Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Gobierno de Chile

PERÚ Ministerio de la Producción

gef

PNUD

Informe Final

Línea base y diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la Bahía de Iquique

Proyecto Humboldt II
Santiago, Chile, Marzo 2023

EnSoíl

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD

Línea base y diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la Bahía de Iquique

INFORME FINAL

Rev. 0

Citar como:

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2023. Servicio de consultoría Línea Base y Diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la Bahía de Iquique. Entregable 4: Informe Final Consolidado. Proyecto "Catalizando la Implementación de un Programa de Acción Estratégico para la Gestión Sostenible de los Recursos Marinos Vivos Compartidos en el Sistema de la Corriente de Humboldt, Proyecto Humboldt II", Santiago de Chile. 279 pp.

Marzo 2023

Información del documento

Estudio	Línea base y diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la Bahía de Iquique		
Mandante	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo		
ID licitación	-	**Código proyecto**	P2206
Informe	Informe final	**Versión**	Rev0

Control de cambios

	Revisión 0	**Revisión 1**	**Revisión 3**
Elaborado por	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Christian Betancourt Pablo Moya Francisco Díaz Paul Lorca Max Heldt		
Fecha	02-03-2023		
Revisado por	Francisca Mihovilovic		
Fecha	03-03-2023		
Aprobado por	Jorge Alcaíno		
Fecha	03-03-2023		

EnSoil Ambiental SpA

La Capitanía 779
Las Condes, Santiago
www.ensoil.cl

Resumen

El presente documento corresponde al Informe final del estudio "Línea base y diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la Bahía de Iquique", encargado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (en adelante, PNUD). El estudio tiene por finalidad el levantamiento de una línea base sobre la calidad ambiental y la biodiversidad de la bahía de Iquique, junto con un diagnóstico que permita conocer el estado actual de la bahía con relación a agentes contaminantes, identificar problemas y acciones de mejora en asuntos relacionados con la calidad ambiental del espacio marino costero y proponer un programa de monitoreo de la calidad de agua, sedimentos y biota.

Durante esta consultoría, se compilaron y analizaron datos históricos monitoreados y reportados por POAL y PVA de proyectos en la bahía de Iquique, para distintas matrices ambientales: agua de mar, sedimentos y biota. Además, se revisaron y analizaron los datos reportados por diferentes fuentes emisoras de residuos líquidos en el sistema RETC. Por último, se realizó un análisis de calidad del aire en la bahía de Iquique, y la potencial afectación de las emisiones al aire hacia el medio marino.

A partir de los datos fisicoquímicos analizados, se puede concluir que existiría un grado de impacto al medio marino, indicado por niveles sobre las referencias de algunos contaminantes en agua, sedimentos y biota marina. Se observan algunos peaks a lo largo de los años, pero no es posible en general ver una tendencia temporal clara hacia la baja o al alza. En los pocos casos en que se nota alguna tendencia a la disminución o aumento de ciertos analitos los datos no están completos y/o actualizados (por ende, no se puede determinar que la tendencia se mantenga actualmente). No obstante lo anterior, existen algunos parámetros que se observan elevados consistentemente tales como fosfatos en el agua y sedimentos, algunos metales también en sedimentos (cadmio, cobre y mercurio), y en metales en biota (cadmio y arsénico).

Luego del análisis de los datos de biota marina, se puede concluir que existe alguna variabilidad en las variables respuesta (riqueza, abundancia, biomasa, diversidad, uniformidad) asociada a la estación de muestreo, una escasa variación estacional, pero con las distintas metodologías de obtención y análisis de datos entre consultoras siendo un factor importante. La comparación histórica de curvas ABC muestra una evolución de perturbación moderada a leve de los ensambles macro-infaunales en la Bahía de Iquique. En resumen, no se encontraron impactos significativos sobre la macro-infauna atribuibles a la actividad industrial, lo cual, podría deberse a que realmente no existen impactos o que el diseño de monitoreo de los PVAs, con el sitio control dentro de la zona de influencia portuaria, y cambios en consultora, utilizando distintas metodologías de muestreo y análisis de muestras, impidieron detectar los posibles impactos en la matriz biológica, lo que si fue evidenciado en indicadores fisicoquímicos de los sedimentos.

En cuanto a los aportes de emisiones a la Bahía de Iquique, se puede destacar en emisiones líquidas los sólidos suspendidos, aceites y grasas, hidrocarburos, además de metales como cadmio, arsénico, cobre, plomo y zinc. Si bien estos parámetros se encuentran por lo general cumpliendo la normativa de emisión vigente, no se puede descartar que estén teniendo algún efecto en las matrices ambientales, como pudiesen sugerir los datos evaluados de monitoreo. Por otra parte, los aportes de emisiones al mar del componente aire serían en general despreciables toda vez que los elementos se encuentran en bajas concentraciones en la matriz aire.

Por último, se debe destacar que existen diversas contradicciones respecto a los datos analizados desde las diversas fuentes (POAL, RETC, PVA, entre otros), las cuales pudiesen tener una explicación a que no existe una estandarización tanto en los procedimientos como en los analitos fisicoquímicos y biológicos

muestreados en cada uno de estos procesos. En este sentido se hace de vital importancia el establecer responsabilidades para la administración, gestión y revisión de los datos de monitoreo dentro de la institucionalidad ambiental.

Estos diagnósticos fueron utilizados como línea de base para elaborar un programa de monitoreo para la evaluación de variables bióticas y abióticas en la bahía de Iquique. Se propone que el muestreo sea estacional e idealmente trimestral (con campañas en primavera, verano, otoño e invierno), por una duración mínima de 2 años; y se recomienda monitorear las matrices columna de agua (análisis fisicoquímico), sedimentos (cambios poblacionales y de ensambles macro-infaunales submareales, análisis fisicoquímico) y biota (bioacumulación). La propuesta considera el monitoreo de 30 estaciones en las zonas submareal e intermareal a lo largo y ancho de la bahía; 24 de estas ubicadas dentro del área de influencia costera de la actividad industrial de Iquique, y 6 estaciones control. Se espera que la correcta implementación de este programa permitirá evaluar los impactos antrópicos en la zona costera.

Contenido

1 INTRODUCCIÓN 18

1.1 CONTEXTO DEL ESTUDIO 18
1.2 ALCANCE 20
1.3 OBJETIVO GENERAL 21
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y PRODUCTOS A DESARROLLAR 21
1.5 ORGANIZACIÓN DEL INFORME 21

2 PLAN DE TRABAJO Y METODOLOGÍA 23

2.1 REUNIONES CON LA CONTRAPARTE TÉCNICA 23
2.1.1 Reunión de inicio 23
2.1.2 Reuniones de trabajo 23
2.2 DEFINICIÓN DE ÁREA GEOGRÁFICA A EVALUAR 23
2.3 PRODUCTO 1: LÍNEA BASE Y DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y BIODIVERSIDAD DE LA BAHÍA DE IQUIQUE 25
2.3.1 Bases de datos de monitoreo 26
2.3.2 Estudios científicos 32
2.3.3 Análisis de datos fisicoquímicos 33
2.3.4 Análisis de datos de biota 35
2.4 PRODUCTO 2: INVENTARIO DETALLADO Y ESTIMACIÓN DE LA CARGA APORTADA POR FUENTES DIFUSAS Y PUNTUALES IDENTIFICADAS EN LA BAHÍA DE IQUIQUE 39
2.4.1 Identificación de fuentes emisoras 39
2.4.2 Caracterización química de fuentes emisoras 39
2.4.3 Análisis de emisiones atmosféricas 39
2.5 PRODUCTO 3: MODELO CONCEPTUAL “EMISIÓN-CONCENTRACIÓN” 42
2.6 PRODUCTO 4: PROPUESTA DE PROGRAMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA, SEDIMENTOS Y BIOTA PARA CONOCER EL ESTADO DE LA BAHÍA 45

3 LÍNEA BASE Y REVISIÓN DE BASES DE DATOS 47

3.1 CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL 47
3.1.1 Antecedentes 47
3.1.2 Usos y zonificación de la bahía 48
3.1.3 Climatología 50
3.1.4 Oceanografía 50
3.2 LÍNEA BASE FISICOQUÍMICA 51
3.2.1 Monitoreo de agua POAL 51
3.2.2 Monitoreo de sedimentos POAL 67
3.2.3 Monitoreo de biota POAL (bioacumulación) 79
3.2.4 Monitoreo de agua PVA 88
3.2.5 Monitoreo de sedimentos PVA 91
3.3 LÍNEA BASE DE BIOTA 92
3.3.1 Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) "Modificación al sistema de tratamiento y disposición final de RILes" Compañía Pesquera Camanchaca S.A.: 92
3.3.2 Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) "Suministro Petróleo Diésel Naves de Pesca desde Lanchón Pelagos" Corpesca S.A. 112

3.3.3 Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) "Proyecto Reposición de Frente de Atraque Nº1, Segunda Etapa - Empresa Portuaria de Iquique" ... 125
3.3.4 Comparación de series de tiempo y análisis de varianza ... 134

4 INVENTARIO DETALLADO Y ESTIMACIÓN DE LA CARGA APORTADA POR FUENTES DIFUSAS Y PUNTUALES IDENTIFICADAS EN LA BAHÍA DE IQUIQUE ... 138

4.1 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES EMISORAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS ... 138
4.1.1 CORPESCA S.A. ... 139
4.1.2 Aguas del Altiplano S.A. ... 140
4.1.3 Compañía Pesquera Camanchaca S.A. ... 141
4.1.4 Servicios y Refinerías del Norte S.A. 2013 – 2019 ... 143
4.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE FUENTES EMISORAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS ... 144
4.2.1 CORPESCA S.A. ... 144
4.2.2 Aguas del Altiplano S.A. ... 148
4.2.3 Compañía Pesquera Camanchaca S.A. ... 154
4.2.4 Servicios y Refinerías del Norte S.A. 2013 – 2019 ... 161
4.3 COMPARACIÓN DE EMISIONES ANUALES ENTRE LAS FUENTES DE RESIDUOS LÍQUIDOS CARACTERIZADAS ... 164
4.4 EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE PARTÍCULAS ... 167
4.4.1 Modelo climatológico hidrodinámico ... 167
4.4.2 Seguimiento de partículas lagrangianas con densidad específica ... 167
4.4.3 Resultados ... 168
4.5 EMISIONES ATMOSFÉRICAS ... 171
4.5.1 Fuentes puntuales ... 172
4.5.2 Fuentes en ruta ... 176
4.5.3 Fuentes difusas ... 179
4.5.4 Clima y meteorología ... 182
4.5.5 Calidad del aire ... 192

5 DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y BIODIVERSIDAD DE LA BAHÍA DE IQUIQUE199

5.1 DIAGNÓSTICO DE CALIDAD AMBIENTAL Y BIODIVERSIDAD ... 199
5.1.1 Columna de agua ... 199
5.1.2 Sedimentos ... 200
5.1.3 Biota (bioacumulación) ... 202
5.1.4 Monitoreo de biota ... 203
5.1.5 Análisis de matriz aire ... 204
5.1.6 Análisis de datos RETC ... 204
5.2 EVALUACIÓN DE CALIDAD DE DATOS ... 207
5.2.1 Inconsistencias ... 207
5.2.2 Vacíos de información ... 208
5.2.3 Límites de detección ... 208
5.3 RESUMEN DE LÍNEA BASE AMBIENTAL ... 212
5.4 OTROS COMPONENTES RELEVANTES EN LA BAHÍA ... 213

6 MODELO CONCEPTUAL “EMISIÓN-CONCENTRACIÓN” ... 215

6.1 FUERZAS IMPULSORAS ... 215
6.2 PRESIONES ... 219
6.3 ESTADO ... 221

6.4 IMPACTOS 221
6.5 RESPUESTAS 222

7 PROPUESTA DE PROGRAMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA, SEDIMENTOS Y BIOTA PARA CONOCER EL ESTADO DE LA BAHÍA 224

7.1 BASES METODOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DEL MONITOREO 224
7.2 RELACIÓN CON OBJETIVOS DE MANEJO AMBIENTAL COSTERO 227
7.3 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE CONTAMINANTES A MONITOREAR 227
7.3.1 Revisión de literatura 228
7.3.2 Contaminantes emergentes 229
7.3.3 Selección de contaminantes 232
7.4 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DE ESPECIES A MONITOREAR 238
7.4.1 Cambios poblacionales y de ensambles macro-infaunales submareales 238
7.4.2 Bioacumulación y ecotoxicidad en organismos marinos 239
7.5 ANÁLISIS PARA UBICACIONES Y FRECUENCIA DE MONITOREO 240
7.5.1 Zonificación del área de estudio 240
7.5.2 Puntos de muestreo y frecuencia de monitoreo 246
7.6 OTROS ASPECTOS 248
7.6.1 Métodos analíticos recomendados 248
7.6.2 Permisos requeridos 252
7.6.3 Tratamiento de las muestras 252
7.6.4 Tratamiento de datos 253
7.7 PROPUESTA DE MONITOREO DEL BORDE COSTERO Y AMBIENTE MARINO PARA LA BAHÍA DE IQUIQUE 254
7.7.1 Aspectos generales 255
7.7.2 Parámetros fisicoquímicos 255
7.7.3 Ubicaciones de puntos de muestreo 257
7.7.4 Metodología de monitoreo 263

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 266

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 268

10 LECTURAS RECOMENDADAS 275

11 EQUIPO CONSULTOR 276

Tablas

Tabla 1 – Objetivo estratégico 20
Tabla 2 – Detalle de reuniones realizadas durante el estudio 23
Tabla 3 – Coordenadas estaciones de muestreo POAL Bahía de Iquique 27
Tabla 4 – Coordenadas estaciones de los Programas de Vigilancia Ambiental 29
Tabla 5 – Grupos de analitos contemplados por la guía australiana de aguas 34
Tabla 6 – Analitos contemplados por la guía australiana de sedimentos 35
Tabla 7 – Eventos de muestreo 51
Tabla 8 – Puntos muestreados históricamente 52
Tabla 9 – Estadísticas de metales totales en columna de agua 54
Tabla 10 – Estadísticas de metales disueltos en columna de agua 55
Tabla 11 – Estadísticas de nutrientes en columna de agua 59
Tabla 12 – Estadísticas de otros parámetros (oxígeno disuelto, sólidos disueltos y suspendidos, y coliformes fecales y totales) en columna de agua 63
Tabla 13 – Eventos de muestreo 67
Tabla 14 – Puntos muestreados históricamente para sedimentos 68
Tabla 15 – Estadísticas de metales en sedimentos 70
Tabla 16 – Estadísticas de nutrientes en sedimentos 73
Tabla 17 – Estadísticas de compuestos orgánicos en sedimentos 76
Tabla 18 – Granulometría promedio en sedimentos 78
Tabla 19 – Eventos de muestreo para biota 79
Tabla 20 – Puntos muestreados históricamente para biota 80
Tabla 21 – Estadísticas de metales totales para biota 82
Tabla 22 – Estadísticas de coliformes fecales para biota 87
Tabla 23 – Ficha de caracterización de CORPESCA S.A. 139
Tabla 24 – Ficha de caracterización de Aguas del Altiplano S.A. 140
Tabla 25 – Ficha de caracterización de Camanchaca S.A. 141
Tabla 26 – Ficha de caracterización de Servicios y Refinerías del Norte S.A. 143
Tabla 27 – Declaraciones de Impacto Ambiental presentadas por CORPESCA en comuna de Iquique 145
Tabla 28 – Declaraciones de Impacto Ambiental y Estudios de Impacto Ambiental presentados por Aguas del Altiplano S.A. en comuna de Iquique 148
Tabla 29 – Declaraciones de Impacto Ambiental presentadas por Camanchaca en comuna de Iquique 154
Tabla 30 – Declaraciones de Impacto Ambiental presentadas por Servicios y Refinerías del Norte S.A. en comuna de Iquique 161
Tabla 31 – Emisión de fuentes puntuales en la comuna de Iquique 174
Tabla 32 – Emisión proveniente de fuentes puntuales en la comuna de Iquique, Año 2020. 174
Tabla 33 – Emisiones en ruta en la comuna de Iquique, año 2020 177
Tabla 34 – Distribución de emisiones en ruta según tipo de fuente y contaminante emitido 177
Tabla 35 – Emisiones difusas en la comuna de Iquique, año 2020 180
Tabla 36 – Distribución de emisión de contaminantes provenientes de fuentes difusas en la comuna de Iquique en 2020 180
Tabla 37 – Clasificación climática, bahía de Iquique 182
Tabla 38 – Información estaciones con datos meteorológicos 182
Tabla 39 – Resumen de estadígrafos, Temperatura (°C) 183
Tabla 40 – Resumen de estadígrafos, Humedad relativa (%) 186
Tabla 41 – Resumen de estadígrafos, Precipitación (mm) 189
Tabla 42 – Resumen de estadígrafos, dirección (°) y velocidad (m/s) del viento 190

Tabla 43 – Coordenadas de estación más cercanas a bahía de Iquique 192
Tabla 44 – Resumen de concentración de MP_{10} de las estaciones de calidad del aire cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°11/21. 192
Tabla 45 – Resumen de concentración de $MP_{2,5}$ de las estaciones de calidad del aire, cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°12/11. 193
Tabla 46 - Resumen de concentración de NO_2 de las estaciones de calidad del aire, cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°114/03. 194
Tabla 47 - Resumen de concentración de SO_2 de las estaciones de calidad del aire, cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°114/19 y D.S. N°22/09. 195
Tabla 48 - Resumen de concentración de CO de las estaciones de calidad del aire, cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°115/02. 196
Tabla 49 – Ubicación Estación SINCA Alto Hospicio 196
Tabla 50 – Estadígrafos de concentraciones diarias $MP_{2,5}$ registradas en la estación SINCA Alto Hospicio197
Tabla 51 – Resumen de concentración y limite normativo diario de $MP_{2,5}$ de la estación SINCA Alto Hospicio 198
Tabla 52 – Resumen de concentración y limite normativo anual de $MP_{2,5}$ de la estación SINCA Alto Hospicio 198
Tabla 53 – Comparación de emisiones anuales reportadas en RETC entre años 2007 al 2010 y 2012 al 2019 para las Bahías de Huasco e Iquique 205
Tabla 54 – Comparación de emisiones anuales reportadas en RETC del año 2019 para las Bahías de Huasco e Iquique 206
Tabla 55 – Resultados del análisis de uso de LD en monitoreo POAL agua (Total de años = 25). 209
Tabla 56 – Resultados del análisis de uso de LD en monitoreo POAL sedimentos (Total de años = 24). ... 210
Tabla 57 – Fuerzas impulsoras del cambio escalas global y local 218
Tabla 58 – Presiones 220
Tabla 59 – Estado 221
Tabla 60 – Impactos 222
Tabla 61 – Respuestas 223
Tabla 62 – Contaminantes relevantes según industria 228
Tabla 63 – Análisis global de analitos relevantes 233
Tabla 64 – Análisis de la incorporación de los analitos al programa de monitoreo 237
Tabla 65 – Fuentes potencialmente contaminantes en el área de estudio 240
Tabla 66 – Método de análisis recomendado para cada analito 249
Tabla 67 – Analitos fisicoquímicos 255
Tabla 68 – Ubicación de los puntos de muestreo 262
Tabla 69 – Resumen del monitoreo a realizar en cada uno de los 10 nodos de muestreo 265

Figuras

Figura 1 – Área de estudio 24
Figura 2 – Cobertura temporal de las principales bases de datos ambientales para la Bahía de Iquique ... 25
Figura 3 – Ubicaciones donde se realiza el POAL 26
Figura 4 – Ubicaciones muestreo del POAL en la Bahía de Iquique 28
Figura 5 – Ubicación estaciones Programas de Vigilancia Ambiental de Compañía Pesquera Camanchaca S.A., Compañía Pesquera Corpesca S.A. y Empresa Portuaria de Iquique 30
Figura 6 – Tendencias anuales en abundancia (total y acumulada) y riqueza (ejemplo) 37

Figura 7 – Tendencias anuales en biomasa total y relativa, y su relación con abundancia y riqueza (ejemplo) 38
Figura 8 – Curvas de abundancia y biomasa como indicador de perturbación ambiental, y comparación temporal de curvas para 3 PVA (ejemplo) 38
Figura 9 – Transporte de contaminantes atmosféricos 41
Figura 10 – Marco Eco DPSIR y las relaciones conceptuales entre las categorías DPSIR 43
Figura 11 – Modelo DPSIR EPA y Adaptación de Modelo del MMA 45
Figura 12 – Zonificación de uso de borde costero de Puerto de Tarapacá (en rojo se indica área de estudio) 49
Figura 13 – Puntos de muestreo de agua POAL 53
Figura 14 – Concentración promedio anual por estación y año de cobre total 56
Figura 15 – Concentración promedio anual por estación y año de cobre disuelto 56
Figura 16 – Concentración promedio anual por estación y año de cromo total 57
Figura 17 – Concentración promedio anual por estación y año de cromo disuelto 57
Figura 18 – Concentración promedio anual por estación y año de zinc total 58
Figura 19 – Concentración promedio anual por estación y año de zinc disuelto 58
Figura 20 – Concentración promedio anual por estación y año de fosfato 60
Figura 21 – Concentración promedio anual por estación y año de fósforo total 60
Figura 22 – Concentración promedio anual por estación y año de nitrógeno Kjeldahl 61
Figura 23 – Concentración promedio anual por estación y año de amonio 62
Figura 24 – Concentración promedio anual por estación y año de oxígeno disuelto 64
Figura 25 – Concentración promedio anual por estación y año de coliformes fecales 65
Figura 26 – Concentración promedio anual por estación y año de HAPs 66
Figura 27 – Concentración promedio anual por estación y año de aceites y grasas 66
Figura 28 – Puntos de muestreo de sedimentos POAL 69
Figura 29 – Concentración promedio anual por estación y año de cadmio 71
Figura 30 – Concentración promedio anual por estación y año de cobre 72
Figura 31 – Concentración promedio anual por estación y año de mercurio 73
Figura 32 – Concentración promedio anual por estación y año de fósforo 74
Figura 33 – Concentración promedio anual por estación y año de nitrógeno Kjeldahl 75
Figura 34 – Concentración promedio anual por estación y año de materia orgánica 75
Figura 35 – Concentración promedio anual por estación y año de hidrocarburos totales 77
Figura 36 – Concentración promedio anual por estación y año de hidrocarburos fijos 77
Figura 37 – Puntos de monitoreo para biota 81
Figura 38 – Concentraciones de arsénico en biota 83
Figura 39 – Concentraciones de cadmio en biota 84
Figura 40 – Concentraciones de cobre en biota 84
Figura 41 – Concentraciones de cromo en biota 85
Figura 42 – Concentraciones de mercurio en biota 85
Figura 43 – Concentraciones de plomo en biota 86
Figura 44 – Concentraciones de zinc en biota 86
Figura 45 – Concentraciones de coliformes fecales en biota 87
Figura 46 – Series de tiempo reportadas en el PVA de Camanchaca para oxígeno disuelto, Sólidos suspendidos totales, fósforo total, aceites y grasas y coliformes fecales en muestras de agua 89
Figura 47 – Series de tiempo reportadas en el PVA de Camanchaca para nitrógeno total y fósforo total en sedimentos 90
Figura 48 – Series de tiempo reportadas en el PVA de Puerto Iquique para oxígeno disuelto, zinc, cobre y Sólidos suspendidos totales en agua de mar 91

