ministers of the Environment.

CCME, (2007). Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment.

Chen C (2006) Chemistry of Sea Water. Encycropedia Life Support Syst 165–227.

Chen, J. & X. Lu. 2007. Progress of petroleum combusting in circulating fluidized bed boilers. A review and future perspectives. Resour. Conserv. Recy., 49: 203-216.

Comisión Nacional del Medio Ambiente (2008) Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos.

Costanza R (1992) Toward an operational definition of health. In: Costanza R, Norton.

Costanza R, Mageau M (1999) What is a healthy ecosystem? Aquat Ecol 33:105–115.

Daneri G, Dellarossa V, Quiñones R, et al (2000) Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. Mar Ecol Prog Ser 197:41–49.

De Gregori H.I., Pinochet C.H., Arancibia J.M. y Vidal B.A. 1996. Grain size effect on trace metals distribution in sediments from two coastal areas of Chile. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 57, 163-170.

Department of Environmental Quality, Oregon (2015) Aquatic Life Water Quality Criteria for Toxic Pollutants, Table 30, Effective aquatic life criteria.

Diaz RJ & Rosenberg R, 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioral responses of benthic macrofauna. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review 1995, 33, 245-303.

Escribano R (1998) Population dynamics of Calanus chilensis in the Chilean Eastern Boundary Humboldt Current. Fish Oceanogr 7:245–251.

Escribano R, Fernández M, Aranís A (2003) Physical-chemical processes and patterns of diversity of the Chilean eastern boundary pelagic and benthic marine ecosystem: An overview. Gayana 67:190–205.

Escribano R, Mclaren I (1999) Production of Calanus chilensis in the upwelling area of Antofagasta , Northern Chile Production of Calanus chilensis in the upwelling area of Antofagasta , northern Chile. Mar Ecol Prog Ser 177:147–156.

Friedrich J, Janssen F, Aleynik D, et al (2014) Investigating hypoxia in aquatic environments: Diverse approaches to addressing a complex phenomenon. Biogeosciences 11:1215–1259. doi: 10.5194/bg-11-1215-2014

Galaz-Mandakovic F., Damir, 2013. Tocopilla Norte: imágenes y memoria.

Gallardo M de los Á, González López AE, Ramos M, et al (2017) Reproductive patterns in demersal crustaceans from the upper boundary of the OMZ off north-central Chile. Cont Shelf Res 141:26–37.

García Rico L., Soto Cruz, M.S., Jara Marini M.E. y Gómez Álvarez A. 2004. Fracciones geoquímicas de Cd, Cu y Pb en sedimentos costeros superficiales de zonas ostrícolas del estado de Sonora, México. Revista Contamaminación Ambiental. 22(4) 159-167.

Gilly WF, Beman JM, Litvin SY, Robison BH (2013) Oceanographic and Biological Effects of Shoaling of the Oxygen Minimum Zone. Ann Rev Mar Sci 5:393–420.

Giordano R., Musmeci L., Ciaralli L., Vernillo I., Chirico M., Piccioni A. y Costantini S. 1992. Total contents and sequential extractions of mercury, cadmium, and lead in coastal sediments. Mar. Poll. Bull. 24, 350-357.

Gobierno Regional, Región de Antofagasta (2019). Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Mejillones del Sur.

González F., Silva M., Schalscha E. y Alay F. 1998. Cadmium and lead in a trophic marine chain. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 60, 112-118.

Gray JS, Elliott M (2009) Ecology of marine sediments, Second Edi. Oxford University Press, New York

Gray JS, Wu RS, Or YY (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. Mar Ecol Prog Ser 238:249–279. doi: 10.3354/meps238249

Guiñez M, Valdés J, Sifeddine A (2010) Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. Am J Aquat Res 38:242–253.

Halpin PM, Strub PT, Peterson WT, Baumgartner TR (2004) An overview of interactions among oceanography, marine ecosystems, climatic and human disruptions along the eastern margins of the Pacific Ocean. Rev Chil Hist Nat 77:371–409.

Hunt Carlton D.; Smith DL (1983) Remobilization of Metals from Polluted Marine Sediments. Can J Fish Aquat Sci.

Iriarte JL, González HE (2004) Phytoplankton size structure during and after the 1997 / 98 El Niño in a coastal upwelling area of the northern Humboldt Current System. Mar Ecol Prog Ser 269:83–90.

Iriarte JL, Pizarro G, Troncoso VA, Sobarzo M (2000) Primary production and biomass of size-fractionated phytoplankton off Antofagasta, Chile (23-24??S) during pre-El Nino and El Nino 1997. J Mar Syst 26:37–51.

Jamshidi-Zanjani A, Saeedi M, Li LY (2014) A risk assessment index for bioavailability of metals in sediments: Anzali International Wetland case study. Environ Earth Sci 73:2115–2126. doi: 10.1007/s12665-014-3562-5

Jaramillo E, Carrasc F, Quijon P, Pin M (1998) Distribución y estructura comunitaria de la macroinfauna bentónica en la costa del norte de Chile. Rev Chil Hist Nat 71:459–478.