Figura 49 – Series de tiempo reportadas en el PVA de Puerto Iquique para cadmio, zinc, cobre y cromo en muestras de sedimento 92
Figura 50 – Ubicación puntos de muestreo PVA Camanchaca 94
Figura 51 – Serie de tiempo 2013-2021 de riqueza (a), abundancias (b), biomasa (c), diversidad y uniformidad (d) de los ensambles macro-infaunales encontradas dentro (est. 1, 2, 3 y E) y fuera (C-control) de la zona de influencia operacional de la empresa pesquera Camanchaca. Los años, temporadas y estaciones de muestreo, y consultoras son diferenciadas. 95
Figura 52 – Análisis boxplot de las 6 variables respuesta de la macro-infauna submareal reportadas por el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 95
Figura 53 – Variación boxplot anual de la riqueza macro-infaunal reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 96
Figura 54 – Variación boxplot estacional de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 96
Figura 55 – Variación boxplot por estación de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 96
Figura 56 – Variación boxplot por consultora de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 97
Figura 57 – Variación boxplot estacional ordenado por estación de muestreo de riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca 97
Figura 58 – Variación boxplot por consultora ordenado por estación de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 98
Figura 59 – Variación boxplot anual de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 98
Figura 60 – Variación boxplot estacional de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 99
Figura 61 – Variación boxplot por estación de muestreo de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 99
Figura 62 – Variación boxplot por consultora de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 100
Figura 63 – Variación boxplot estacional ordenado por estación de muestreo de abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 100
Figura 64 – Variación boxplot por consultora ordenado por estación de muestreo de abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 101
Figura 65 – Variación boxplot anual de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 102
Figura 66 – Variación boxplot estacional de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 102
Figura 67 – Variación boxplot por estación de muestreo de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 103
Figura 68 – Variación boxplot por consultora de biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 103
Figura 69 – Variación boxplot estación ordenado por estación de muestreo de biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 104
Figura 70 – Variación boxplot por consultora ordenado por estación de muestreo de biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 104
Figura 71 – Variación boxplot anual de diversidad (arriba) y uniformidad (abajo) comunitarias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 105

Figura 72 – Variación boxplot estacional de diversidad (arriba) y uniformidad (abajo) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 106
Figura 73 – Variación boxplot por estación de muestreo de diversidad (arriba) y uniformidad (abajo) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca..... 106
Figura 74 – Variación boxplot por consultora de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca..... 107
Figura 75 – Variación boxplot estacional ordenados por estación de muestreo de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 107
Figura 76 – Variación boxplot por consultora ordenado por estación de muestreo de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca 108
Figura 77 – Comparación histórica anual y por estación del estadígrafo W y metodologías de muestreo y análisis de datos de la empresa Camanchaca 109
Figura 78 – Variación boxplot anual del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca y calculado por EnSoil 109
Figura 79 – Variación boxplot estacional del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca y calculado por EnSoil 110
Figura 80 – Variación boxplot por estación de muestreo del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca y calculado por EnSoil..... 110
Figura 81 – Variación boxplot por consultora del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca y calculado por EnSoil..... 111
Figura 82 – Variación boxplot estacional ordenado por estación de muestreo del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca y calculado por EnSoil 111
Figura 83 – Variación boxplot por consultora ordenados por estación de muestreo del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca y calculado por EnSoil 112
Figura 84 – Ubicación puntos de muestreo PVA Corpesca 113
Figura 85 – Serie de tiempo 2013-2021 de riqueza (a), abundancias (b), biomasa (c), diversidad y uniformidad (d) de los ensambles macro-infaunales encontradas dentro (CRPI-3 y CRPI-4) y fuera (CRPI-1 o control) de la zona de influencia operacional de la empresa Corpesca. Los años, temporadas y estaciones de muestreo, y consultoras son diferenciados. 114
Figura 86 – Análisis boxplot de las 6 variables respuesta de la macro-infauna submareal reportadas por el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca..... 114
Figura 87 – Variación boxplot anual de la riqueza macro-infaunal reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 115
Figura 88 – Variación boxplot estacional (izquierda), por estación de muestreo (al medio) y consultora (derecha) de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca..... 115
Figura 89 – Variación boxplot estacional (izquierda) y por consultora (derecha) ordenados por estación de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca..... 116
Figura 90 – Variación boxplot anual de la abundancia macro-infaunal reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 116
Figura 91 – Variación boxplot por estación (izquierda) y sitio de muestreo (al medio) y consultora (derecha) de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 117
Figura 92 – Variación boxplot por estacion (izquierda) y consultora (derecha) ordenados por sitio de muestreo de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 117
Figura 93 – Variación boxplot anual de la biomasa macro-infaunal reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 118

Figura 94 – Variación boxplot por estacion (izquierda) y sitio de muestreo (al medio), y consultora (derecha) de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 118
Figura 95 – Variación boxplot por estación (izquierda) y consultora (derecha) ordenados por sitio de muestreo de la abundancia reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 119
Figura 96 – Variación boxplot anual de diversidad (arriba) y uniformidad (abajo) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 119
Figura 97 – Variación boxplot estacional de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 120
Figura 98 – Variación boxplot por sitio de muestreo de la diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de Corpesca 120
Figura 99 – Variación boxplot por consultora de la diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca 121
Figura 100 – Variación boxplot por estación y sitio de muestreo de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de Corpesca 121
Figura 101 – Variación boxplot por consultora y sitio de muestreo de la diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de Corpesca 122
Figura 102 – Comparación histórica anual y por estación del estadígrafo W y metodologías de muestreo y análisis de datos de la empresa Corpesca 123
Figura 103 – Variación boxplot anual del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca y calculado por EnSoil 123
Figura 104 – Variación boxplot por estación (izquierda) y sitio de muestreo (al medio), y consultora (derecha) del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca y calculado por EnSoil 124
Figura 105 – Variación boxplot por estación de muestreo (arriba) y por consultora (abajo) ordenados por sitio de muestreo del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca y calculado por EnSoil 124
Figura 106 – Ubicación puntos de muestreo PVA Empresa Portuaria de Iquique 126
Figura 107 – Serie de tiempo 2018-2019 de riqueza (a), abundancias (b), biomasa (c), diversidad y uniformidad (d) de los ensambles macro-infaunales encontradas dentro (E1 y E2) y fuera (E3 y E4) del área de influencia operacional del Puerto de Iquique. Los años, temporadas y estaciones de muestreo son diferenciados. 127
Figura 108 – Análisis boxplot de 6 variables respuesta de la macro-infauna submareal reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 127
Figura 109 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 128
Figura 110 – Variación boxplot estacional por sitio de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 128
Figura 111 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 129
Figura 112 – Variación boxplot estacional por sitio de muestreo de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 129
Figura 113 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 130
Figura 114 – Variación boxplot estacional por sitio de muestreo de biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 130
Figura 115 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de la diversidad reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 131

Figura 116 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de uniformidad reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 131
Figura 117 – Variación boxplot estacional por sitio de muestreo de la diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportados en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique..... 132
Figura 118 – Comparación trimestral del estadígrafo W y metodologías de muestreo y análisis de datos del Puerto de Iquique 133
Figura 119 – Variación boxplot por año, y estación y sitio de muestreo del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique 133
Figura 120 – Variación boxplot estacional por estación y sitio de muestreo del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique..... 134
Figura 121 – Serie de tiempo 2013-2021 del índice W y su relación con índice H' (a) y posición geográfica de los sitios de referencia y control (b) asociados al Programa de Vigilancia Ambiental de las empresas Corpesca, Camanchaca, y Puerto de Iquique. Mapa y Data-Interpolation Variational Analysis (DIVA) fueron producidos con Ocean Data View (Schiltzer, 2018). 135
Figura 122 – Serie de tiempo 2013-2021 del índice W en relación con la diversidad macro-infaunal (a) y posición geográfica de los sitios de muestreo de las 3 unidades fiscalizables (Camanchaca, Corpesca y Puerto de Iquique). Data-Interpolation Variational Analysis (DIVA) fueron producidos con Ocean Data View (Schiltzer, 2018). 136
Figura 123 – Resultados del análisis de varianza de 1 vía y de Tukey buscando diferencias significativas en el índice W entre sitio(s) (referencia vs control) y estaciones de muestreo (otoño, invierno, primavera, verano) y consultoría asociada al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca a), Corpesca b) y el Puerto de Iquique c). Sobre cada serie el valor F y p son mostrados..... 137
Figura 124 – Ubicación fuentes emisoras a cuerpos de agua marítimos en área del proyecto 138
Figura 125 – Ubicación de plantas de CORPESCA S.A. en Iquique 140
Figura 126 – Ubicación del punto de descarga de emisarios submarinos de Aguas del Altiplano en Iquique 141
Figura 127 – Ubicación del punto de descarga de Camanchaca Pesca Norte en Iquique..... 143
Figura 128 – Ubicación según RETC de fuente emisora Servicios y Refinerías del Norte S.A..... 144
Figura 129 – Porcentaje de la Emisiones anuales total del periodo 2006 a 2020 para Corpesca S.A. 145
Figura 130 – Emisiones anuales de (a) aceites y grasas, (b) cadmio, (c) arsénico y (d) cobre para Corpesca 146
Figura 131 – Emisiones anuales de (a) hidrocarburos totales, (b) plomo, (c) sólidos suspendidos totales y (d) zinc para Corpesca S.A..... 147
Figura 132 – Modelación de pluma de coliformes fecales en punto de descarga emisario Playa Brava ... 149
Figura 133 – Modelación de pluma de coliformes fecales en punto de descarga emisario Punta Negra.. 150
Figura 134 – Porcentaje de la Emisiones anuales total del periodo 2006 a 2020 para Aguas del Altiplano 151
Figura 135 – Emisiones anuales de (a) aceites y grasas, (b) cadmio, (c) arsénico y (d) cobre para Aguas del Altiplano..... 152
Figura 136 – Emisiones anuales de (a) hidrocarburos totales, (b) plomo, (c) sólidos suspendidos totales y (d) zinc para Aguas del Altiplano..... 153
Figura 137 – Serie de tiempo del PVA entre año 1997 y 2012 para caracterización química de emisario submarino de Camanchaca S.A..... 155
Figura 138 – Serie de tiempo para (a) aceites y grasas, (b) sólidos suspendidos totales y (c) fluoruro para caracterización química de emisario submarino de Camanchaca S.A. 156
Figura 139 – Serie de tiempo para (a) cadmio, (b) níquel y (c) zinc para caracterización química de emisario submarino de Camanchaca S.A..... 157
Figura 140 – Porcentaje de la Emisiones anuales total del periodo 2006 a 2020 para Camanchaca S.A... 158

Figura 141 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Cadmio, (c) Arsénico y (d) Cobre para Camanchaca S.A. 159
Figura 142 – Emisiones anuales de (a) Hidrocarburos Totales, (b) Plomo, (c) Sólidos Suspendidos Totales y (d) Zinc para Camanchaca S.A. 160
Figura 143 – Porcentaje de la Emisiones anuales total del periodo 2006 a 2020 para Servicios y refinerías del norte S.A. 161
Figura 144 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Cadmio, (c) Arsénico y (d) Cobre para Servicios y Refinerías del Norte 162
Figura 145 – Emisiones anuales de (a) Hidrocarburos Totales, (b) Plomo, (c) Sólidos Suspendidos Totales y (d) Zinc para Servicios y Refinerías del Norte 163
Figura 146 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Cadmio, (c) Arsénico y (d) Cobre para las cuatro fuentes descritas 165
Figura 147 – Emisiones anuales de (a) hidrocarburos totales, (b) plomo, (c) sólidos suspendidos totales y (d) zinc para las cuatro fuentes descritas 166
Figura 148 – Resultado de la simulación de liberación de partículas pasivas desde la zona de influencia del suministro de petróleo desde Lanchón Pelagos de Corpesca (a) y emisario submarino de Camanchaca (b). Las partículas pasivas poseen la densidad específica del petróleo (Corpesca) y relave industrial (Camanchaca) y con un forzamiento desde un modelo climatológico hidrodinámico. El punto de liberación de las partículas es denotado por un triángulo verde (~20º S) 169
Figura 149 – Profundidad promedio y tiempo promedio transcurrido desde la liberación de partículas desde la zona de influencia de Corpesca. (a) Profundidad promedio, (b) desviación estándar de la profundidad, (c) tiempo promedio de viaje y (d) desviación estándar del tiempo de viaje. El punto de liberación de las partículas es denotado por un triángulo verde (~20º S) 170
Figura 150 – Profundidad promedio y tiempo promedio transcurrido desde la liberación de partículas desde el emisario de Camanchaca. (a) Profundidad promedio, (b) desviación estándar de la profundidad, (c) tiempo promedio de viaje y (d) desviación estándar del tiempo de viaje. El punto de liberación de las partículas es denotado por un triángulo verde (~20º S). 171
Figura 151 – Frecuencia de tipos de fuentes puntuales en la comuna de Iquique, año 2020. 172
Figura 152 – Frecuencia de tipos de fuentes puntuales según combustible utilizado en la comuna de Iquique, año 2020. 173
Figura 153 – Series de tiempo – Temperatura, Estación SINCA Alto Hospicio 184
Figura 154 – Series de tiempo – Temperatura, Estación DGAC Diego Aracena Ap. 185
Figura 155 – Series de tiempo – Humedad relativa, Estación SINCA Alto Hospicio 187
Figura 156 – Series de tiempo – Humedad relativa, DGAC Diego Aracena Ap. 188
Figura 157 – Series de tiempo – Precipitación, DGAC Diego Aracena Ap. 189
Figura 158 – Rosas de viento, estación SINCA Alto Hospicio y DGAC Diego Aracena Iquique Ap. 191
Figura 159 – Concentraciones diarias $MP_{2,5}$ registradas en la estación SINCA Alto Hospicio 197
Figura 160 – Comportamiento horario promedio de los registros de $MP_{2,5}$ en la estación SINCA Alto Hospicio 198
Figura 161 – Ubicación de puntos de muestreo de agua y potenciales fuentes de contaminación 200
Figura 162 – Ubicación de puntos de muestreo de sedimentos y potenciales fuentes de contaminación 201
Figura 163 – Ubicación de puntos de muestreo de sedimentos y potenciales fuentes de contaminación en zona portuaria 202
Figura 164 – Ubicación de puntos de muestreo de biota y potenciales fuentes de contaminación 203
Figura 165 – Ubicación de Esmeralda, emisario submarino y puntos de muestreo 214
Figura 166 – Modelo DPSIR con preguntas de investigación 216
Figura 167 – Producto Interno Bruto Regional de Tarapacá según actividad económica, 2018 217
Figura 168 – Fuentes de contaminantes emergentes al medio acuático 229

Figura 169 – Ubicación de las fuentes potencialmente contaminantes de la bahía 241
Figura 170 – Zonificación de usos de borde costero 242
Figura 171 – Espacios marítimos bahía de Iquique 243
Figura 172 – Batimetría del área de estudio 244
Figura 173 – Zonas de monitoreo definidas en el área de estudio 246
Figura 174 – Ejemplo de diagrama Schoeller 254
Figura 175 – Ubicación general de los puntos de muestreo 258
Figura 176 – Ubicación de los puntos de muestreo en zona portuaria 259
Figura 177 – Ubicación de los puntos de muestreo en zona turística 260
Figura 178 – Ubicación de los puntos de control norte 261
Figura 179 – Ubicación de los puntos de control sur 262

Anexos

Anexo 1 – Minuta reunión de inicio
Anexo 2 – Presentación reunión de inicio
Anexo 3 – Base de datos POAL de agua
Anexo 4 – Base de datos POAL de sedimentos
Anexo 5 – Base de datos POAL de biota
Anexo 6 – Base de datos PVA Camanchaca biota
Anexo 7 – Base de datos PVA Corpesca biota
Anexo 8 – Base de datos PVA Puerto de Iquique biota
Anexo 9 – Base de datos RETC
Anexo 10 – Límites de detección POAL agua
Anexo 11 – Límites de detección POAL sedimentos
Anexo 12 – Modelo conceptual DPSIR
Anexo 13 – Archivos SIG

Abreviaturas y acrónimos

DIRECTEMAR - Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante
ENB - Estrategia Nacional de Biodiversidad
GEMCH - Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt
POAL - Programa de Observación del Ambiente Litoral
PVA - Programa de Vigilancia Ambiental
SUBPESCA - Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile

1 Introducción

El presente documento corresponde al Informe final del estudio "Línea base y diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la Bahía de Iquique", encargado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (en adelante, PNUD).

El estudio tiene por finalidad el levantamiento de una línea base sobre la calidad ambiental y la biodiversidad de la bahía de Iquique, junto con un diagnóstico que permita conocer el estado actual de la bahía con relación a agentes contaminantes, identificar problemas y acciones de mejora en asuntos relacionados con la calidad ambiental del espacio marino costero y proponer un programa de monitoreo de la calidad de agua, sedimentos y biota.

1.1 Contexto del estudio

Se entiende que durante el periodo 2011-2016, fue ejecutado el Proyecto Chile-Perú "Hacia un Manejo con Enfoque Ecosistémico del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt", mediante el cual, los países realizaron un Análisis Diagnóstico Transzonal para identificar los problemas ambientales y antropogénicos que afectan la salud del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt (GEMCH) y elaboraron un Programa de Acción Estratégico con el objetivo de mitigar o al menos disminuir los problemas identificados, entre los que destacan:

i) la explotación no óptima de los recursos pesqueros
ii) la alteración antrópica del hábitat marino
iii) la elevada pesca incidental o fauna acompañante y descartes

Actualmente, Chile y Perú están implementando el proyecto "Catalizando la implementación de un Programa de Acción Estratégico para la gestión sostenible de los recursos marinos vivos compartidos en el Sistema de la Corriente de Humboldt", conocido como "Proyecto Humboldt II". La iniciativa es ejecutada por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile (SUBPESCA) y el Viceministerio de Pesca y Acuicultura del Ministerio de la Producción de Perú (VMPA-PRODUCE) e implementada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con cofinanciamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por su sigla en inglés).

Uno de los objetivos del Programa de Acción Estratégico consiste en "mejorar la calidad ambiental del ecosistema marino y costero mediante el manejo integrado considerando las diversas fuentes de contaminantes". El problema identificado está relacionado con la alteración antrópica del hábitat marino, lo cual provoca impactos ambientales y socioeconómicos, tales como, deterioro de la calidad del agua y sedimentos marinos; mortandad de organismos marinos; alteración de la biodiversidad y reducción de resiliencia de los ecosistemas; pérdida económica, empleo y disminución de la competitividad de la actividad productiva; disminución de la seguridad alimentaria de los alimentos de origen marino; entre otros.

La intensificación del uso de la zona costera y la plataforma continental, debido a la expansión urbana y el desarrollo de actividades productivas como la pesca, acuicultura, turismo, explotación de hidrocarburos y operaciones portuarias, son factores que exacerban el problema identificado, provocando un innegable

deterioro del ambiente, generado en gran parte, por una cantidad considerable de contaminantes eliminados al medio.

No obstante, un resumen del estado del conocimiento de la biodiversidad en el ámbito marino y costero arroja que no se cuenta con información suficiente de su biodiversidad, que permita dar cuenta de la pérdida y/o alteración de estos ecosistemas, así como de las especies que los componen.

Con relación a esto y específicamente a programas de monitoreo y su relación con biodiversidad, cabe señalar que en Chile existe la Estrategia Nacional de Biodiversidad actualizada desde el año 2003 en la presente versión 2017-2030, que establece el marco de acción en materia del respeto, valoración de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del país, deteniendo la pérdida y degradación, promoviendo la restauración y el uso de manera sustentable.

Una aproximación al estado de estos ecosistemas es la que proviene de estudios internacionales como el Índice de Salud General de los Océanos, el cual señala que la biodiversidad marina de Chile y su estado de conservación se encuentra en un nivel "bueno". Contrariamente, no son bien evaluadas actividades como la pesquería, acuicultura y extracción de recursos oceánicos no alimenticios, los cuales estarían afectando la capacidad de recuperación de los océanos y de provisión de recursos. Esto se debería a la mala calidad de las aguas, enriquecimiento de nutrientes en cuerpos de agua cerrados como bahías, canales y fiordos, destrucción del hábitat, captura incidental, liberación accidental de especies no autóctonas, y la sobreexplotación de especies hidrobiológicas de interés comercial (en el año 2013, un 48% de las pesquerías chilenas se encontraban sobreexplotadas, agotadas o colapsadas).

Las ecorregiones marinas costeras frente a Chile continental tienen condiciones relativamente similares en cuanto a degradación o modificación de sus ecosistemas. Los factores que provocan los cambios en la zona litoral se deben a varias razones y externalidades, entre las cuales la literatura científica expone las siguientes para la zona norte:

- Una intensa explotación pesquera.
- Señales de enriquecimiento metalogénico de grado moderado a severo, asociado con faenas históricamente relacionadas con la minería y la actividad portuaria (Iquique).
- Las descargas al mar de residuos urbanos.
- Las descargas del procesamiento de productos marinos con escaso o nulo tratamiento.
- El aporte de la contaminación difusa de las cuencas.

La gestión de la biodiversidad requiere de la generación y actualización de información para la evaluación y toma de decisiones. Hasta ahora dicha información presenta una lógica más bien casuística, proyecto a proyecto, y con dispersión de enfoques y métodos.

Es conocido que algunas recomendaciones de la Evaluación de Desempeño Ambiental de OCDE-CEPAL en 2005, se relacionan con una red de monitoreo de la biodiversidad. Así, por ejemplo, la Recomendación N° 17 señala: "Hacer más énfasis en el manejo del agua para la protección de los ecosistemas acuáticos; mejorar la integración de las consideraciones ambientales en el manejo del agua estableciendo un régimen sólido para los caudales ecológicos mínimos y normas biológicas sobre la calidad del agua". Por su parte la Recomendación N° 50 indica: "Dar continuidad a las iniciativas nacionales y bilaterales en las áreas de investigación, seguimiento y manejo sustentable de los ecosistemas marinos (pesquerías sustentables,

prevención de contaminación marina, entre otros); fortalecer la prevención de los vertidos de petróleo y las capacidades de mitigación".

La Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030 (ENB) constituye el instrumento integrador de los principales objetivos estratégicos, acciones y metas país en materia de conservación y uso sustentable de la biodiversidad. Es así como se hace pocos años se tiene en este marco, el instrumento Estrategia Nacional para la Conservación Marina y de Islas Oceánicas.

El desarrollo y generación de monitoreos es además un elemento central del Plan de Acción Nacional de la ENB 2017-2030, que contempla como ámbito temático la conservación de la Biodiversidad Marina y de Islas Oceánicas, que a su vez tiene un número de objetivos estratégicos relacionados con la biodiversidad marina del territorio chileno (Tabla 1). Es así como la ENB 2017-2030 contempla actividades transversales y metas y donde uno de los objetivos estratégicos se refiere al desarrollo de una red de monitoreo que involucra también la biodiversidad marina.

Tabla 1 – Objetivo estratégico

Objetivo estratégico: Desarrollar la conciencia, la participación, la información y el conocimiento sobre la biodiversidad, como base del bienestar de la población	
Actividades	Metas
2. Desarrollar una red de monitoreo de la biodiversidad terrestre y acuática tanto continental como marina, dotada de un sistema de alerta temprana.	2.1 Al 2020, se habrán establecido arreglos institucionales y un marco operativo básico para iniciar el funcionamiento de la red. 2.2 Al 2030, el país contará con una red de monitoreo de la biodiversidad plenamente funcional, con capacidad de reporte y generación de información para la toma de decisiones, la gestión y la comunicación hacia la sociedad civil.

En función de lo anteriormente expuesto se tiene el marco de referencia, contenido en esfuerzos del estado en materia de biodiversidad, de la importancia del tema que subyace a esta consultoría y el impacto que genera hoy en el mundo académico, público y privado.

El presente estudio se enmarca entonces en el Programa de Acción Estratégico principalmente, pero toma en cuenta otras iniciativas públicas y tiene por finalidad el levantamiento de una línea base sobre la calidad ambiental y la biodiversidad de la bahía de Iquique, junto con un diagnóstico que permita conocer el estado actual de la bahía en relación a agentes contaminantes, identificar problemas y acciones de mejora en asuntos relacionados con la calidad ambiental del espacio marino costero y proponer un programa de monitoreo de la calidad de agua, sedimentos y biota.

1.2 Alcance

El alcance de este proyecto es el de realizar un estudio del estado ambiental del borde costero de Iquique, lo que ha sido indicado en las bases de la licitación y está de acuerdo con uno de los objetivos del Programa de Acción Estratégico que consiste en "mejorar la calidad ambiental del ecosistema marino y costero mediante el manejo integrado considerando las diversas fuentes de contaminantes".

Se entiende que la presente consultoría constituye la etapa inicial, para avanzar en un Plan de mejoramiento de calidad ambiental para la bahía de Iquique ya que los productos generados en esta etapa, se utilizarán en una fase posterior (en 2023), para la elaboración de un Plan de Acción y una propuesta de hoja de ruta con pasos a seguir para avanzar en la mejora de la calidad ambiental de la bahía de Iquique y para generar insumos necesarios para elaborar la propuesta de regulación que permita mejorar o mantener la calidad de las aguas y sedimentos de la bahía de Iquique.

1.3 Objetivo general

De acuerdo con las bases de la licitación, el objetivo general es levantar la línea base, realizar un diagnóstico de la calidad ambiental y de la biodiversidad de la bahía de Iquique, y proponer un programa de monitoreo de calidad de agua, sedimentos y biota para conocer el estado de la bahía.

1.4 Objetivos específicos y productos a desarrollar

Los objetivos específicos de esta consultoría son los siguientes:

a) **Objetivo específico Nº1**: Recopilar y sistematizar información de calidad de agua, sedimentos e información biológica.
b) **Objetivo específico Nº2:** Generar un inventario detallado y una estimación de la carga aportada por fuentes difusas y puntuales identificadas en la bahía de Iquique.
c) **Objetivo específico Nº3:** Elaborar un modelo conceptual "emisión-concentración".
d) **Objetivo específico Nº4:** En función de los resultados anteriores, proponer un programa de monitoreo de calidad de agua, sedimentos y biota para conocer el estado de la bahía.

En línea con los objetivos específicos y productos a desarrollar se han propuesto los siguientes informes que debe desarrollar esta consultoría de la siguiente manera:

- Producto 1: Línea base y diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la bahía de Iquique.
- Producto 2: Inventario detallado y estimación de la carga aportada por fuentes difusas y puntuales identificadas en la bahía de Iquique.
- Producto 3: Modelo conceptual "emisión-concentración".
- Producto 4: Propuesta de programa de monitoreo de calidad de agua, sedimentos y biota para conocer el estado de la bahía.

1.5 Organización del informe

Este informe está organizado según los requerimientos objetivos específicos, de acuerdo a las bases de licitación, de manera que, en cada uno de ellos, se presenta la metodología utilizada para realizar las actividades propuestas y sus resultados. En línea con los objetivos específicos y productos a desarrollar se han propuesto los siguientes informes que debe desarrollar esta consultoría de la siguiente manera:

- Informe de avance 1: Informe que contiene el plan de trabajo y metodología definitiva de la consultoría, ajustada de acuerdo con las observaciones de la contraparte técnica.

- Informe de avance 2: Informe que contiene los resultados obtenidos para la elaboración de los Productos 1 y 2 descritos anteriormente.
- Informe de avance 3: Informe que contiene los resultados obtenidos para la elaboración de los Productos 3 y 4 descritos anteriormente.
- Informe final: Informe que contiene una consolidación de todas las actividades asociadas a los objetivos específicos, incluyendo una sección de conclusiones y recomendaciones generales.

El presente documento corresponde al Informe final.

2 Plan de trabajo y metodología

A continuación, se presenta el plan de trabajo y metodología desarrollada para cada producto parte de la consultoría.

2.1 Reuniones con la contraparte técnica

2.1.1 Reunión de inicio

Como primera actividad de esta consultoría, se realizó una reunión de inicio en que participó la contraparte técnica del estudio (profesionales del Ministerio del Medio Ambiente y especialistas del Proyecto Humboldt II) y el equipo de EnSoil. La reunión se desarrolló el día 20 de septiembre de 2022 y se presentó y discutió la metodología y el plan de trabajo propuesto. En el Anexo 1 se presenta la minuta de la reunión y el Anexo 2 contiene la presentación realizada.

2.1.2 Reuniones de trabajo

A lo largo de la consultoría, se realizaron diferentes reuniones de trabajo con el equipo consultor y la contraparte técnica, en las que se definieron aspectos metodológicos y de alcance, se resolvieron consultas y se revisaron observaciones con respecto a los entregables, entre otras. En la siguiente tabla, se presenta un resumen de estas reuniones.

Tabla 2 – Detalle de reuniones realizadas durante el estudio

Instancia	Participantes	Fecha	Objetivo
Reunión 1	Arturo Gonzales (PNUD) Carlina Suazo (PNUD) Equipo EnSoil	Lunes 21 de noviembre de 2022, 2 pm	Reprogramación de entregables
Reunión 2	Arturo Gonzales (PNUD) Carlina Suazo (PNUD) Equipo EnSoil	Miércoles 11 de enero 2023, 2 pm	Consulta por observaciones a 3er entregable
Reunión 3	Arturo Gonzales (PNUD) Juan Luis Orellana (MMA) Jadhiel Godoy (MMA) Equipo EnSoil	Miércoles 18 de enero 2023, 11 am	Revisión de las observaciones y comentarios al 3er entregable, aspectos bióticos
Reunión 4	Arturo Gonzales (PNUD) Sebastián Jofré (MMA) Verónica Droppelmann (MMA) Equipo EnSoil	Lunes 6 de febrero 2023, 11 am	Revisión de las observaciones y comentarios al 3er entregable, aspectos fisicoquímicos

2.2 Definición de área geográfica a evaluar

El área geográfica para el desarrollo del estudio ha sido definida como la bahía de Iquique desde el sector de Punta Negra hasta el sector de Ex Ballenera como muestra la Figura 1. Específicamente, se consideró desde el inicio de la “zona portuaria” definida en los mapas de “Zonificación de usos del borde costero, región de Tarapacá” del Gobierno Regional de Tarapacá (2016) al norte (desde los 7770770 m N (UTM WGS84 huso 19)); hasta el fin de la zona urbana de la ciudad de Iquique al sur (al sur de sector Ex Ballenera,

hasta los 7754900 m N (UTM WGS84 huso 19)). De esta forma, quedan consideradas dentro del área de estudio las zonas más relevantes asociadas al medio ambiente y ecosistemas (fuentes emisoras, industrias, sectores turísticos, áreas protegidas, etc.). Esto se puede ver en mayor detalle en la Sección 3.1.2 “Usos y zonificación de la bahía”.

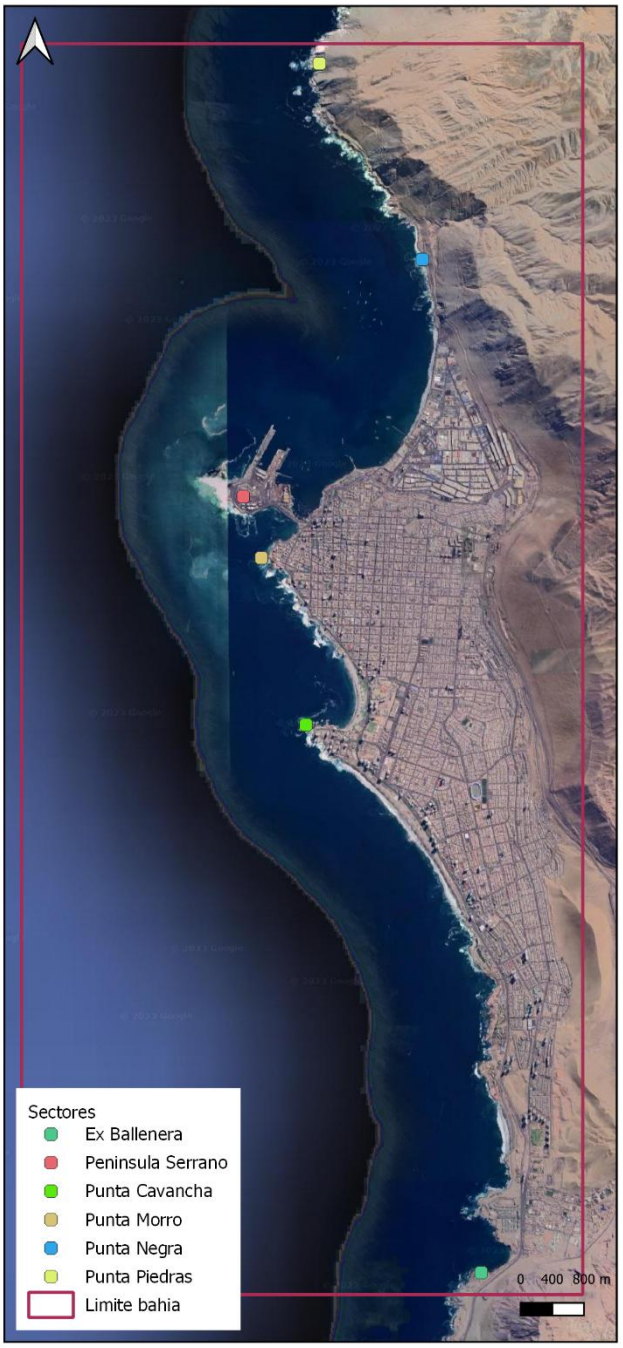


Figura 1 – Área de estudio
Fuente: Elaboración propia

2.3 Producto 1: Línea base y diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la bahía de Iquique

En términos generales, los estudios de línea base y diagnóstico ambiental comprenden la recolección de datos (primarios o secundarios) de un aspecto y medio en particular, en un tiempo definido, con la finalidad de evaluar su estado actual y determinar acciones a seguir si fuese necesario. Para esto, se utilizan indicadores de calidad ambiental, los cuales son contrastados con valores de referencia para determinar el estado ambiental del lugar bajo estudio.

Para este estudio en particular, se recopilaron líneas de base, monitoreos y estudios existentes sobre el estado ecológico/ambiental de la Bahía de Iquique. Con este fin, se realizó una recopilación de información identificándose 4 bases de datos principales:

- Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) desarrollado por la DIRECTEMAR.
- Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) asociado a empresas operando en la Bahía de Iquique.
- Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC, ver punto 2.4).
- Publicaciones científicas y estudios técnicos desarrollados por universidades u organismos públicos o privados.

La información recopilada fue compilada y sistematizada en distintas bases de datos según la matriz ambiental bajo estudio o fuente de información, facilitando su acceso para futuros análisis. A continuación, en la Figura 2, se presenta la cobertura temporal de las bases de datos recopiladas.

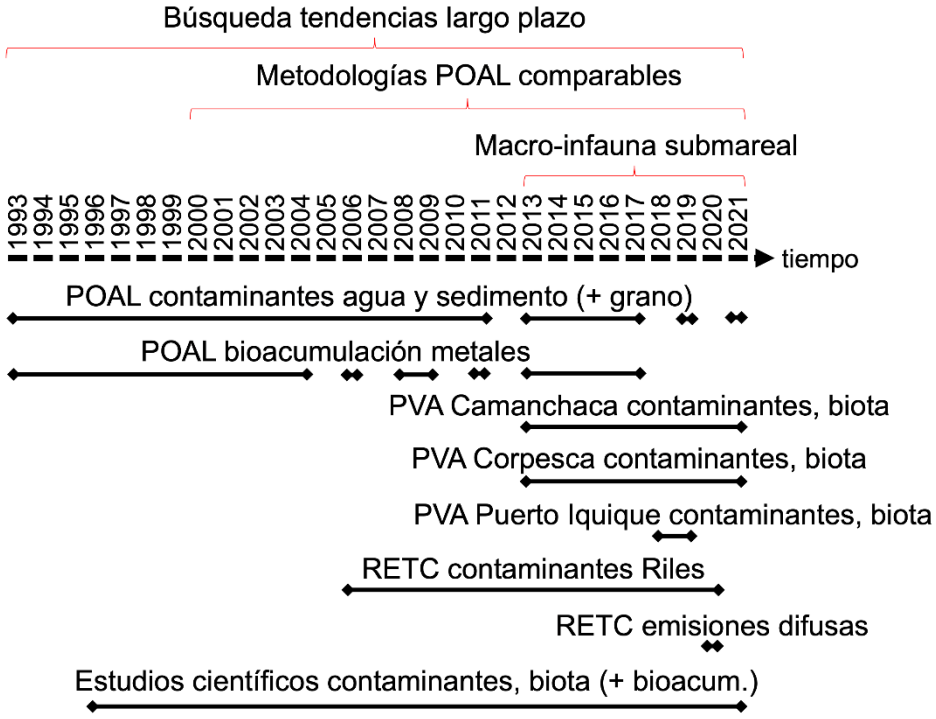


Figura 2 – Cobertura temporal de las principales bases de datos ambientales para la Bahía de Iquique
Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Bases de datos de monitoreo

2.3.1.1 Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL)

El objetivo del POAL es monitorear las fluctuaciones anuales de los niveles de concentración de contaminantes tanto en aguas costeras como dulces, y se enfoca principalmente en cuerpos de agua con mayor intervención antrópica en Chile. El POAL se desarrolla en 52 ubicaciones a lo largo de Chile, como se muestra en la Figura 3 a continuación.

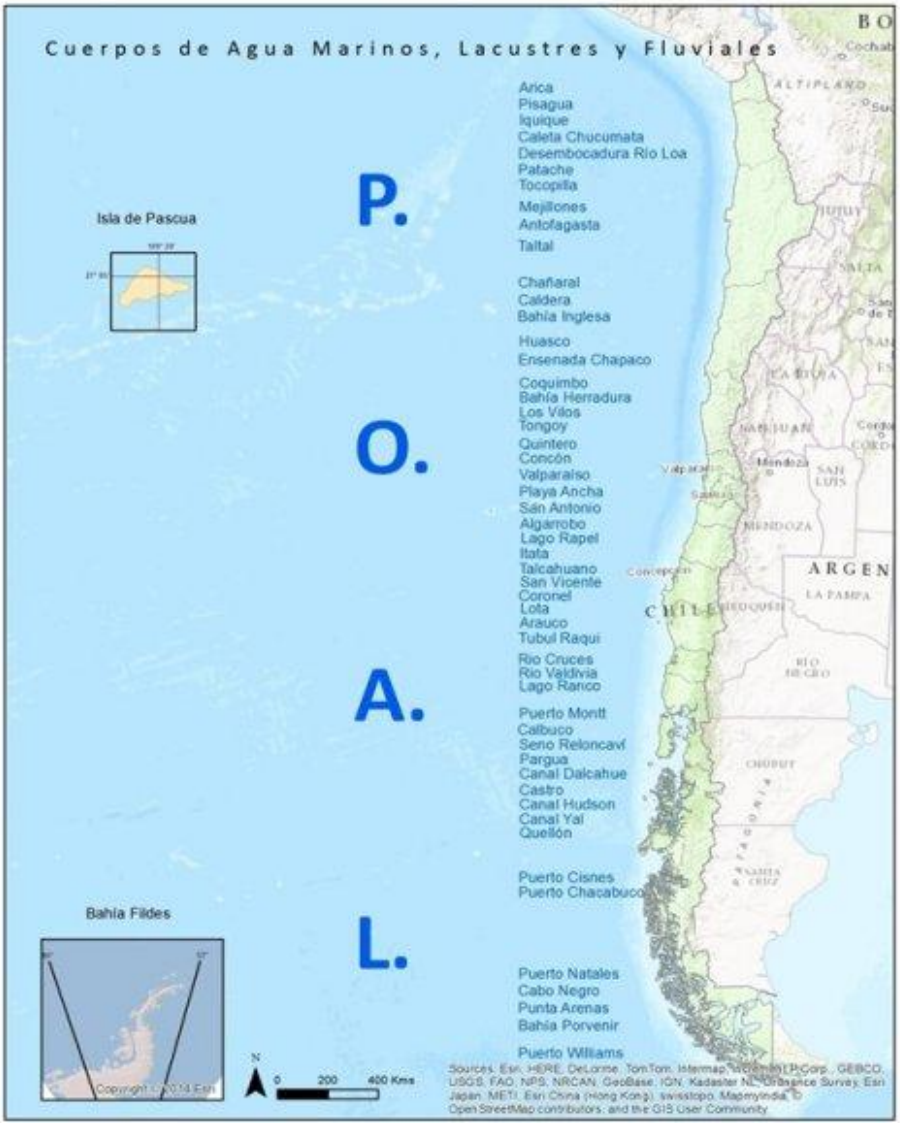


Figura 3 – Ubicaciones donde se realiza el POAL
Fuente: Sitio web de Directemar[1]

[1] https://www.directemar.cl/directemar/intereses-maritimos/p-o-a-l-programa-de-observacion-del-ambiente-litoral/programa-de-observacion-del-ambiente-litoral-p-o-a-l

Las coordenadas asociadas al POAL Iquique corresponden a las siguientes indicadas en la Tabla 3 y mostradas en la Figura 4:

Tabla 3 – Coordenadas estaciones de muestreo POAL Bahía de Iquique

Número estación	Nombre estación	Coordenadas UTM		Matrices monitoreadas
		ESTE	NORTE	
010	Sector Corbeta Esmeralda	380066	7768400	Agua - Sedimento
020	Sector Marinero Desconocido	380653	7767390	Sedimento
030	Boya Esmeralda	379783	7767261	Agua
040	Marinero Desconocido	380423	7767112	Agua
050	Playa El Colorado	380832	7766776	Agua - Sedimento
060	Centro Poza	380025	7765971	Sedimento
070	Molo Abrigo	379213	7765812	Agua
080	Pesquera Camanchaca	378895	7765625	Agua - Sedimento
090	Muelle Naval	380202	7765511	Agua - Sedimento
100	Sector Norte Ex-muelle CORFO	379302	7765505	Agua
100	Muelle Naval	380202	7765511	Sedimento
110	Espigón de Atraque	378926	7765410	Sedimento
120	La Puntilla	379595	7765076	Agua - Sedimento
130	La Puntilla	379595	7765077	Sedimento
130	Sector Punta Morro	378991	7764304	Biota
140	Caleta Cavancha / Sur Península Cavancha	379962	7762466	Sedimento - Biota
150	Playa Cavancha	379905	7762342	Agua
160	Lado Norte punta Cavancha	379645	7762187	Biota
170	Sector Sur Península Cavancha	379588	7762033	Biota
180	Ex Ballenera	380411	7760532	Agua – Sedimento - Biota
190	Punta Gruesa	376430	7749097	Agua - Sedimento

Coordenadas UTM, datum WGS84, huso 19

Cabe notar que el punto de muestreo “190” se encuentra fuera del área de estudio, por lo que podrá ser utilizado solo como fines comparativos de ser apropiado esto.