Laudien J, Rojo ME, Oliva ME, et al (2007) Sublittoral soft bottom communities and diversity of Mejillones Bay in northern Chile (Humboldt Current upwelling system). 103–116.

Luvonga C, Rimmer CA, Yu LL, Lee SB. Organoarsenicals in Seafood: Occurrence, Dietary Exposure, Toxicity, and RiskAssessment Considerations - A Review. J Agric Food Chem. 2020 Jan 29;68(4):943-960. doi: 10.1021/acs.jafc.9b07532. Epub 2020 Jan 16.

Mat I., Maah M.J. y Johari A. 1994. Trace metal geochemical associations in sediments from the culture-bed of Anadara granosa. Mar. Poll. Bull. 28, 319-323.

Matabos M, Tunnicliffe V, Juniper SK, Dean C, 2012. A Year in Hypoxia: Epibenthic Community Responses to Severe Oxygen Deficit at a Subsea Observatory in a Coastal Inlet. PLoS ONE 7(9): e45626. doi: 10.1371/journal.pone.0045626.

Ministerio de Obras Públicas (1994). Manual para la cuantificación de externalidades de proyectos portuarios.

Ministerio de Salud Encuesta Nacional de Salud, 2016/17

MINSEGPRES. Decreto Supremo 144 (2000), Establece Normas de Calidad Primaria para la Protección de las Aguas Marinas y Estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo.

MMA, s.f. Glosario de términos en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. Consultado el 17 de octubre de 2018 Sitio web: www.retc.cl/glosario/

Municipalidad de Tocopilla, 2013. Plan de desarrollo comunal de Tocopilla 2013-2017.

Neira S, Arancibia H (2004) Trophic interactions and community structure in the upwelling system off Central Chile (33 – 39 8 S). J Exp Biol Ecol 312:349–366.

New Jersey Department of Environmental Protection (2015). Ecological Screening Criteria. Division of Water Quality, New Jersey Department of Environmental Protection, USA.

Ojeda FP, Labra FA, Muñoz A (2000) Biogeographic patterns of Chilean littoral fishes. 2:625–641.

Olsen CR, Cutshall NH, Larsen IL (1982) Pollutant-particle associations and dynamics in coastal marine environments: a review. Mar Chem 11:501–533.

O'Neill, R.V., A.R. Johnson, and A.W. King, (1989). “A hierarchical framework for the analysis of scale.” Landscape Ecology, 3 (3/4) 193-205.

Ortlieb L, Escribano R, Follegati R, et al (2000) Recording of ocean-climate changes during the last 2,000 years in a hypoxic marine environment off northern Chile (23°S).

Packard TT (1969) The estimation of the oxygen utilization rate in seawater from the activity of the respiratory electron transfer system in plancton. Thesis 1–130.

Parks, R., M. Donnier-Marechal, P. Frickers, A. Turner & J. Readman. 2010. Antifouling biocides in discarded marine paint particles. Mar. Poll. Bull., 60: 1226-1230.

Promina, Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto Playa Artificial y Recuperación Caleta Boy, Balneario Covadonga, 2014.

Rabalais NN, Díaz RJ, Levin LA, Turner RE, Gilbert D, & Zhang J. 2010. Dynamics and distribution of natural and human-caused hipoxia. Biogeosciences, 7, 585–619.

Rahmani et al A systematic review and meta-analysis of metal concentrations in canne tuna fish in Iran and human health risk assessment. Food Chem Toxicol 2918 Aug;118:753-765.

Ramirez, M., S. Massolo, R. Frache & J. Correa. 2005. Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. Mar. Pollut. Bull., 50: 62-72.

Riedel B, Pados T, Pretterebner K, et al (2014) Effect of hypoxia and anoxia on invertebrate behaviour : ecological perspectives from species to community level. 1491–1518. doi: 10.5194/bg-11-1491-2014

Rodríguez L, V Marín MF& EO (1991) Identification of an upwelling zone by remote sensing and in situ measurements. Mejillones del Sur Bay (Antofagasta-Chile). 4.

Rodríguez Mercado J.J y Altamirano Lozano M.A. 2006. Vanadio: Contaminación, Metabolistmo y Genotoxicidad. 2006. Unidad de Investigación en Genética y Toxicología Ambiental (UNIGEN), Bioterio Campo-II, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. A.P. 9-020, D.F. 15000 México. Rev. Int. Contaminación Ambiental. 20(4) 173-189. 2006

Rodriguez-Graña L, Castro LR (2003) Ichthyoplankton distribution off the Peninsula de Mejillones , Chile S 71 ◦ W), under variable hydrographic conditions during the austral summer and winter of the 1997 El Niño. Hydrologia 501:59–73.

Rojas PM (2010) Diel variation in the vertical distribution of fish larvae forced by upwelling filaments off Punta Angamos (northern Chile). Lat Am J f Aquat Res 42:401–417.

Ruz PM, Hidalgo P, Yáñez S, et al (2015) Egg production and hatching success of Calanus chilensis and Acartia tonsa in the northern Chile upwelling zone (23°S), Humboldt Current System. J Mar Syst 148:200–212.