En las secciones siguientes se presentan detalles de los muestreos realizados por matriz. Cabe notar que se tuvo acceso a los archivos Excel del POAL[2], y no a los certificados de laboratorio por lo que no se puede asegurar trazabilidad más allá de este punto (ver discusión de calidad de datos en Sección 5.2).

[2] Descargados de: https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/datos_poal.html

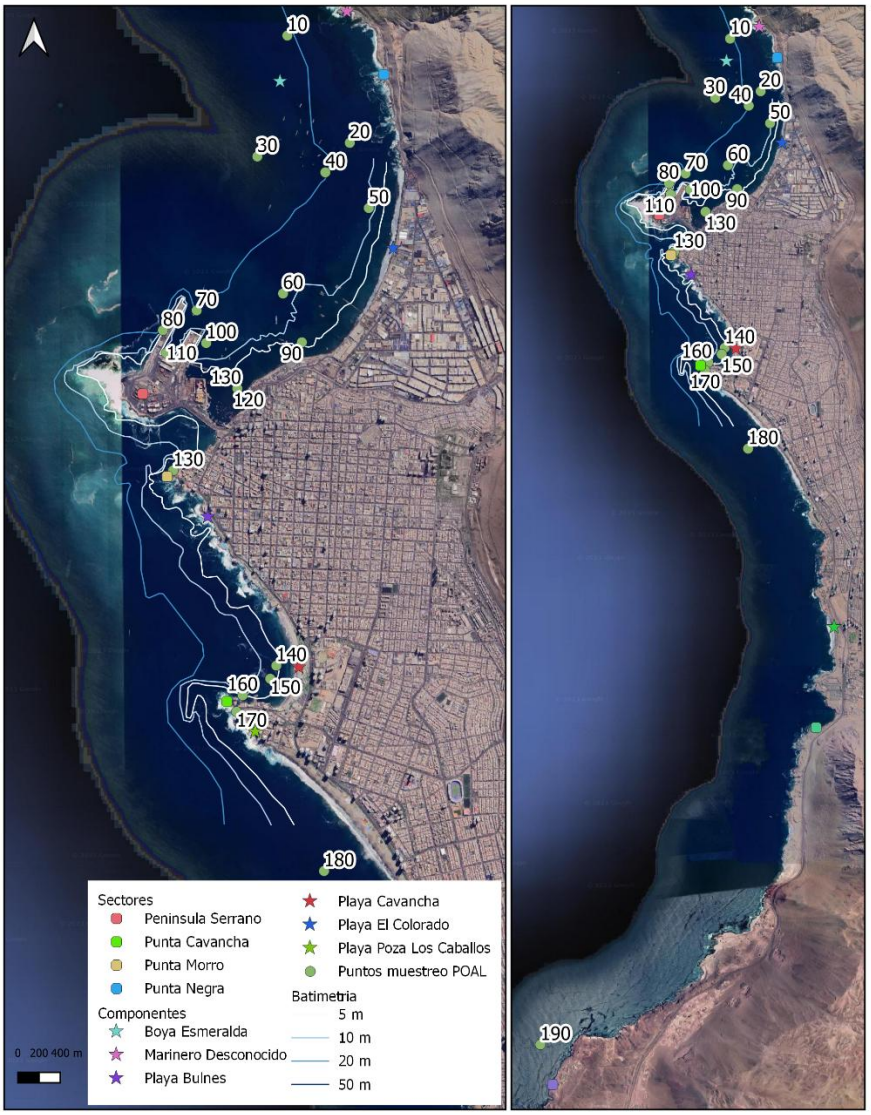


Figura 4 – Ubicaciones muestreo del POAL en la Bahía de Iquique
Fuente: Elaboración propia

Los datos del POAL para la Bahía de Iquique posee la siguiente extensión temporal:

- 1993-2021 agua: 27 reportes.
- 1993-2019 sedimento: 25 reportes.
- 1993-2017 biota: 22 reportes.

2.3.1.2 Programas de Vigilancia Ambiental (PVA)

Producto de la búsqueda efectuada en la plataforma SNIFA de la Superintendencia del Medio Ambiente se recopilaron PVA desde 3 unidades fiscalizables:

- Compañía Pesquera CORPESCA S.A. asociado a R.C.A. 49/2007 “Suministro de Petróleo Diésel a Naves de Pesca desde Lanchón Valparaíso" y “Suministro de Petróleo Diésel Naves de Pesca desde Lanchón Pelagos” en adelante PVA Corpesca, con reportes semestrales entre 2013-2021.
- Compañía Pesquera Camanchaca S.A. asociado a R.C.A. 149/2013 “Modificación al Sistema de Tratamiento y Disposición Final de Riles”, en adelante PVA Camanchaca con reportes trimestrales entre 2013-2021.
- Empresa Portuaria de Iquique (EPI) asociado a R.C.A. 089/2017. “Proyecto Reposición de Frente de Atraque N°1, Segunda Etapa – EPI”, en adelante PVA EPI con reportes semestrales entre 2018-2019.

A continuación, en la Tabla 4 se listan las coordenadas de muestreo y en la en la Figura 5 se presenta la ubicación geográfica de las estaciones asociadas a los PVA recopilados:

Tabla 4 – Coordenadas estaciones de los Programas de Vigilancia Ambiental

PVA	Estaciones de muestreo	Coordenadas UTM	
		ESTE	SUR
PVA Camanchaca	EE	378875	7765780
	E1	379151	7766334
	E2	378805	7765962
	E3	378632	7765777
	EC (control)	379349	7762830
PVA EPI	E-1	378982	7765564
	E-2	379145	7765892
	E-3 (Control)	378319	7764698
	E-4 (POAL)	379380	7765225
PVA Corpesca	CRPI-1	380536	7766507
	CRPI-3	380392	7765747
	CRPI-4	380316	7766048

Coordenadas UTM, datum WGS84, huso 19

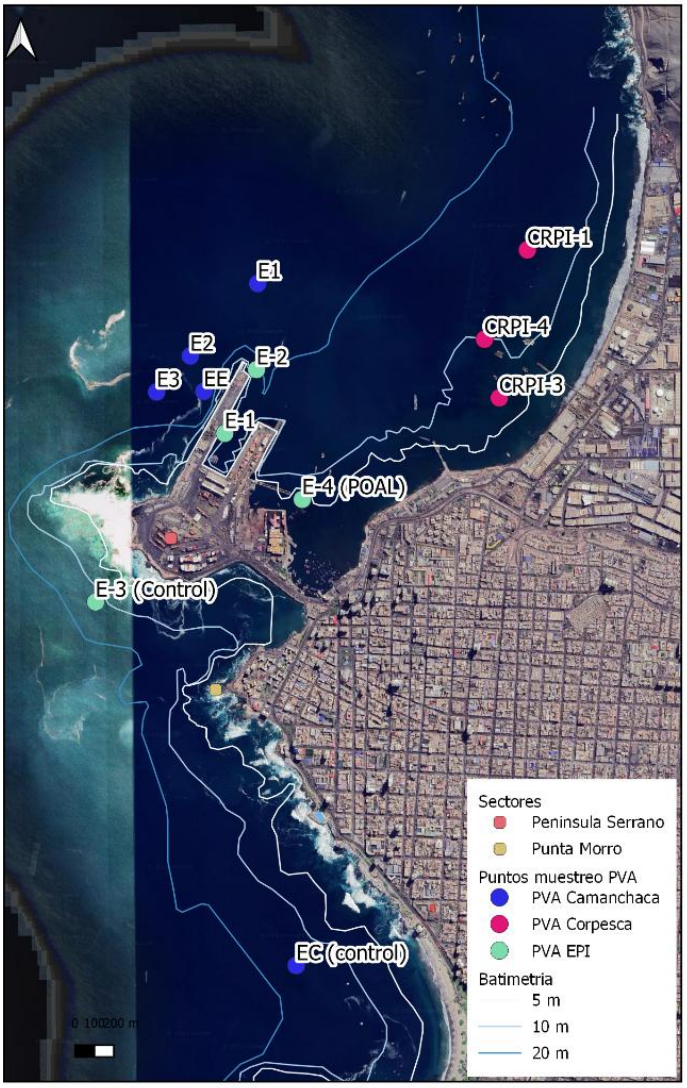


Figura 5 – Ubicación estaciones Programas de Vigilancia Ambiental de Compañía Pesquera Camanchaca S.A., Compañía Pesquera Corpesca S.A. y Empresa Portuaria de Iquique
Fuente: Elaboración propia

Los PVA contemplados por esta revisión son los siguientes:

2.3.1.2.1 PVA "Suministro Petróleo Diesel Naves de Pesca desde Lanchón Pelagos" y "Suministro de Petróleo Diesel a Naves de Pesca desde Lanchón Valparaíso" RCA N°49/2017

Este PVA corresponde al seguimiento ambiental del sistema de suministro de petróleo diésel a las naves de pesca desde el lanchón "Pelagos", hoy llamado "Valparaíso" instalado por la Compañía Pesquera Corpesca S.A.

En este caso se muestrearon tres estaciones, dos de las cuales fueron clasificadas como estaciones de monitoreo (CRPI-3 y CRPI-4), debido a que están dentro del área de influencia del suministro de petróleo, y una estación considerada como referencial (CRPI-1) o sin influencia de su actividad ubicada a una mayor

distancia. Se tomaron muestras de agua a dos niveles (superficie y fondo) y se obtuvieron muestras de sedimentos submareales.

Los objetivos de este PVA son los siguientes (extraído desde PVA 2020):

- Caracterizar las condiciones hidrográficas de la columna de agua en el área de influencia del suministro de petróleo diésel de la compañía pesquera CORPESCA S.A.
- Caracterizar la calidad ambiental de la columna de agua en el área de influencia del suministro de petróleo diésel de la compañía pesquera CORPESCA S.A.
- Caracterizar la calidad de los sedimentos submareales en el área de influencia del suministro de petróleo diésel de la compañía pesquera CORPESCA S.A.
- Caracterizar las comunidades biológicas submareales en el área de influencia del suministro de petróleo diésel de la compañía pesquera CORPESCA S.A.

Para la caracterización de los ensambles macro-infaunales submareales, se obtuvieron muestras con una draga Van Veen de 0,1 m^2 de superficie y cada muestra fue luego tamizada a través de un cedazo de 1 mm de apertura, la macrofauna asociada a los fondos blandos fue separada y conservada en alcohol al 70 %. Los individuos encontrados fueron identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Se determinaron parámetros poblacionales de abundancia (ind/m^2) y biomasa (g/m^2), así como atributosa nivel de ensamble como riqueza (número de especies, S). A partir de esos datos poblacionales primarios, se obtuvieron y analizaron curvas ABC e índices comunitarios de diversidad Shannon-Wiener, uniformidad de Pielou y dominancia de Simpson, así como también análisis de agrupamiento jerárquico entre las distintas estaciones o ensambles macro-infaunales.

2.3.1.2.2 PVA "Proyecto Reposición de Frente de Atraque N°1, Segunda Etapa – Empresa Portuaria de Iquique" RCA 089/2017

El PVA del "Proyecto Reposición de Frente de Atraque N°1, Segunda Etapa – Empresa Portuaria de Iquique", entrega los resultados correspondientes al monitoreo que la EPI viene realizando de acuerdo con lo dispuesto en RCA 089/2017.

En este caso, para la caracterización de la macroinfauna submareal se muestrearon 4 estaciones. Las muestras se obtuvieron mediante una draga Van Veen de 0,1 m^2 de superficie, luego fijadas in situ con formalina diluida en agua de mar al 4% (protocolo R.Ex. 3612/2009, de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura). Una vez en el laboratorio las muestras fueron tamizadas con un tamiz de 1 mm. La macrofauna retenida en el tamiz fue preservada usando etanol al 70 %. Los organismos presentes se agruparon por taxón, y posteriormente se determinó hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Luego de drenar los organismos, se pesaron en una balanza analítica de 0,001 gramos de precisión.

Similar al PVA anterior, para la evaluación ambiental de los ensambles macro-infaunales se utilizaron las abundancias y biomasa, e índices de diversidad, así como también, análisis de agrupamiento jerárquico (*cluster analysis*) y escalamiento multidimensional no métrico (NMDS). Finalmente, se utilizaron curvas ABC (*Abundance Biomass Comparison*) y estadígrafo W como indicadores de perturbación ambiental sobre la macroinfauna submareal.

2.3.1.2.3 PVA "Modificación al sistema de tratamiento y disposición final de RILes, RCA N°149/2013"

Este PVA corresponde al proyecto Planta Pesca Norte de la empresa Compañía Pesquera Camanchaca S.A. que busca mejorar el emisario submarino existente. Esta empresa se comprometió a monitorear mensualmente las emisiones que se evacuan a través del emisario, utilizando como referencia los estándares de calidad ambiental establecidos en la Tabla 5 del D.S. N°90/2000, y el monitoreo trimestral de la columna de agua, sedimentos y macroinfauna submareal.

Los objetivos de este PVA son los siguientes (extraído desde PVA 2019):

- Describir y evaluar las características hidrográficas y físicoquímicas de la columna de agua de las estaciones de monitoreo, ubicadas en el cuerpo de agua receptor de las descargas del emisario submarino de la "Planta Pesca Norte" de la Compañía Pesquera Camanchaca S.A., comuna de Iquique.
- Describir y evaluar las características físicoquímicas y granulométricas de los sedimentos submareales asociadas al área de estudio.
- Caracterizar las comunidades biológicas submareales asociadas al área de estudio.
- Comparar la calidad de la descarga de residuos líquidos de "Planta Pesca Norte" de la Compañía Pesquera Camanchaca S.A. y verificar el cumplimiento del D.S. N°90/2000 "Norma de emisión de Riles a cuerpos de agua superficiales y continentales".

Las muestras de sedimento submareal fueron colectadas usando una draga Van Veen de 0,1 m^2 de superficie. El contenido de cada una de las muestras fue tamizado a través de un cedazo de 1 mm y almacenada en bolsas de polietileno y preservadas con alcohol al 70%. A partir de los especímenes obtenidos, se obtuvieron atributos a nivel de poblaciones y ensambles al igual que para los dos PVA descritos previamente.

2.3.2 Estudios científicos

Se recopilaron estudios científicos sobre aspectos oceanográficos a escala local y regional de la bahía de Iquique, así como describiendo la variabilidad de los ensambles macro-infaunales submareales La lista de estudios científicos incluye:

- Strub, P., Combes, V., Shillington, F. y Pizarro, O. 2013. Currents and processes along the eastern boundaries. In: In: Siedler, G., Griffies, S.M., Gould, J., Church, J.A. (Eds.), Ocean Circulation and Climate, A 21st Century Perspective, vol. 103. Academic Press, pp. 339–384.
- Thiel, M., Macaya, E., Acuña, E., Arntz, W., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P., Castilla, J., Castro, L. + 29 autores. 2007. The Humboldt current system of northern and central Chile. Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomical feedback. Oceanography and Marine Biology: an annual review. 45: 195-344.
- Torres, R., Pantoja, S., Harada, N., González, H., Daneri, G., Frangopulos, M., Rutllant, J., Duarte, C., Rúiz-Halpern, S., Mayol, E. y Fukasawa, M. 2011. Air-sea CO2 fluxes along the coast of Chile: From CO2 outgassing in central northern upwelling waters to CO2 uptake in southern Patagonian fjords. J. Geophys. Res. 116, C09006.
- Fuenzalida, R. 1990. Variabilidad temporal de un índice de surgencia para la zona de Iquique (Lat. 20°S). Investigación Científica y Tecnológica, Serie Ciencias

- Iriarte, J.L. y González, H.E. 2004. Phytoplankton size structure during and after the 1997/1998 El Niño in a coastal upwelling area of the northern Humboldt Current System. Marine Ecology Progress Series 269, 83–90.
- Quiroga, E., Soto, R. y Rozbaczylo, N. 1999. Los poliquetos espiónidos (Polychaeta: Spionidae) y su importancia en la estructura de una comunidad: un caso de estudio en bahía Iquique, norte de Chile (20°11′S, 70°10′W). Gayana 63, 1–16.
- Moreno, R., Sepúlveda, R., Badano, E., Thatje, S., Rozbaczylo, N. y Carrasco, F. 2008. Subtidal macrozoobenthos communities from northern Chile during and post El Niño 1997/1998. Helgol. Mar. Res. 62(1): S45-S55.
- Lancellotti, D.A. 2002. Midiendo cambios en comunidades macrobentónicas marinas. M.Sc. thesis, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.
- Lancellotti, D. y Stotz, W. 2004. Effects of shoreline discharge of iron mine tailings on a marine soft-bottom community in northern Chile. Marine Pollution Bulletin. 48: 303-312.
- Escribano, R., Daneri, G., Farias, L., Gallardo, V.A., González, H.E., Gutiérrez, D., Lange, C.B., Morales, C.E., Pizarro, O., Ulloa, O. y Braun, M. (2004). Biological and chemical consequences of the 1997–1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. Deep-Sea Research I.

2.3.3 Análisis de datos fisicoquímicos

2.3.3.1 Niveles de referencia para columna de agua

Los analitos contenidos en las bases de datos de calidad de agua se evaluaron con respecto a la guía australiana *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality* (2018) de ahora en adelante referida como la "guía australiana"[3].

Con respecto a la guía australiana para agua, se utilizaron en este estudio los valores indicados por esta para la protección del 95% de las especies. Los valores desencadenantes son concentraciones que, si se superan, indicarían un posible problema medioambiental y, por tanto, desencadenarían una respuesta de gestión, por ejemplo, una investigación detallada.

La guía australiana para aguas fue desarrollada después de un extenso proceso de revisión de normativas y guías internacionales (Canadá, Estados Unidos, Dinamarca, Sudáfrica, Países Bajos, OECD) con la finalidad de proveer de un esquema integral para la protección de los ecosistemas acuáticos de exposiciones sostenidas elementos tóxicos, es decir, de la toxicidad crónica.

Los valores indicados por la guía australiana se han derivado, de acuerdo con los principios de evaluación de riesgos. Específicamente, se ha utilizado un enfoque de distribución de probabilidad de efectos basado en la metodología de los Países Bajos para derivar números según un determinado nivel de protección de especies, siendo 95% el nivel estándar.

Para el cálculo de los valores de protección, se recolectaron, compilaron y clasificaron una multitud de estudios de ecotoxicidad tanto nacionales como internacionales, privilegiando aquellos que evaluasen respuestas comunitarias a la exposición de químicos, no obstante, también utilizando estudios unitarios de

[3] ANZG 2018. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. Australian and New Zealand Governments and Australian state and territory governments, Canberra ACT, Australia. Disponibles en www.waterquality.gov.au/anz-guidelines

especies donde lo anterior no estuviese disponible. La guía australiana considera 310 analitos divididos en los siguientes grupos identificados en la Tabla 5:

Tabla 5 – Grupos de analitos contemplados por la guía australiana de aguas

Grupos de analitos		
Cloroetanos	Herbicidas diversos	Dispersantes de derrames de petróleo
Cloroetanos	Tensioactivos	Carbamatos y otros plaguicidas
Alquenos clorados	Plaguicidas organoclorados	Clorometanos
Cloropopanos	Metales y metalizados	Piretroides
Clorobencenos y cloronaftalenos	Inorgánicos no metálicos	Ftalatos
Nitrobencenos	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Productos químicos industriales diversos
Fenoles y xilenoles	Bifenilos policlorados (PCB) y dioxinas	Herbicidas de bipiridio
Herbicidas de ácido fenoxiacético	Herbicidas triazínicos	Herbicidas de urea
Nitrofenoles	Plaguicidas organofosforados	Alcoholes orgánicos
Nitrotoluenos	Hidrocarburos aromáticos	Herbicidas de sulfonilurea
Anilinas	Compuestos orgánicos de azufre	Herbicidas de tiocarbamato

En los casos en que la guía australiana no contenía un analito relevante de análisis, se utilizó como referencia otra guía internacional, específicamente la guía canadiense federal "Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life"[4].

Adicionalmente, se consideró el D.S. 144/2008 de MINSEGPRES que "Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo". Este contiene valores para los analitos de pH, cianuro, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo y coliformes fecales.

Finalmente, se utilizaron los valores de referencia indicados por la tesis "Índice de Calidad de Aguas Costeras para Chile" de la Universidad de Chile (Calderón, 2019) la que considera los analitos oxígeno disuelto, nitrato, fosfato, coliformes fecales y sólidos suspendidos totales. La escala de valoración indicada por Calderón (2019) categoriza la calidad de agua de acuerdo con las concentraciones de los analitos en 5 niveles: "Pésima", "Inadecuada", "Aceptable", "Adecuada" y "Óptimo".

2.3.3.2 Niveles de referencia para sedimentos

En cuanto a los sedimentos, estos se evaluaron con respecto a la guía australiana para sedimentos *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council* (ANZECC) *& Agriculture and Resource*

[4] https://ccme.ca/en/resources/water-aquatic-life

Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ) *Sediment quality guidelines*[5] *(2000),* de ahora en adelante referida como la "guía australiana para sedimentos".

Al igual que para el desarrollo de la guía australiana para agua, se evaluaron una multitud de guías y normas entre las que se encuentran la de Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Hong Kong y Países Bajos. La guía australiana de sedimentos fue derivada utilizando datos de concentraciones y efectos en organismos colectados en terreno, así como también estudios de laboratorio de ecotoxicidad (donde se aplica una concentración conocida de un contaminante y se observan los efectos en la biota). Esta metodología contempla dos niveles de efectos, ISQG-L y ISQG-H; el primero indicando la necesidad de realizar estudios mayores por "posibles" efectos, y el segundo indicando efectos "probables" en la biota y la necesidad de realizar acciones inmediatas. De manera conservadora, se propone la utilización del nivel ISQG-L. Los analitos contemplados por la guía australiana para sedimentos son los siguientes indicados en la Tabla 6.