Salazar D (2011) Reconstrucción de la secuencia ocupacional de la quebrada Mamilla, costa de Tocopilla, norte de Chile. Ediciones de la Universidad Internacional SEK.

Salvador MF, Avaria CC (2008) Variabilidad de la temperatura superficial del mar, identificación de surgencias costeras y su relevancia en un área marina costera protegida del desierto de atacama, chile. Rev Geogr Norte Gd 49–61.

Santschi P, Höhener P, Benoit G, Buchholtz-ten Brink M (1990) Chemical processes at the sediment-water interface. Mar Chem 30:269–315.

Santschi, Bollhalder, S., Zingg, S., Lueck, A. and Farrenkothen, K., 1990. The self-clean- ing capacity of surface waters after radioactive fallout. Evidence from European waters after Chernobyl, 1986-1988. Environ. Sci. Technol., 24:519-527.

SeaYang-Guang Gua, Hong-Hui Huanga, Qin Lina, Concentrations and human health implications of heavy metals inwild aquatic organisms captured from the core area of Daya Bay'sFishery Resource Reserve, South China Sea. Environmental Toxicology and Pharmacology 45 (2016) 90–94.

Sinkko, A, 2013. Sediment Bacterial Communities in Nutrient Cycling and in the History of the Baltic Sea, Thesis. Universidad of Helsinki.

SMA, 2014. Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas. Gobierno de Chile.

Tessier A., Campbell P.G.C. y Bisson M. 1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Anal. Chem. 51, 844-851.

Thiel M, Macaya EC, Acuña E, et al (2007) The Humboldt current system of northern and central Chile Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. Oceanogr Mar Biol 45:195–344.

Torres R, Turner D, Rutllant J, et al (2002) CO2 outgassing off central Chile (31-30°S) and northern Chile (24-23°S) during austral summer 1997: The effect of wind intensity on the upwelling and ventilation of CO2-rich waters. Deep Res Part I Oceanogr Res Pap 49:1413–1429. doi: 10.1016/S0967-0637(02)00034-1

Turley, P.A., R.J. Fern & J.C. Ritter. 2000. Pyrithione as antifoulants: environmental chemistry and preliminary risk assessment. Biofouling, 15: 175-182.

U.S. Environmental Protection Agency (2009). National recommended water quality criteria. United States Environmental Protection Agency.

Urban, D.L., R.V. O'Neill and H.H. Shugart, Jr., (1987). "Landscape Ecology." Bioscience, 37 (2) 119-127.

USEPA Child-Specific Exposure Scenarios Examples EPA 600/R-14/217F/September 2014/ www.epa.gov.ncea

Valdés J, Sifeddine A, Boussafir M, Ortlieb L (2014) Redox conditions in a coastal zone of the Humboldt system (Mejillones, 23° S). Influence on the preservation of redox-sensitive metals. J Geochemical Explor 140:1–10. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.01.002

Valdés, J. 2012. Heavy metal distribution and enrichment in sediments of Mejillones Bay (23°S), Chile: a spatial and temporal approach. Environ. Monit. Assess., 184: 5283-5294.

Valdés, J., G. Vargas, A. Sifeddine, L. Ortlieb & M. Guiñez. 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones bay (23°S), northern Chile: geochemical and statistical approach. Mar. Pollut. Bull., 50: 1558-1568.

Vaquer-Sanyer R & Duarte, M. 2008. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity PNAS 105, (40) 15452-15457

Vargas G, Ortlieb L, Pichon JJ, et al (2004) Sedimentary facies and high resolution primary production inferences from laminated diatomacous sediments off northern Chile (23°S). Mar Geol 211:79–99. Waldichuk M (1974) Coastal marine pollution and fish. Ocean Manag 2:1–60.

Vargas, G., L. Ortlieb & J. Rutllant, 2000. Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur. Rev. Geol. Chile, 27(2): 155-174.

Vasquez JA, Camus PA, Patricio F (1998) Diversity, structure and functioning of rocky coastal ecosystems in northern Chile. Rev Chil Hist Nat 71:479–499.

Viviani CA (1979) Ecogeografia del litoral chileno. Stud Neotrop Fauna Environ 14:65–123.

Waldichuk M (1974) Coastal marine pollution and fish. Ocean Manag 2:1–60.

Waldichuk, M. (1974) Some biological concerns in heavy metals pollution. Pp. 1–57 in Pollution and Physiology of Marine Organisms, F.J. Vernberg and W.B. Vernberg, eds. New York: Academic Press.

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. Marine Pollution Bulletin 114 (2017) 1125–1129.

Young J, Cai L, States C Impact of prenatal Arsenic Exposure on Chronic Adult Diseases. Syst Biol Reprod Med 2018, December; 64(6):469-483. Doi:10.1080/19396368.2018,1480076

Zhang, L., X. Ye, H. Feng, Y. Jing, T. Ouyang, X. Yu, R. Liang, Ch. Gao & W. Chen. 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. Mar. Pollut. Bull., 54: 974-982.