Tabla 6 – Analitos contemplados por la guía australiana de sedimentos

Analitos	
Antimonio	Tributilestaño (como estaño)
Cadmio	HAP total
Cromo	DDT total
Cobre	p,p'-DDE
Plomo	o,p'- + p,p'-DDD
Mercurio	Clordano
Níquel	Dieldrin
Plata	Endrin
Zinc	Lindano
Arsénico	Total de PCBs

En los casos en que la guía australiana no contenía un analito relevante de análisis, se utilizó como referencia otra guía internacional, específicamente la guía canadiense federal "Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life"[6].

2.3.4 Análisis de datos de biota

2.3.4.1 Niveles de referencia para biota

Los datos de concentraciones de metales en biota (específicamente para la especie de los muestreos POAL se compararon con la normativa nacional "Reglamento sanitario de los alimentos" (Decreto 997/1996), y en caso de que no existiera, se revisó la norma de alimentos australiana para moluscos de biota (Australia New Zealand Food Standards Code).

[5] https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/sediment-quality-toxicants
[6] https://ccme.ca/en/resources/sediment#

2.3.4.2 *Estructura y composición macroinfauna* (Abundancias, biomasa, diversidad y curvas ABC)

Se obtendrán las tendencias anuales en abundancia, biomasa y diversidad durante el período de estudio (ver ejemplo en Figura 6 y Figura 7), facilitando, y como las metodologías parecen consistentes, la comparación dentro y entre distintos PVA o ambientes dentro de la Bahía de Iquique. Los cambios en rangos de abundancia y biomasa permitirán visualizar comparativamente en el tiempo aquellas estaciones con diferente dominancia y equidad de especies, entregando información sobre la presencia o no de perturbación ecológica.

Respecto del nivel de intervención de la bahía de Iquique, se realizará una comparación de las curvas ABC como indicador de perturbación inducida por agentes contaminantes u otras causas, sobre los ensambles macro-infaunales submareales (ej. Figura 8). Este método implica el despliegue de curvas de k-dominancia por separado para la abundancia y biomasa de las especies en el mismo gráfico, para luego efectuar una comparación de la forma que adquieren esas curvas. Las especies son ordenadas según su importancia en términos de abundancia o biomasa sobre el eje x (escala logarítmica) versus la dominancia porcentual sobre el eje y (escala acumulativa).

Como referencia, en ensambles no sometidos a agentes perturbadores, la biomasa está dominada por una o unas pocas especies grandes, cada una representada por un bajo número de individuos; mientras que, las especies numéricamente dominantes son de pequeño tamaño y con una fuerte componente estocástica en la determinación de su abundancia (es decir, el número de individuos exhibe una alta variabilidad). La distribución del número de individuos entre las especies es más uniforme que la distribución de la biomasa, ya que ésta última muestra una fuerte dominancia. De este modo, la curva de k-dominancia de la biomasa yace sobre la curva de abundancia en toda su longitud (i.e., estadígrafo $W > 0$). Bajo moderadas condiciones de perturbación (o contaminación), las especies dominantes de gran tamaño son eliminadas, reduciéndose de este modo la diferencia en tamaño entre las especies dominantes por tamaño y las dominantes por abundancia, de modo que las curvas de abundancia y de biomasa se sobreponen entre sí a lo largo de su trayecto ($W \sim 0$). Cuando la perturbación es más severa ($W \sim -1$), los ensambles bentónicos pueden llegar a estar ampliamente dominadas por una especie o un pequeño número de ellas de tamaño muy pequeño. Bajo esta condición, la curva de abundancia yace sobre la de biomasa en toda su longitud (Figura 8).

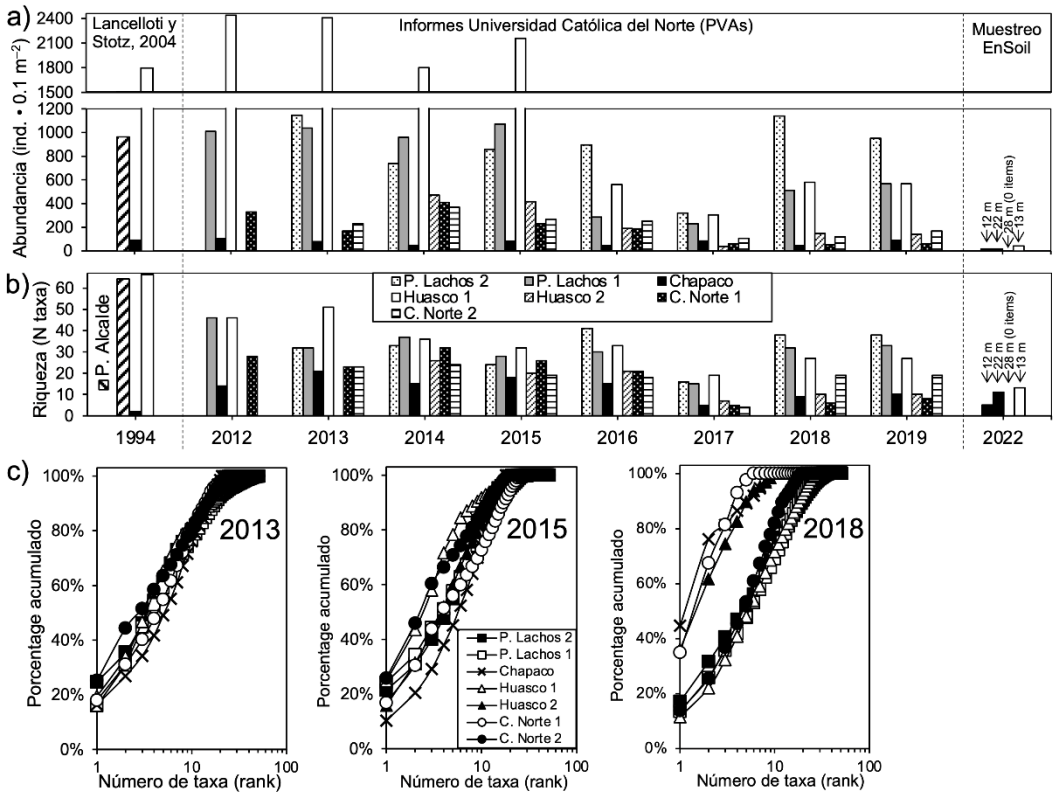


Figura 6 – Tendencias anuales en abundancia (total y acumulada) y riqueza (ejemplo)
Fuente: Elaboración propia

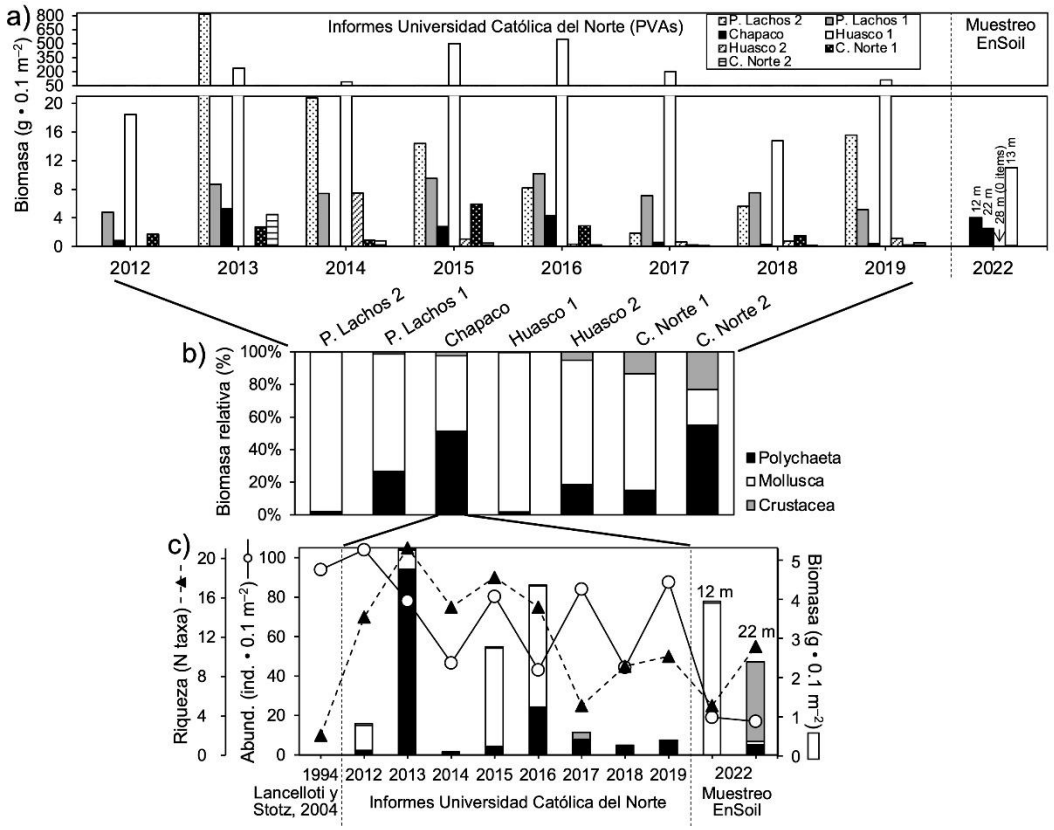


Figura 7 – Tendencias anuales en biomasa total y relativa, y su relación con abundancia y riqueza (ejemplo)

Fuente: Elaboración propia

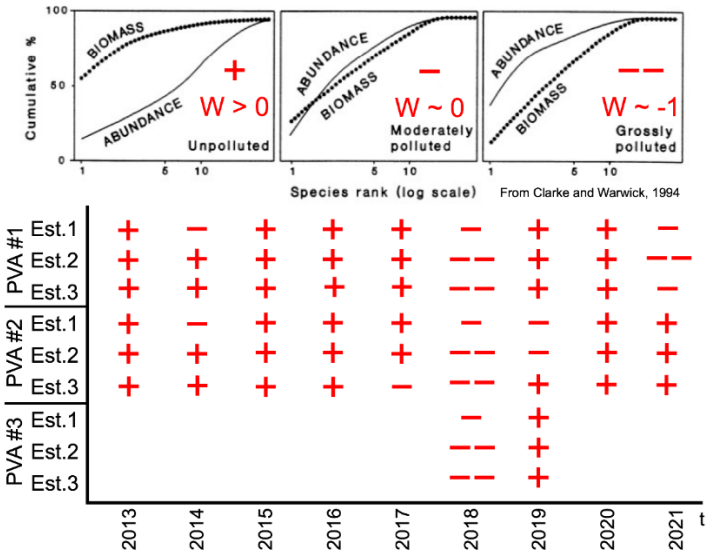


Figura 8 – Curvas de abundancia y biomasa como indicador de perturbación ambiental, y comparación temporal de curvas para 3 PVA (ejemplo)

Fuente: Elaboración propia

Se utilizará también el índice AMBI (*Marine Biotic Index*) que es complementario con las curvas ABC, donde esto sea posible utilizando la clasificación europea y evaluando con criterio ecológico, las ventajas y desventajas de las metodologías. Esto se realizaría como parte del producto final integrando este análisis con los datos fisicoquímicos.

2.4 Producto 2: Inventario detallado y estimación de la carga aportada por fuentes difusas y puntuales identificadas en la bahía de Iquique

2.4.1 Identificación de fuentes emisoras

A partir de la información disponible en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), y en el Sistema Nacional de Información Fiscalización Ambiental (SNIFA), se identificaron cuatro empresas que reportan descargas de residuos líquidos a las aguas marinas dentro del área de estudio de la presente consultoría. Estas cuatro fuentes corresponden a “CORPESCA S.A.”, “Aguas del Altiplano S.A.”, “Compañía Pesquera Camanchaca S.A.” y la empresa “Servicios y Refinerías del Norte S.A”. Cabe destacar que la Compañía Eléctrica Tarapacá S.A. se encuentra ubicada a 60 km al sur de la Bahía de Iquique por lo que se encuentra fuera del área de estudio.

2.4.2 Caracterización química de fuentes emisoras

Posteriormente, y mediante la información disponible en el RETC y SNIFA, en conjunto con la revisión bibliográfica de Declaraciones de Impacto Ambiental, Estudios de Impacto Ambiental y Planes de Vigilancia Ambiental, se detalló la caracterización principalmente química de las emisiones para cada una de las fuentes identificadas. La información disponible permite evaluar las emisiones anuales en toneladas para cada contaminante reportado para las fuentes dentro del RETC.

Algunos de los parámetros reportados por estas cuatro empresas en el RETC son: aceites y grasas, aluminio, arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo total, cromo hexavalente, estaño, fluoruros, hidrocarburos volátiles, manganeso, mercurio, nitrógeno total Kjeldahl, níquel, plomo, selenio, sulfuros, sustancias activas de azul de metileno, sólidos suspendidos totales, zinc, índice de fenol, cloruros, fósforo total, hidrocarburos fijos, hidrocarburos totales, hierro / hierro disuelto, molibdeno, sulfatos, tolueno, boro, nitritos más nitratos, pentaclorofenol, tetracloroeteno, triclorometano y xileno. Cabe destacar que no todas las empresas reportan cada uno de estos parámetros siendo parte del análisis definir cuáles son significativos.

Por último, se realizó la comparación de emisiones anuales entre las fuentes caracterizadas. Esto se realizó mediante la comparación de emisiones anuales en toneladas para diferentes contaminantes. De esta manera se pudo identificar los principales aportantes de cada contaminante.

2.4.3 Análisis de emisiones atmosféricas

Los contaminantes atmosféricos pasan por distintos procesos dinámicos, físicos y químicos desde su emisión hasta su depositación. Es parte de la propia dinámica de la atmósfera que aerosoles y gases interactúen con las capas límites, radiación solar, nubes u otros gases que son parte de la composición química de la columna de aire (Foroutan, H., 2020).

El sitio de la interacción de los contaminantes emitidos con las distintas matrices (suelo, agua, biota, entre otras) dependerá en gran parte de la vida media de los contaminantes atmosféricos emitidos. Si los tiempos de vida media son cortos, los efectos de la contaminación se producen en los lugares donde se vierten. En cambio, si los tiempos de vida media son moderados a largos, pueden pasar varios días en la atmosfera y los movimientos convectivos de masas de aire pueden alejarlos de su punto de origen, afectando otras áreas y matrices (Salud Climent Bellido, M., s.f.).

A continuación, se adjunta diagrama resumen que demuestra la dinámica que tendrían los contaminantes según su vida media.

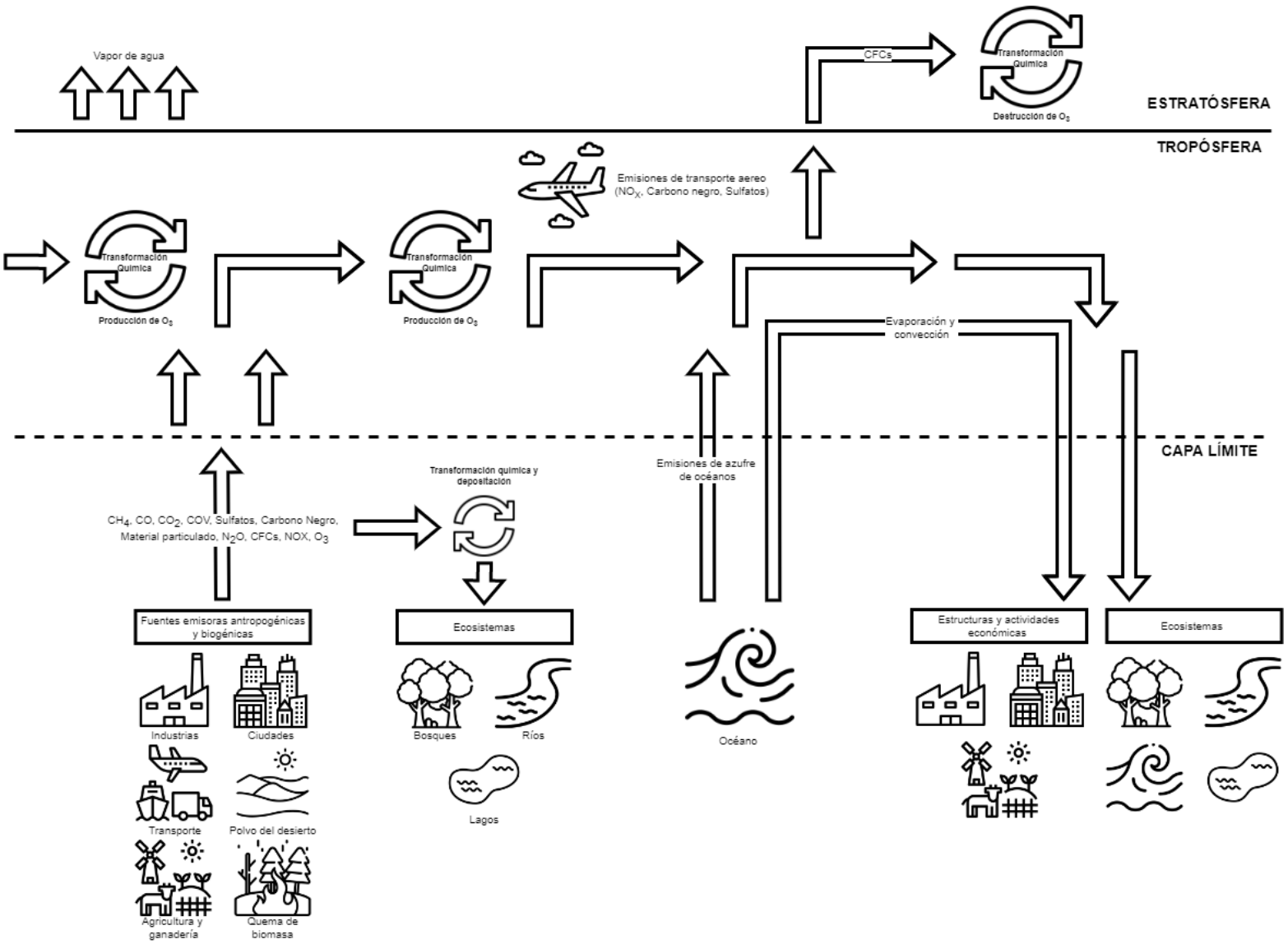


Figura 9 – Transporte de contaminantes atmosféricos
Fuente: Elaboración propia basado en Vallejo F. (s.f.)

Dependiendo del tipo de contaminante, las cantidades emitidas, la calidad del aire basal y la meteorología del sitio, se pueden presentar fenómenos de depositación en los cuerpos de agua, pasando a ser parte de los sedimentos de esta. Así también, pueden darse procesos de acidificación y eutroficación.

En consideración a lo descrito anteriormente, como parte de la metodología para levantamiento de la línea de base respecto emisiones atmosféricas y su relación con los demás datos, se describió la meteorología del lugar utilizando, tanto fuentes bibliográficas, como estaciones de monitoreo. Para esto, se consideraron las siguientes estaciones:

- Estación Alto Hospicio del SINCA[7].
- Estación Diego Aracena Iquique de la DMC[8]
- Estación UNAP (Universidad Arturo Prat) de la DMC.

Y se analizaron los siguientes parámetros:

- Dirección y velocidad del viento.
- Precipitación.
- Humedad relativa.
- Temperatura.
- Radiación solar.

Para la evaluación de la calidad del aire, se acotaron las fuentes de información a la comuna de Iquique con excepción de la estación SINCA más cercana a Iquique; la Estación Alto Hospicio ubicada en la comuna del mismo nombre. Adicionalmente, desde el SNIFA (Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental) se cuenta con reportes de la Central Termoeléctrica Tarapacá que para junio de 2022 adjunta reportes de calidad de aire a partir de la medición en 6 estaciones:

- Estación Sal Lobos.
- Estación Punto de Máximo Impacto.
- Estación Vertedero de Cenizas.
- Estación Caleta Cáñamo.
- Estación Central Tarapacá Garita.
- Estación Central Tarapacá Norte.

2.5 Producto 3: Modelo conceptual “emisión-concentración”

Se elaboró un modelo conceptual que da cuenta del estado y las presiones ambientales actuales del área de estudio (bahía de Iquique). El modelo conceptual realizado es del tipo DPSIR (Forzantes, Presiones,

[7] Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire
[8] Dirección Meteorológica de Chile

Estado, Impactos, Respuestas), en el cual se relacionan las actividades humanas desarrolladas en la bahía de Iquique y su impacto en la calidad de las aguas y ecosistemas acuáticos.

Este modelo toma en cuenta la información recopilada, sistematizada y analizada en actividades precedentes. Lo anterior se realizó en función de los aspectos (componentes o procesos/funciones) de los ecosistemas. El resultado de esta etapa es un modelo conceptual que describe el estado ambiental de la bahía y las principales presiones ambientales sobre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema.

El pensamiento sistémico es un enfoque para la resolución de problemas que se basa en la creencia de que las partes componentes de un sistema se comprenden mejor en el contexto de sus relaciones e interacciones entre sí y con otros sistemas. El Modelo DPSIR, por tanto, se considera sistémico en cuanto asume relaciones de causa-efecto entre los componentes que interactúan en los sistemas (sociales, económicos y ambientales), y por tanto una de sus lecturas puede efectuarse desde la epistemología del pensamiento complejo, con una visión más holística para la comprensión de procesos con componentes ambientales y sociales, y entre estos últimos, la economía.

Una de sus ventajas, es que el enfoque considera más de un problema y amplía el contexto de decisión, dado que permite inclusive observar los *trade off* o contraprestaciones temporales o espaciales entre componentes en análisis con un enfoque multiescalar, relaciones que pueden ser uni o bidireccionales.

<u>Resumen del Marco Conceptual DPSIR</u>

Como bien señala la EPA, el marco DPSIR también se puede utilizar para integrar los aspectos sociales, culturales y económicos de la salud ambiental y humana en un solo marco, y se ha utilizado más comúnmente en el contexto de la gestión ambiental para vincular los factores ecológicos y socioeconómicos (ver Figura 10 y Figura 11).

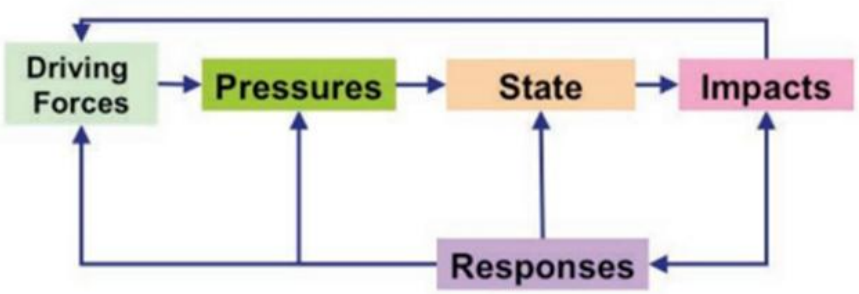


Figura 10 – Marco Eco DPSIR y las relaciones conceptuales entre las categorías DPSIR
Fuente. Bradley P and Yee S. 2015[9].

En el gráfico, las Fuerzas Impulsoras son los factores que motivan las actividades humanas y satisfacen las necesidades humanas básicas, las cuales han sido consistentemente identificadas como las condiciones y materiales necesarios para una buena vida, buena salud, buenas relaciones sociales, seguridad y libertad.

[9] Bradley, P., Yee, S. (2015). "*Using the DPSIR Framework to Develop a Conceptual Model: Technical Support Document*"

La distribución espacial y la intensidad de las Fuerzas Impulsoras varían: pueden originarse y actuar global, regional o localmente.

Respecto a las fuerzas económicas, son aquellas que satisfacen las necesidades humanas de alimentos y materias primas, agua, cultura, seguridad, salud, vivienda e infraestructura. Las Fuerzas Impulsoras Sociales satisfacen las necesidades humanas de relaciones sociales, equidad, gobernabilidad e identidad cultural, y capturan ampliamente el conjunto de características sociales, comunitarias y políticas que influyen en la estructura y función de los sectores económicos, además de actuar como determinantes clave de la salud humana.

Respecto a las presiones, son aquellas actividades humanas, derivadas del funcionamiento de Fuerzas Impulsoras Sociales y Económicas que inducen cambios en el medio ambiente, o comportamientos humanos que pueden influir en la salud humana, y se dividen en dos clases: presiones ambientales y presiones del comportamiento humano.

Respecto al Estado, se refiere al estado del entorno natural y construido (p. ej., la cantidad y calidad de los componentes físicos, químicos y biológicos) y los sistemas humanos (p. ej., nivel de población y atributos individuales). Los procesos químicos, físicos y biológicos interactúan para afectar diferentes componentes del ecosistema (p. ej., sustancias químicas, especies biológicas) que pueden medirse por sus atributos (métricas de cantidad o calidad). Toda la biota incorpora atributos de comunidad y población, pero la condición humana también incorpora atributos a nivel individual y de subpoblación.

Respecto a los impactos, los cambios en la calidad y el funcionamiento del ecosistema tienen un impacto en el bienestar de los seres humanos, incluida la producción de bienes y servicios del ecosistema y, en última instancia, el bienestar humano.

En este ámbito se utiliza las categorías de *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), en que los bienes y servicios de los ecosistemas se han definido de diversas formas como procesos de los ecosistemas, o los productos de esos procesos que directa o indirectamente benefician a los humanos. Clasificando los diferentes tipos de servicios (aprovisionamiento, regulación, culturales, y sus procesos de apoyo) que presta el territorio en análisis, se relacionan con el bienestar humano, concepto abstracto que captura una combinación de las circunstancias de vida de las personas y cuantifica el grado de satisfacción de las necesidades humanas básicas de alimentación, agua, salud, seguridad, cultura y vivienda. Esto permite a su vez observar *trade offs* o contraprestaciones entre servicios ecosistémicos.

Finalmente, las Respuestas son acciones tomadas por grupos o individuos en la sociedad y el gobierno para prevenir, compensar, mejorar o adaptarse a 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 en el bienestar humano.

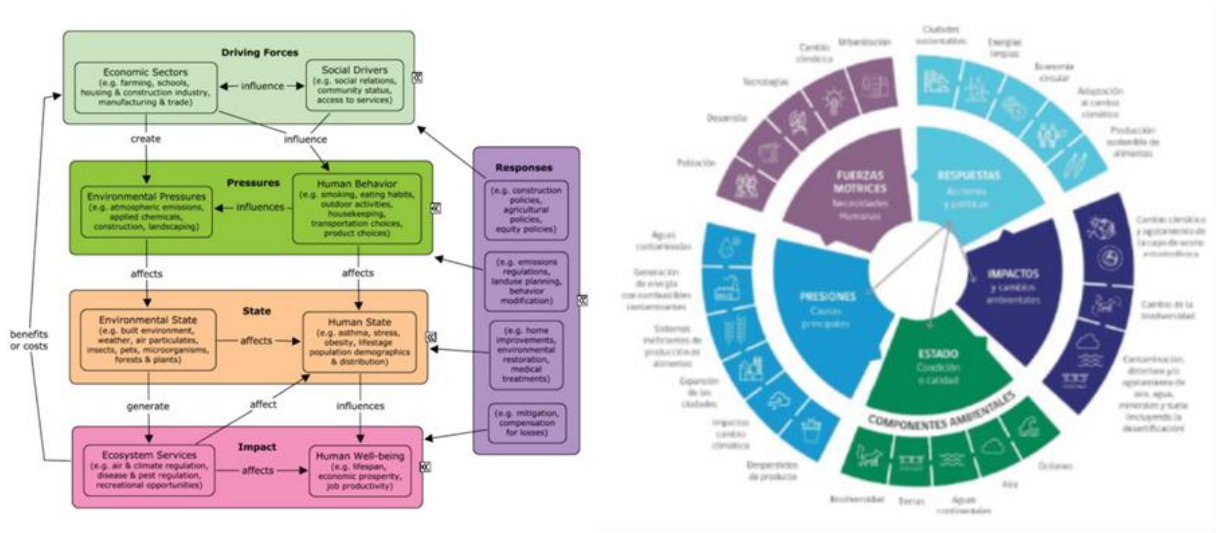


Figura 11 – Modelo DPSIR EPA y Adaptación de Modelo del MMA
Fuente. Bradley P and Yee S. 2015.

2.6 Producto 4: Propuesta de programa de monitoreo de calidad de agua, sedimentos y biota para conocer el estado de la bahía

En base al análisis de la información disponible (fisicoquímica, biológica, ecotoxicológica, hidrografía, geográfica, nivel de emisiones, otros), se propuso un plan de monitoreo que permita dar a conocer el estado actual de la bahía. Para ello, se requiere conocer una serie de parámetros que permitan realizar un análisis de la hidrodinámica y fisicoquímica de la bahía, por una parte y por otra, establecer y definir claramente, tanto los niveles de contaminantes y componentes de la biota indicadoras de perturbación como un área control que presente características similares a la bahía de Iquique (oceanografía, batimetría, ecosistemas presentes, entre otros aspectos), pero sin intervenciones antrópicas significativas, con el objeto de efectuar comparaciones y establecer brechas posibles en todos los niveles requeridos por la consultoría.

Teniendo como base el estado y caracterización de las componentes ambientales propuestas y en atención a los tipos de impactos o alteraciones antrópicas que se puedan identificar o argumentar con fundamento en la información bibliográfica analizada, se propuso el mencionado Programa de Monitoreo o Seguimiento por cada componente ambiental analizada. El monitoreo propuesto explica y justifica en detalle todas las variables entendidas como necesarias de monitorear, en base a metodologías validadas, estudios similares y alcance real apropiado, entre otros, contemplando al menos:

- Coordenadas
- Profundidad
- Temporalidad
- Cantidad de muestras
- Métodos de análisis de muestras y datos (estadística)
- Pool de información para caracterizar ambientalmente el estado de la Bahía de Iquique

De forma general, se seguirán las recomendaciones que aparecen en el libro recientemente publicado "Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada" para los monitoreos de agua y sedimento. Cita: Castilla, J., Fariña, J. y Camaño, A. (Eds.). 2020. Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada. Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 320 pp.

Dada la importancia de contar con información ambiental de los sectores con más presión antrópica, que involucra conocer entre otros factores, la biodiversidad, para permitir la evaluación del estado de los ecosistemas marinos y sus servicios ecosistémicos, muchos países del mundo han establecido programas o redes de monitoreo de biodiversidad en sus territorios. En algunos casos, estos programas de monitoreo y desarrollo de indicadores forman parte de programas transnacionales de monitoreo. Lo que se espera de alguna forma es que la información obtenida por estas redes de monitoreo permita evaluar el efecto de las políticas de mitigación y de manejo de la biodiversidad (ej. para la creación de áreas protegidas) y con ello apoyar el desarrollo sustentable y la capacidad de adaptación de los países y sus industrias al cambio climático.

3 Línea base y revisión de bases de datos

3.1 Contexto socioambiental

3.1.1 Antecedentes

En la actualidad, a pesar de la importancia de la minería (con un 36,2% del PIB) y otras actividades en el contexto de su relevancia en la economía regional, como el comercio (10%), servicios personales (8,8%), y construcción (8,2%), debe considerarse que es el puerto de Iquique la puerta de entrada y salida de las actividades económicas regionales, incluyendo el desarrollo de la pesca artesanal e industrial, las que a pesar de aportar sólo el 1,4% del PIB regional, representan casi el 50 por ciento del total de la pesca del país (Puerto de Iquique, 2022), en un contexto internacional en el que Chile ocupa el 12° puesto del ranking de los principales productores de pesca de captura (FAO, 2016).

En relación a la pesca y hace más de una década, un documento denominado diagnóstico y propuestas de acción de los problemas ambientales de la región de Tarapacá, la antigua COREMA I Región indicaba que en esta zona existe un alto volumen de pesca de mar abierto, siendo las principales actividades la pesca de la anchoveta, la sardina, el jurel, así como también la pesca cercana a la costa y fondos marinos (demersal) o la captura de organismos del fondo (bentónica), los que sustentan u importante sector productivo, industrial y artesanal. (COREMA, s/f)

Por otro lado, identificaba en el medio acuático y marino la sobreexplotación de los recursos pelágicos por el desarrollo de pesca industrial. Principalmente por embarcaciones pesqueras sobre 50 toneladas que operan en la zona marítima de la región. Paralelamente otra problemática era la captura en nivel semi industrial sobre los recursos de la pesca artesanal, por ejemplo, la existencia de embarcaciones caratuladas como artesanales, pero cuyo tonelaje sistema de pesca se asemejaba a la industrial. En dicho diagnóstico se indicaba que estas operan dentro del área exclusiva de 5 millas correspondientes a las artesanales estaban causando problemas con los recursos cercanos a la costa y destinados al uso artesanal.

Existen, adicionalmente a la sobreexplotación de recursos, otros problemas socioambientales históricos en la bahía de Iquique. Estos son:

- La percepción de malos olores provenientes de la actividad de las centrales pesqueras y productoras de harina de pescado en la ciudad.
- La contaminación acuática por efluentes que contiene materia orgánica y química proveniente de plantas reductoras.
- Problemas de calidad y cantidad de recursos hídricos, es decir para cubrir las demandas de agua potable, así como su calidad.
- Contaminación acuática de carácter físico y químico proveniente de las descargas portuarias no controladas, esencialmente en puerto y terminal de marítimos de Iquique.
- Mortalidad de ciertas especies de fauna marina por desarrollo de la actividad de la pesquería industrial y la artesanal, particularmente lobos, marinos, cetáceos y, eventualmente, tortugas.

Este contexto es el que explica que hacia el año 2008, el Gobierno Regional de Tarapacá desarrollase la macrozonificación de usos del borde costero, asociado al análisis de las nuevas demandas de usos de suelo, para desarrollo industrial y urbano y áreas de importancia ecosistémica en el borde costero regional. Dicho proceso se asocia en la actualidad en un nuevo anteproyecto (2016), en el cual se releva que, en relación a

recursos pesqueros, de "acuerdo a los estudios de monitoreo bioceanográfico de los recursos pelágicos realizados por el IFOP en la I región desde 1982, se ha observado en general, que los recursos se encuentran distribuidos en forma costera, en toda la extensión latitudinal de la zona, con un amplio dominio en los niveles de abundancia de anchoveta respecto de sardina, caballa y jurel (Braun, et al., 2002).

De acuerdo con los estudios de los mismos autores, una de las áreas de desove más intensas y persistentes a través del tiempo para los recursos pelágicos, especialmente anchoveta, corresponde al sector ubicado frente a Punta Lobos durante las estaciones de otoño, invierno y verano, así como Caleta Chipana en primavera y verano (IFOP, 2003). Estos antecedentes coinciden con lo reportado por las investigaciones de Aqueveque (2000), quienes señalan la identificación de un área de desove y reclutamiento, principalmente de sardina española (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) frente a Playa Chipana." (GORE, 2017).

A su vez, esta abundancia de recursos pesqueros, principalmente anchoveta y jurel, es sensible tanto al fenómeno climático ENOS ("El Niño") como a la propia sobreexplotación de los recursos pelágicos a lo largo de la historia. En relación al primero, se constatan depresiones en la pesquería de los recursos anchoveta sardina española y jurel, lo que repercute sobre la actividad pesquera industrial, artesanal, siendo esta última afectada principalmente por la portada del erizo rojo y el loco. Por otro lado, el desarrollo de las industrias extractivas supone costos ecológicos por la pesquería industrial y artesanal, las cuáles ejercen una alta presión sobre los ecosistemas, lo que lo largo de las últimas décadas se ha traducido en periodos de bonanza y depresión de parte de la industria.

3.1.2 Usos y zonificación de la bahía

El año 2010 se elaboró la "Zonificación de usos del borde costero, región de Tarapacá", por parte del Gobierno Regional de Tarapacá en conjunto con los servicios públicos de la región de manera participativa. Como lineamientos estratégicos de este proceso se definieron:

- Fortalecimiento del turismo
- Desarrollo de la pesca y acuicultura
- Proyección de las actividades portuarias y de apoyo logístico
- Sistema urbano-regional sustentable, equilibrado y regularizado
- Protección de zonas de relevancia ecológica

En su actualización del 2016, para efectos de la zonificación, la región fue dividida en 5 grandes zonas: Tiliviche, Acantilados del Norte, Puerto de Tarapacá, Ruta de los Minerales y Los Pescadores. La bahía de Iquique y el área de estudio definido para esta consultoría en la Sección 2.2 se encuentra dentro de la zona "Puerto de Tarapacá". Este documento incluye un plano de cada gran zona, con la zonificación del borde costero (ZBC) que incluye, entre otras: Zona Reservada para el Estado (ZE), Zona Portuaria (ZP), Zona de Desarrollo de Astilleros (ZDA), Zona de Asentamientos Humanos Urbanos (ZHu), Zona Pesquera Artesanal (ZPQa), Área de Manejo y Extracción de Recursos Bentónicos (ZAMERB), Área Apropiada para el Ejercicio de la Acuicultura (ZAAA), Zona Industrial (ZI), Zona Turística (ZT), Zona de Conservación del Patrimonio Cultural (ZCPC), Zona de Protección Ambiental Oficial (ZPO) y Zona Natural de Especial Interés Ecosistémico para su Conservación (ZIEC). En la Figura 12 se presenta el plano de ZBC de Puerto de Tarapacá, junto con el área de estudio en un cuadro rojo.

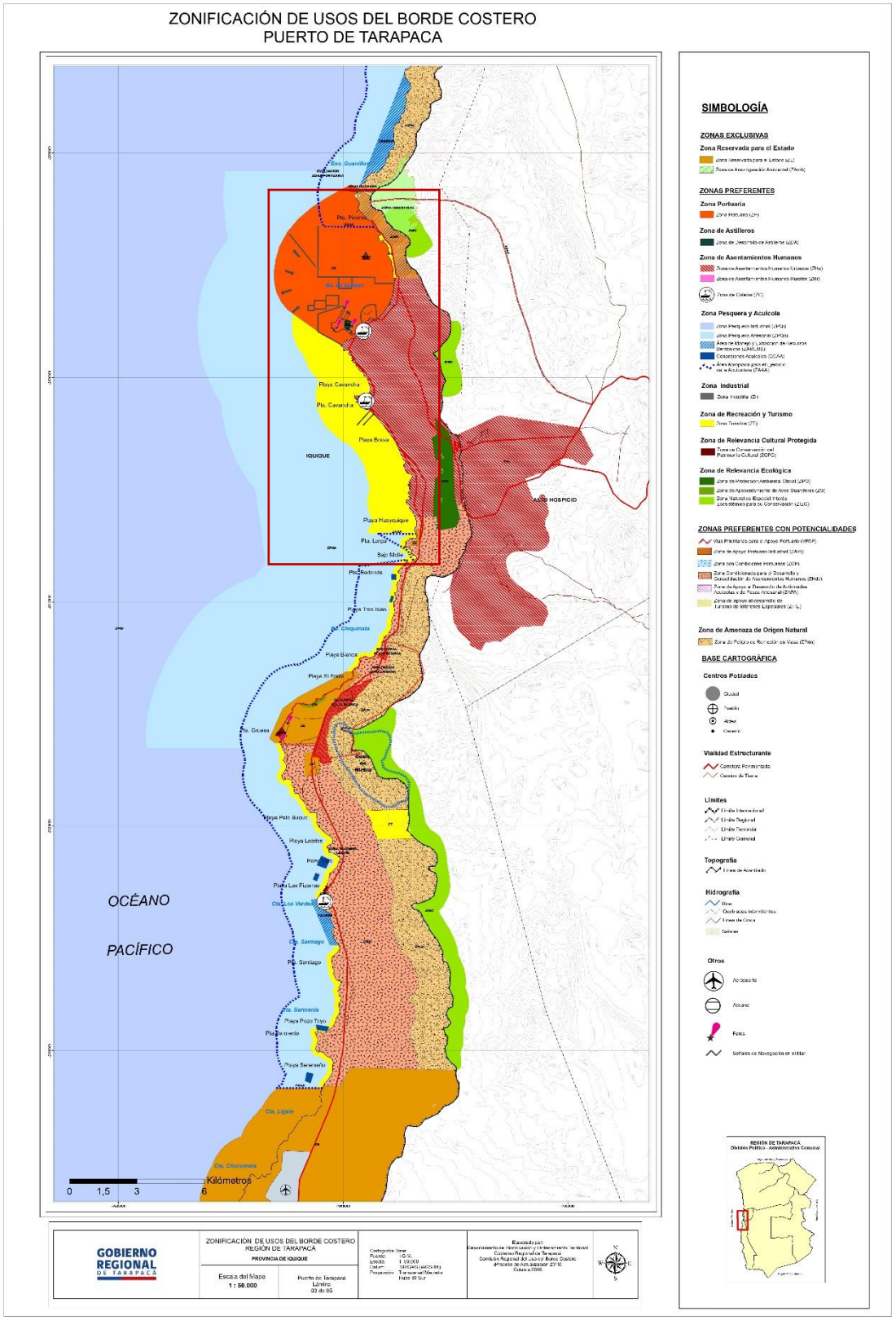


Figura 12 – Zonificación de uso de borde costero de Puerto de Tarapacá (en rojo se indica área de estudio)
Fuente: Gobierno Regional (2016)

Se observa del plano presentado anteriormente que el área de estudio definido para la bahía de Iquique presenta principalmente una zona portuaria, zona turística, zona de asentamientos humanos urbanos y zona pesquera artesanal, además de otras zonas pequeñas relevantes como zona de desarrollo de astilleros, zona de conservación del patrimonio cultural, zona de protección ambiental oficial, zona natural de especial interés ecosistémico para su conservación.

3.1.3 Climatología

El borde costero de la Región presenta, según la clasificación de Köppen, dos tipos de clima; BWhn (desértico cálido con nublados abundantes) que abarca la zona norte hasta aproximadamente la altura de Mejillones del Norte (19º49'35.38" S; 70º09'25.78" W) y BWn (desértico con nublados abundantes) que abarca todo el resto del litoral de la región.

El clima general del borde costero regional corresponde al *clima desértico costero con nublados abundantes*, el que predomina desde el extremo norte hasta casi los 30° de Latitud Sur, y abarca la mayor parte de la Cordillera de la Costa y todos los discontinuos sectores de planicies litorales. Cubre una franja longitudinal paralela a la costa y de no más de 40 a 50 km de ancho. Se caracteriza porque las temperaturas son relativamente bajas (con respecto a los territorios al interior del continente a la misma latitud) y homogéneas, la amplitud térmica diaria y anual es pequeña, debido a la influencia del mar. Existe una alta humedad atmosférica con numerosas nieblas (camanchacas) y alta nubosidad. El promedio anual de pluviosidad no supera los 2mm. (GORE, 2008).

3.1.4 Oceanografía

El ecosistema marino costero en el norte de Chile está fuertemente influenciado por las aguas relativamente frías asociadas a la corriente de Humboldt, las cuales, forzadas por los vientos del sur asociados al casi-permanente anticiclón del Pacífico Sur emergen de las capas más profundas ricas en nutrientes, bajo O_2 y alto pCO_2/bajo pH (Strub et al., 2013; Torres et al., 2011).

A escala de la bahía de Iquique, aunque existen pocos estudios sobre corrientes, estos muestran que desde el molo de abrigo predominan corrientes superficiales con componente NW (i.e., hacia el mar abierto; Camanchaca, 2004), sin embargo, experiencias con trazador químico Rodamina liberado desde las estaciones PVA de Corpesca muestran una baja capacidad de dilución en superficie predominando corrientes con componente NE (i.e., un eventual derrame estaría concentrado en playa El Colorado; Corpesca, 2006).

De forma similar, los estudios sobre oceanografía biológica y ecología marina en frente de Iquique (20º S) son escasos y esporádicos, siendo la bahía de Mejillones (22º S) donde se concentran la mayoría de los estudios. En este sentido, la bahía de Mejillones destaca, al igual que la bahía de Iquique (Fuenzalida, 1990), por persistentes eventos de surgencia que estimulan una alta productividad primaria por el micro-fitoplancton (~ 7 g C m-2 d-1 entre 1999-2001), pero reduciéndose en promedio a un tercio durante el fuerte evento El Niño 1997/98 cuando prosperaron el pico- y nano-fitoplancton (Iriarte y González, 2004).

Con respecto a la macrofauna bentónica de fondo blando, un estudio analizando muestras obtenidas en frente de Iquique mostró una fuerte disminución de poliquetos de la familia Spionidae asociado al evento La Niña 1996 en sedimentos de 9 y 30 m de profundidad (Quiroga et al., 1999), lo cual, fue también registrado en sedimentos submareales frente a Huasco (Lancelloti, 2002). Este aparente efecto negativo de La Niña sobre la macro-infauna parece haberse revertido durante el evento de El Niño 1997/98 cuando una mayor diversidad y menor dominancia fue registrado (Moreno et al., 2008). Se ha sugerido que la

profundización de la capa de mínimo oxígeno y mayores temperaturas alcanzando el fondo marino podrían explicar el efecto positivo de El Niño sobre estos ensambles macro-infaunales (Escribano et al., 2004; Moreno et al., 2008). No obstante, debido a la escasez de monitoreos anuales comparado con Perú y el hemisferio norte es que resulta difícil conocer su variabilidad temporal (Thiel et al., 2007 y referencias), información de base necesaria para una correcta evaluación de sus respuestas a múltiples-estresores antropogénicos.

3.2 Línea base fisicoquímica

Se revisaron y analizaron los monitoreos de agua, sedimentos y biota (metales) realizados como parte del POAL y PVAs de la zona de estudio, con la finalidad de establecer una línea base fisicoquímica de las matrices ambientales.

3.2.1 Monitoreo de agua POAL

En relación al monitoreo de agua, se tuvo acceso a 26 archivos para los años 1993 a 2021 faltando los reportes para los años 2012, 2018 y 2020. Las fechas de los eventos de muestreo se presentan en la Tabla 7.

De las 19 estaciones comprendidas por el POAL se han muestreado 11 a través de los años, siendo los puntos 50 “Playa El Colorado” y 120 “La Puntilla” los más muestreados con 26 ocasiones (todos los años disponibles). Lo anterior se muestra en la Tabla 8.

Tabla 7 – Eventos de muestreo

Año	Muestreo	Año	Muestreo	Año	Muestreo	Año	Muestreo
1993	01/10/1993	2000	11/04/2000	2008	02/01/2008	2015	07/04/2015
1994	01/04/1994		12/04/2000		02/07/2008		09/04/2015
	27/07/1994		31/08/2000	2009	01/01/2009		08/04/2015
	23/11/1994	2001	06/03/2001		22/10/2009	2016	03/06/2016
1995	26/07/1995		09/08/2001	2010	23/04/2010		31/05/2016
	13/12/1995	2002	20/08/2002		20/10/2010		22/11/2016
1996	24/04/1996		18/11/2002	2011	02/05/2011		25/11/2016
	20/08/1996		19/11/2002		22/11/2011	2017	03/05/2017
	04/12/1996	2003	08/04/2003	2013	16/12/2013		04/05/2017
1997	02/04/1997		13/10/2003		11/12/2013		22/11/2017
	14/10/1997	2004	15/04/2004		03/12/2013		14/11/2017
1998	13/03/1998		16/11/2004	2014	06/05/2014	2019	28/03/2019
	16/10/1998	2006	25/10/2006		08/05/2014		16/10/2019
1999	12/02/1999		27/03/2006		09/05/2014		17/10/2019
	23/09/1999	2007	04/11/2007		04/11/2014	2021	06/04/2021
	11/02/1999		19/04/2007		07/11/2014		07/04/2021
					05/11/2014		

Tabla 8 – Puntos muestreados históricamente

Punto	Topónimo	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	2019	2020	2021	Total
10	Sector Corbeta Esmeralda							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Sin datos	x	x	x	x	x	Sin datos		Sin datos		18
20	–																														0
30	Boya Esmeralda	x	x	x	x																										4
40	Marinero Desconocido	x	x	x	x																										4
50	Playa El Colorado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x		x	26
60	–																														0
70	Molo Abrigo	x	x	x	x																										4
80	Pesquera Camanchaca																			x		x	x	x	x	x		x		x	8
90	Muelle Naval	x	x	x	x										x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x		x	17
100	Sector Norte Ex-muelle CORFO									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x		x	18
110	–																														0
120	La Puntilla	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x		x	26
130	–																														0
140	–																														0
150	Playa Cavancha	x	x	x	x																										4
160	–																														0
170	–																														0
180	Ex Ballenera																					x	x	x	x	x					5
190	Punta Gruesa																					x	x	x	x	x					5

La ubicación de las estaciones de monitoreo de agua se presenta en la Figura 13.

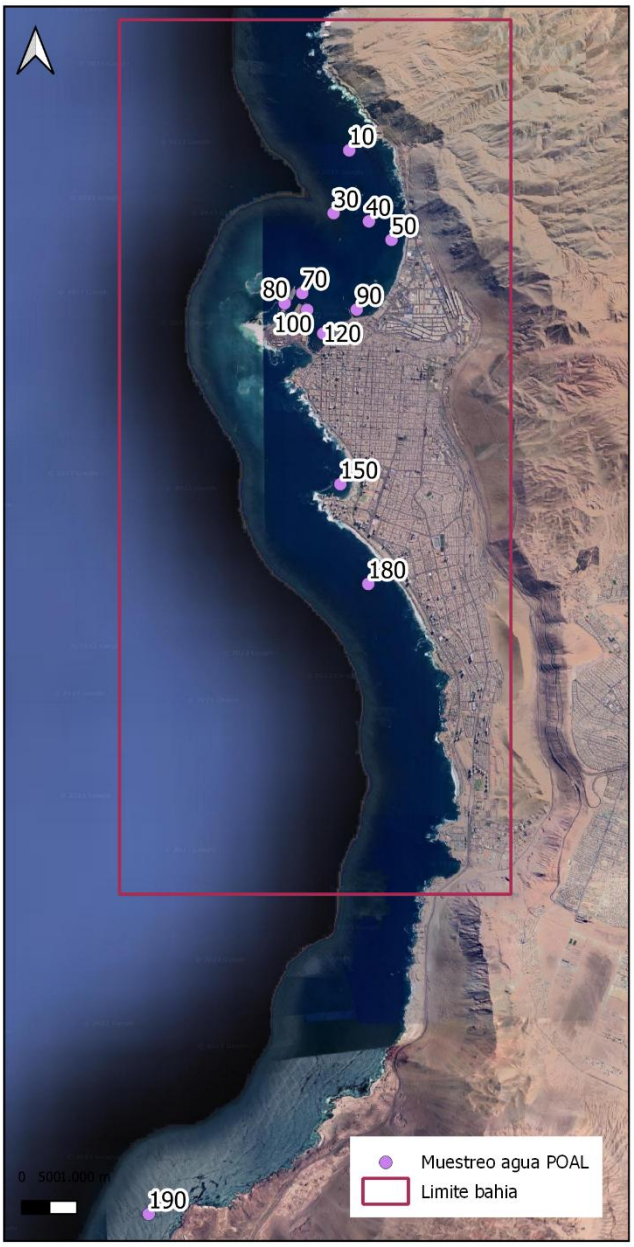


Figura 13 – Puntos de muestreo de agua POAL

En cuanto a los analitos, el POAL incluye los siguientes analitos para agua[10]:

- Metales totales y disueltos (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, zinc)

[10] De acuerdo con https://www.directemar.cl/directemar/intereses-maritimos/p-o-a-l-programa-de-observacion-del-ambiente-litoral/parametros-y-matrices-ambientales-consideradas-en-el-p-o-a-l

- Nutrientes (amonio, fosfato, P – fosfato, fósforo total, nitrato, nitrito, nitrógeno total Kjeldahl, DBO_5, materia orgánica)
- Oxígeno disuelto
- Sólidos disueltos y suspendidos
- Coliformes fecales y totales
- Aceites y grasas
- Hidrocarburos, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles, hidrocarburos fijos, HF C34-C50
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos o PAHs (acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, díbenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1 2 3-cd)pireno, naftaleno, pireno)

Cabe notar que no todas las estaciones contemplan todos los analitos, ni fueron todas las estaciones muestreadas cada año como indicado anteriormente.

Adicionalmente, la evaluación de datos se vio enormemente dificultada por la gran cantidad de errores, inconsistencias y vacíos de información. Lo anterior puede deberse a errores de transcripción, analíticos o diferencia en metodologías. En este sentido, para poder extraer conclusiones de los datos se requirió de una revisión fina de los datos tratando de eliminar aquellos donde se notaba algún error evidente. No obstante, se mantuvieron algunos datos que aun anómalos, eran en sí "consistentes" entre analitos o años de muestreo. Esto se discute en mayor detalle en la Sección 5.2.

Los datos de todos estos eventos tabulados se presentan en el Anexo 3. A continuación se presenta una discusión por cada grupo de analitos.

3.2.1.1 Metales totales y disueltos

Las estadísticas descriptivas para los metales totales se muestran en la Tabla 9. Notar que no se analizó arsénico total.

Tabla 9 – Estadísticas de metales totales en columna de agua

Estadística	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Plomo	Zinc
			µg/L			
Máximo	1	106,64	155	38,52	23,29	78,71
Mínimo	0,025	0,025	0,025	0,045	0,012	0,025
Promedio	0,29	5,24	25,94	0,65	2,17	29,65
Mediana	0,151	0,995	15	0,5	0,85	15,28
Valor de referencia	5,5	1,3	27	0,4	4,4	8
Nº de muestras	158	158	150	151	158	158
Nº excede referencia	0	63	67	77	22	92
% Excede referencia	0%	40%	45%	51%	14%	58%

Nota: referencia corresponde a guía australiana

Como muestra la tabla anterior, no hubo excedencias del valor de referencia de la guía australiana para cadmio. Para cobre, cromo, mercurio y zinc, las concentraciones medidas excedieron más de un 40% de las veces, llegando a más del 50% en el caso del zinc. En el caso de plomo, las concentraciones excedieron un 14% de las veces que fue medido el analito.

Cabe notar que la mediana de cada analito solo excedió el nivel de referencia para mercurio y zinc. Sin embargo, en el caso del mercurio esto se debe a que el nivel de detección de este analito fue de 1 µg/L durante el periodo 2003 al 2011, y fue registrado en los datos como una concentración de 0,5 µg/L sesgando los datos.

Las estadísticas descriptivas para los metales totales se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10 – Estadísticas de metales disueltos en columna de agua

Estadística	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Plomo	Zinc
µg/L							
Máximo	4,3	0,5	8,17	1,16	0,5*	1,25	14,07
Mínimo	0,25	0,025	0,025	0,025	0,15	0,025	0,025
Promedio	1,22	0,34	1,24	0,34	0,33	0,81	3,73
Mediana	1,05	0,5	0,58	0,245	0,25	1,09	3,28
Valor de referencia	4,5	5,5	1,3	27	0,4	4,4	8
Nº de muestras	78	129	129	56	120	129	51
Nº excede referencia	0	0	27	0	42	0	6
% Excede referencia	0%	0%	21%	0%	35%	0%	12%

Nota: referencia corresponde a guía australiana.
*: corresponde a la mitad del valor del límite de detección.

Como muestra la tabla anterior, no hubo excedencias del valor de referencia de la guía australiana para arsénico, cadmio, cromo y plomo. Para cobre y mercurio las concentraciones medidas excedieron más de un 20% de las veces, llegando a más del 35% en el caso del mercurio. En el caso del zinc, las concentraciones excedieron un 12% de las veces que fue medido el analito. La mediana de cada analito no excedió el nivel de referencia para ningún analito.

Cabe notar que al igual que para los metales totales, el nivel de detección de mercurio fue de 1 µg/L durante el periodo 2003 al 2011, y fue registrado en los datos como una concentración de 0,5 µg/L (bajo el nivel de detección). Más aun, en todas las otras ocasiones que fue medido este analito también estuvo bajo el nivel de detección, por lo que se descarta la importancia de las excedencias reportadas.

En consideración de los datos anteriores, se estima relevante evaluar en mayor detalle los analitos cobre, cromo y zinc.

3.2.1.1.1 Cobre

Los datos para cobre no muestran tendencias claras, con peaks esporádicos notados para los años 1999 para cobre total en los puntos 050 y 120, y en los años 2011, 2014 y 2017 para cobre disuelto. Para cobre disuelto, se notan peaks en todos los puntos para el año 2011, y principalmente para 050 y 120 en los otros años. En contraste a lo anterior, la estación 190 registró valores menores al límite de detección en todo el periodo medido (2013 a 2017) para cobre total y disuelto (y todos los otros metales con excepción de arsénico disuelto). Las concentraciones para cobre total y disuelto medidas se presentan en las Figura 14 y Figura 15.

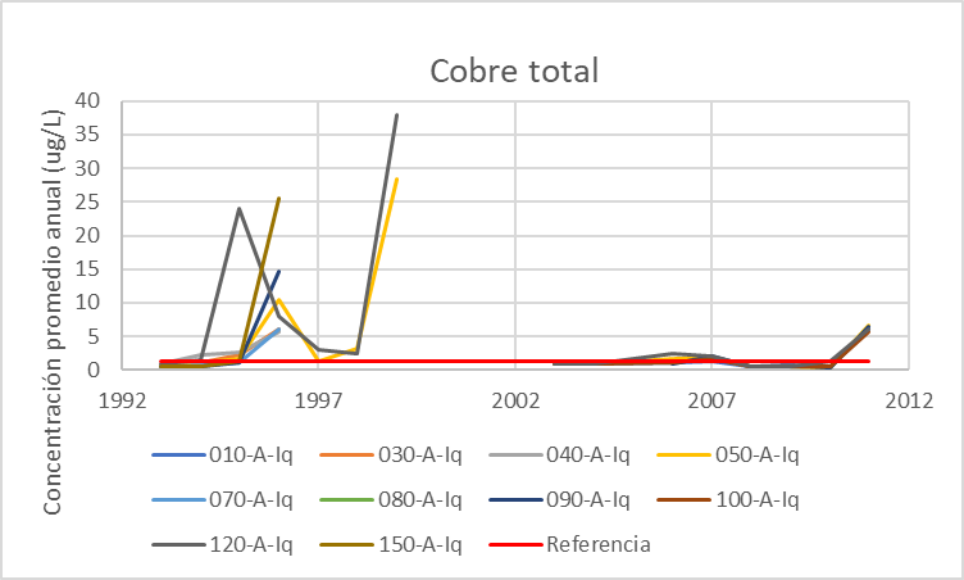


Figura 14 – Concentración promedio anual por estación y año de cobre total

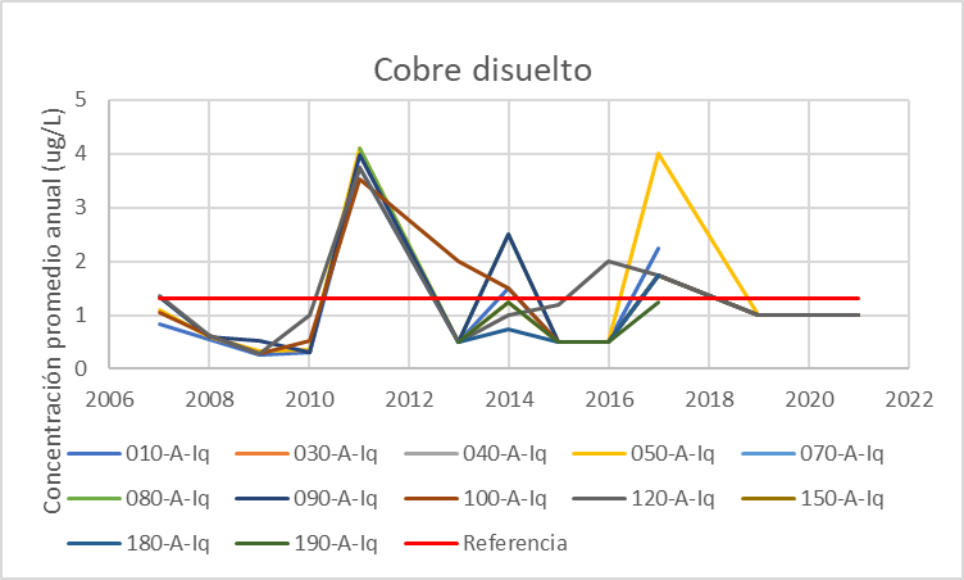


Figura 15 – Concentración promedio anual por estación y año de cobre disuelto

3.2.1.1.2 Cromo

En los datos para cromo total llama la atención las concentraciones de más de 50 µg/L registradas desde el año 1993 al año 1999. Sin embargo, ya que estas son reportadas por dos laboratorios diferentes, no se han desestimado como error. De cualquier modo, los datos muestran una disminución general en concentraciones de cromo llegando a niveles bajo los límites de detección en los últimos 10 años. Las concentraciones para cromo total y disuelto medidas se presentan en las Figura 14 y Figura 15.

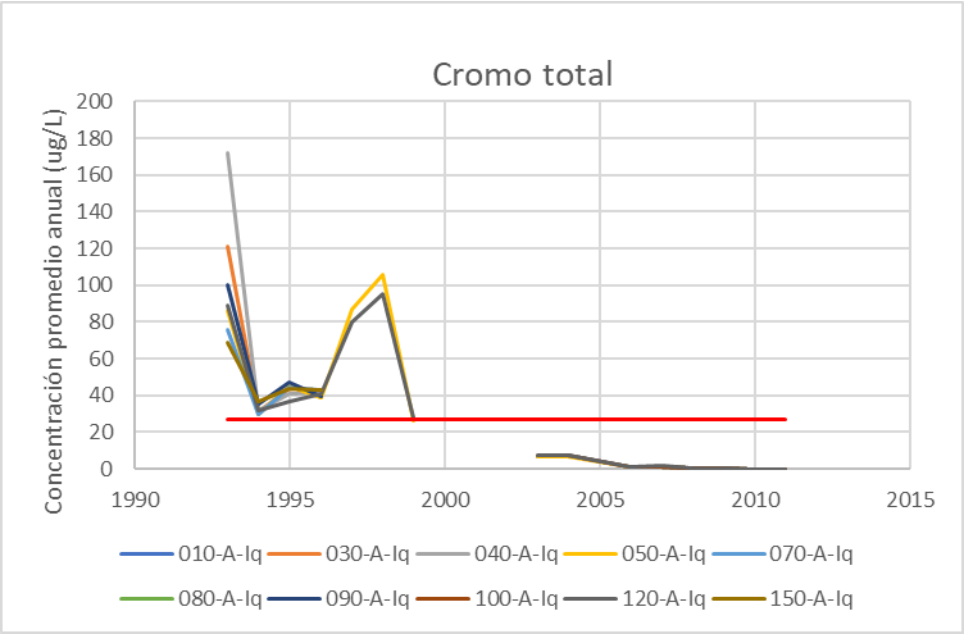


Figura 16 – Concentración promedio anual por estación y año de cromo total

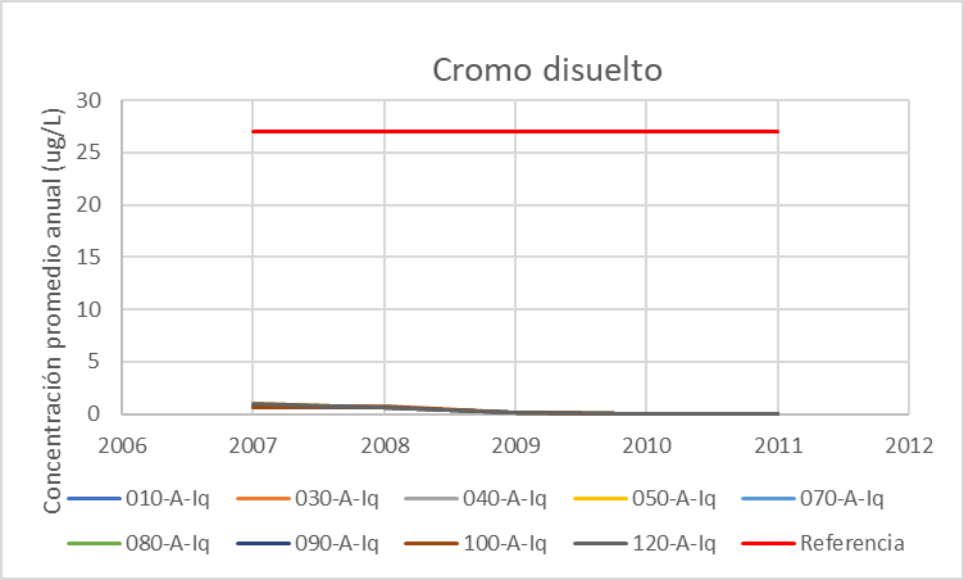


Figura 17 – Concentración promedio anual por estación y año de cromo disuelto

3.2.1.1.3 Zinc

Observando los datos para zinc total, similar que para cromo, llama la atención las concentraciones de más de 30 µg/L, registradas desde el año 1993 al año 1999. Sin embargo, ya que estas son reportadas por dos laboratorios diferentes, no se han desestimado como error. La Figura 18 y Figura 19 muestran una disminución general en concentraciones del año 1993 al 2011 de zinc total, sin embargo, para zinc disuelto estas fluctúan sin una clara tendencia entre los años 2007 al 2011 (periodo muestreado). No se observa una diferencia clara en concentraciones entre las estaciones monitoreadas.

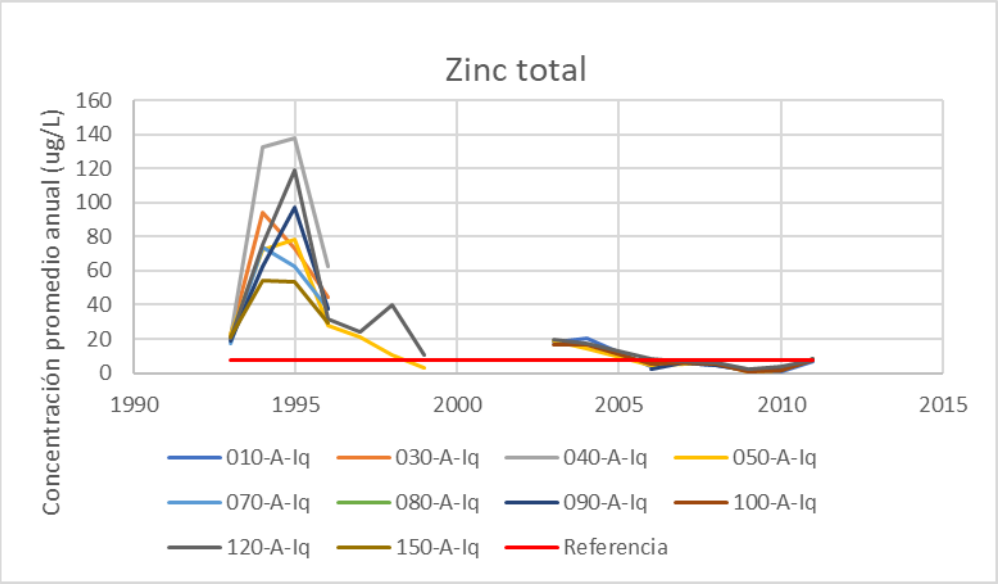


Figura 18 – Concentración promedio anual por estación y año de zinc total

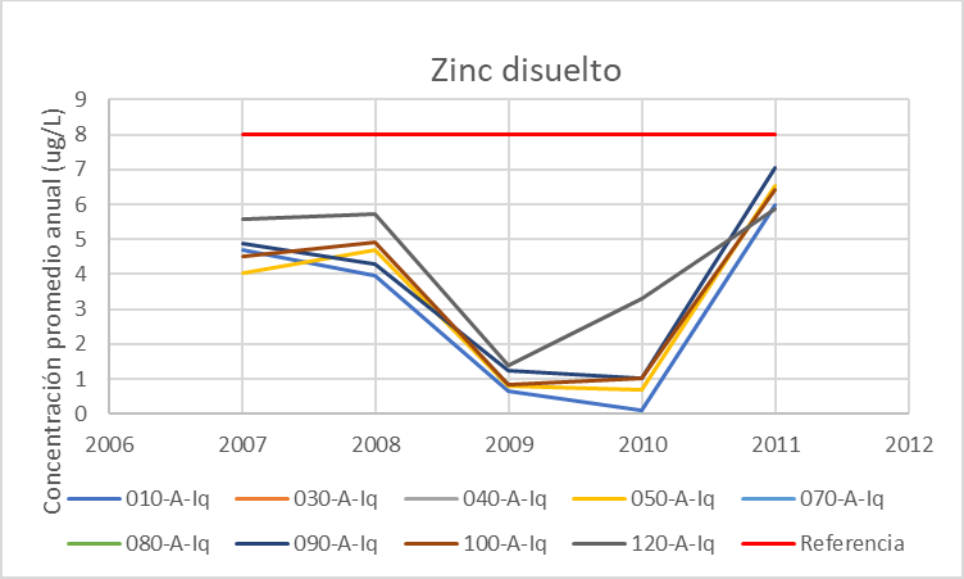


Figura 19 – Concentración promedio anual por estación y año de zinc disuelto

3.2.1.2 Nutrientes

Las estadísticas descriptivas para los nutrientes se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11 – Estadísticas de nutrientes en columna de agua

Estadística	Amonio	Fosfato	Fósforo Total	Nitrato	Nitrito	N Kjeldahl	DBO_5 20°C
			mg/L				
Máximo	1,933	1,520	0,670	5,170	0,197	9,62	4,000
Mínimo	0,005	0,003	0,005	0,001	0,005	0,05	0,500
Promedio	0,189	0,115	0,145	1,816	0,027	1,391	1,200
Mediana	0,070	0,075	0,130	1,950	0,019	0,76	0,500
Valor de referencia	0,91*	0,01*	0,025*	200**	60**	1***	5****
Nº de muestras	249	164	150	228	126	165	15
Nº excede referencia	11	130	107	0	0	72	0
% Excede referencia	4%	79%	71%	0%	0%	44%	0%

Nota: *guía australiana (incluye efectos por eutroficación, salvo para amonio que considera efectos de toxicidad); ** guía canadiense para efectos a largo plazo (no incluye efectos por eutroficación); *** guía canadiense citando a NOAA; **** WHO agua potable

Como muestra la tabla anterior, no hubo excedencias del valor de referencia para nitrato, nitrito o DBO_5 20°C. Para fosfato, fósforo total y nitrógeno Kjeldahl, las concentraciones medidas excedieron más de un 40% de las veces, llegando a 79% en el caso del fosfato. En el caso del amonio, las concentraciones excedieron un 4% de las veces que fue medido el analito.

En consideración de los datos anteriores, se estima relevante evaluar en mayor detalle los analitos fosfato, fósforo total, nitrógeno Kjeldahl y amonio.

3.2.1.2.1 Fosfato

La revisión de los datos para fosfato total (Figura 20), indica que estos han estado por lo general por sobre el nivel de referencia de 0,01 mg/L en todos los años, salvo los años 2009 y 2011 que estuvieron bajo el límite de detección y fueron registrados como 0,075 mg/L. No se observa ninguna tendencia en cuanto a ubicaciones, salvo que las veces que fue monitoreada la estación de control 190 esta registró valores bajo el nivel de referencia.

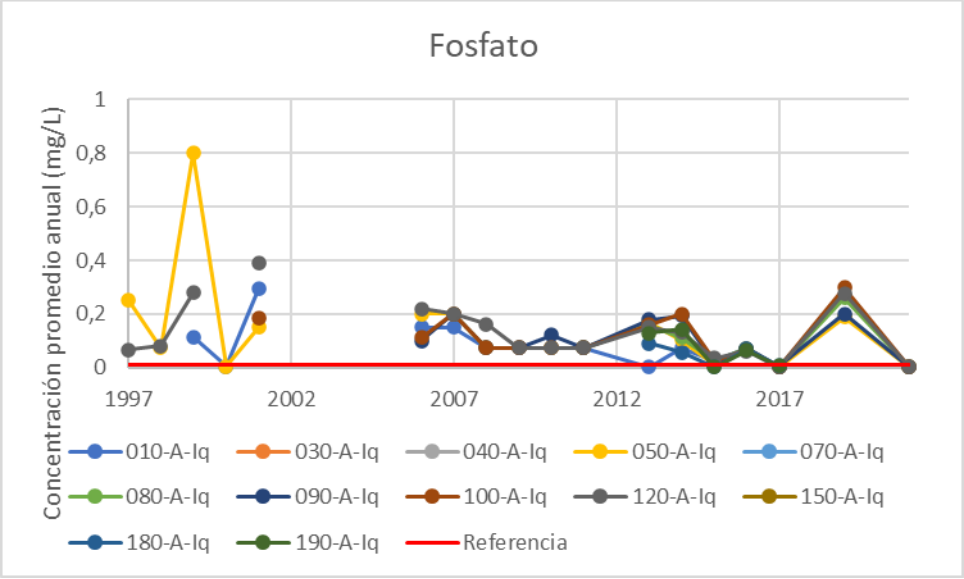


Figura 20 – Concentración promedio anual por estación y año de fosfato

3.2.1.2.2 Fósforo total

Los datos de fósforo total mostrados en la Figura 21 indican una caída importante en las concentraciones desde el año 1993 al año 2011, no existiendo datos posteriores a este año. Aun así, estos son consistentemente registrados por sobre el nivel de referencia adoptado de 0,025 mg/L, salvo para los años 2008 y 2009. No se observa ninguna tendencia en cuanto a ubicaciones.

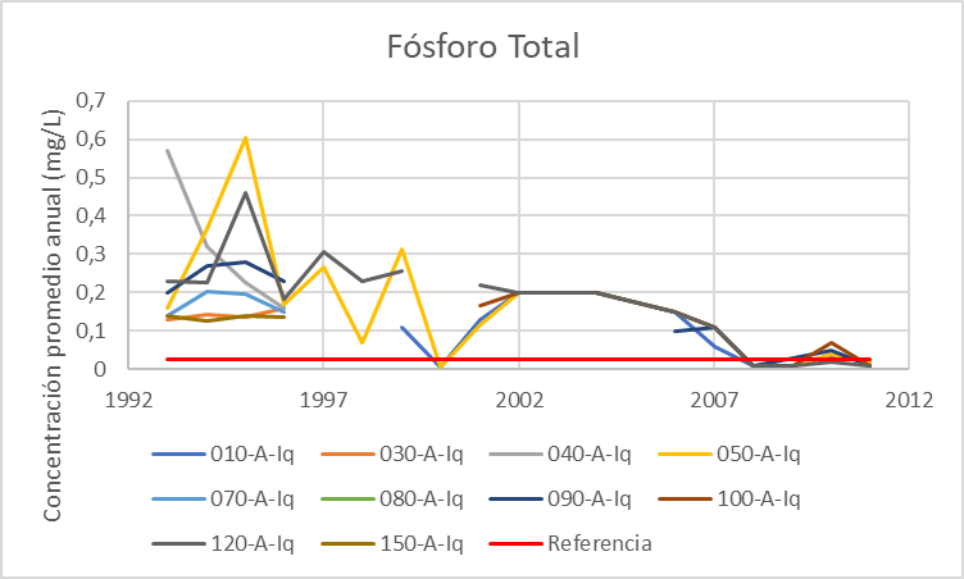


Figura 21 – Concentración promedio anual por estación y año de fósforo total

3.2.1.2.3 Nitrógeno Kjeldahl

Los datos de nitrógeno Kjeldahl (Figura 22) indican una caída importante en las concentraciones desde el año 1993 al año 2011, no existiendo datos posteriores a este año. Estas concentraciones estarían bajo el nivel de referencia adoptado de 1 mg/L desde el 2001 en adelante. No se observa ninguna tendencia en cuanto a las ubicaciones de muestreo.

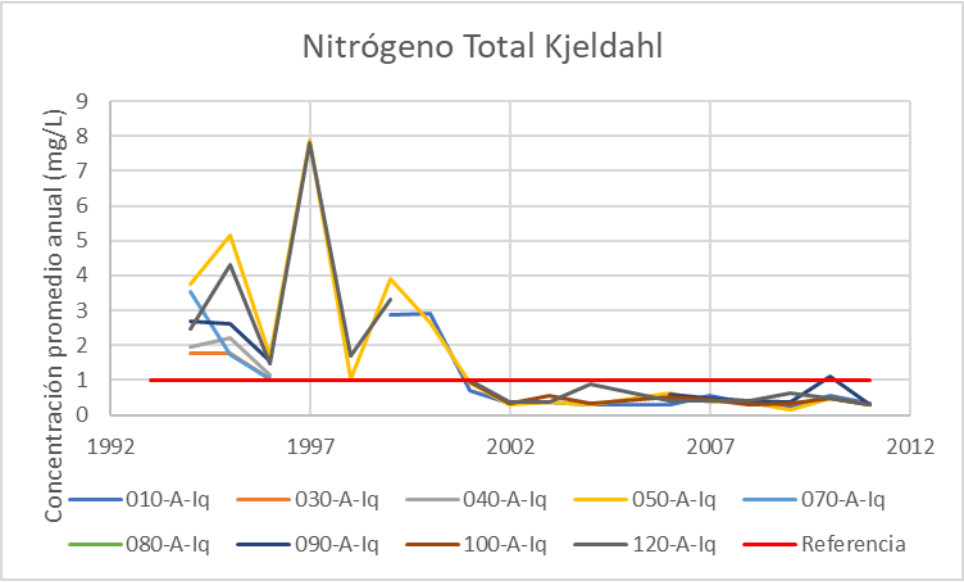


Figura 22 – Concentración promedio anual por estación y año de nitrógeno Kjeldahl

3.2.1.2.4 Amonio

A excepción de los primeros años de registro (entre 1993 y 1995), las concentraciones de amonio se encuentran siempre bajo el nivel de referencia y muestran una tendencia general de disminución hasta el año 2019, presentando valores bajo el límite de detección entre el 2do semestre del 2014 y el 1er semestre de 2019. Entre los años 2019 y 2021 las concentraciones aumentan un poco comparativamente, sin embargo, estas se mantienen bajo el nivel de referencia de 0,9 mg/L (Figura 23).

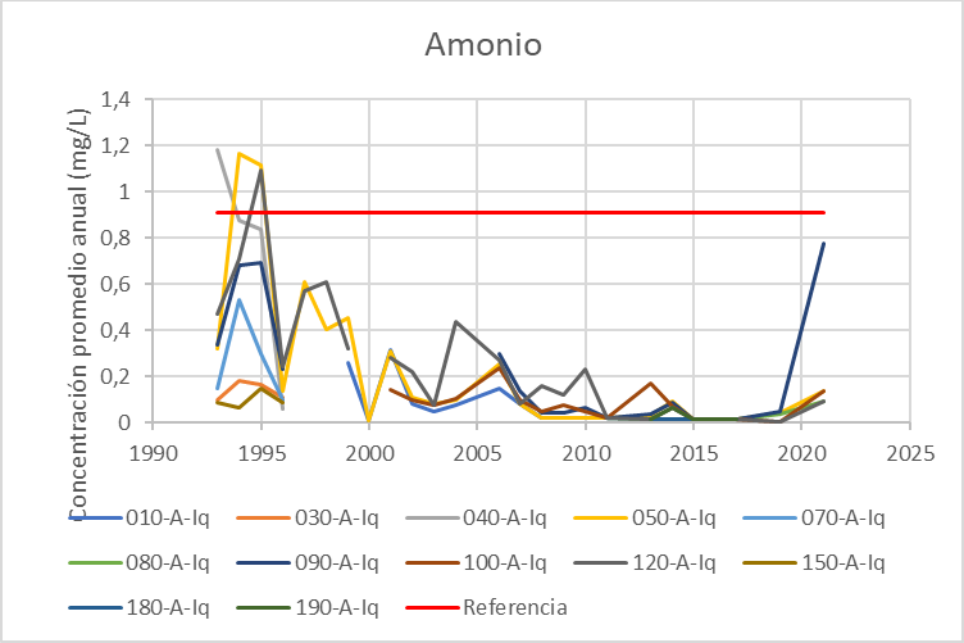


Figura 23 – Concentración promedio anual por estación y año de amonio

3.2.1.3 Otros parámetros

Se discuten a continuación los parámetros de oxígeno disuelto, sólidos disueltos y suspendidos, y coliformes (fecales y totales). Las estadísticas descriptivas para estos parámetros se muestran a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12 – Estadísticas de otros parámetros (oxígeno disuelto, sólidos disueltos y suspendidos, y coliformes fecales y totales) en columna de agua

Estadística	Oxígeno Disuelto	Sólidos Disueltos	Sólidos Suspendidos	Coliformes Fecales	Coliformes Totales
	mg/L			NPM/100ml	
Máximo	9,01	42690	290	16000	16000
Mínimo	3	34975	2	0,9	2
Promedio	7,25	38298,76	21,25	145,83	628,53
Mediana	7,77	37500	11,5	2	7,8
Valor de referencia	8,35*	-	-	150**	-
Nº de muestras	72	51	114	235	63
Nº excede referencia	60	-	-	18	-
% Excede referencia	83%	-	-	8%	-

Nota: *guía australiana a 90% de saturación a 19º (temperatura media anual del agua de mar en Iquique; *guía australiana para contacto directo. La norma chilena D144 indica 1000 NPM/100ml

Como muestra la tabla anterior, se presenta un bajo nivel de oxígeno disuelto en todas las estaciones menor al nivel de referencia adoptado de 8,35 mg/L (90% de saturación a 19º). Por otra parte, se observa que los coliformes fecales estuvieron un 8% de las veces por sobre la guía australiana. Sin embargo, comparando estos últimos con la norma chilena que es más permisiva, se ve que solo excedieron un 3% de las veces (en 6 oportunidades).

En consideración de los datos anteriores, se estima relevante evaluar en mayor detalle los analitos oxígeno disuelto y coliformes fecales.

3.2.1.3.1 Oxígeno disuelto

Con respecto a este analito (Figura 24), se notaron concentraciones bajo el nivel de referencia adoptado en todas las estaciones, salvo en el año 2007. No se pueden determinar otras tendencias dado lo esporádico de los datos, salvo quizás una disminución general en niveles a través de los años.

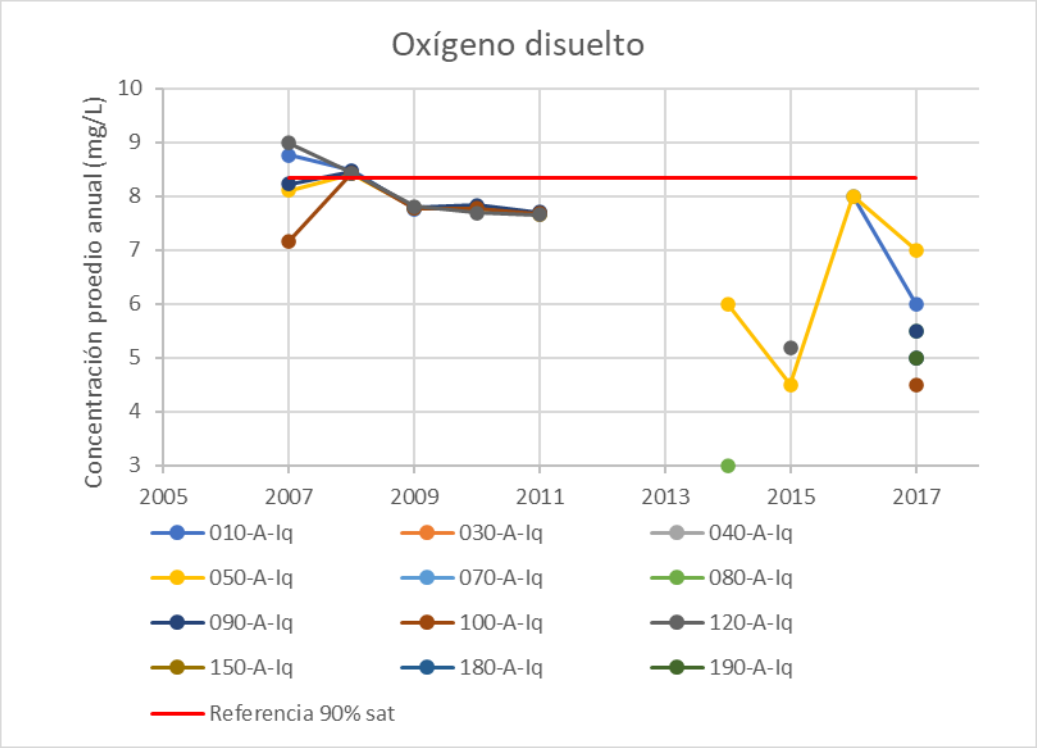


Figura 24 – Concentración promedio anual por estación y año de oxígeno disuelto

3.2.1.3.2 Coliformes fecales

Los datos se presentan en la Figura 25. Se puede notar que las excedencias de los valores de referencia adoptados se encuentran solamente en las estaciones 050 “Bahía de Iquique” y 090 “Muelle Naval”. Existen peaks también en los años 2009 y 2013 en la estación 150 “Playa Cavancha”, aunque sin mostrar excedencias. La estación 050 muestra consistentemente los datos más elevados de todas las estaciones monitoreadas.

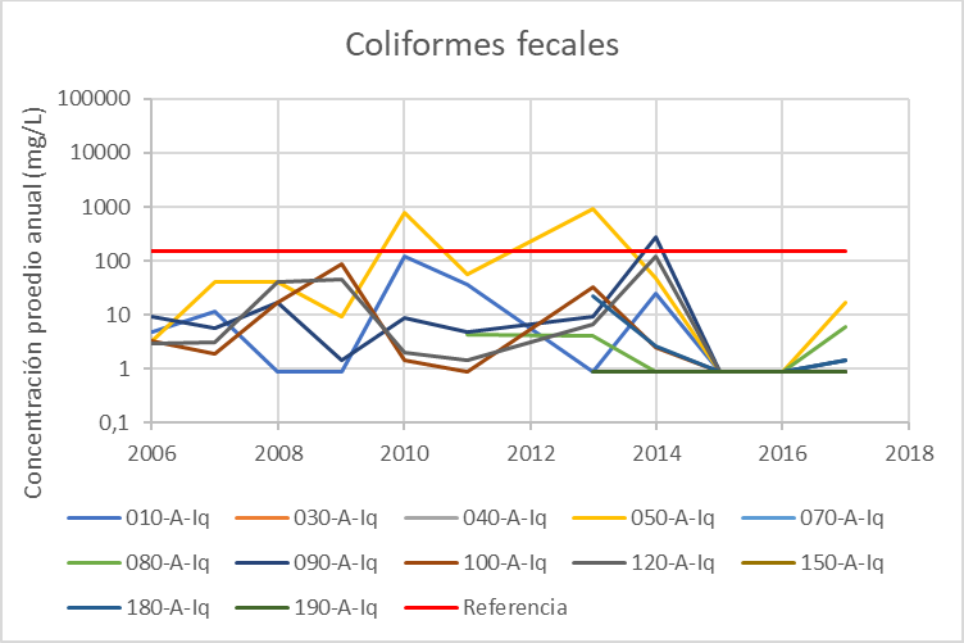


Figura 25 – Concentración promedio anual por estación y año de coliformes fecales

3.2.1.4 Aceites, grasas e hidrocarburos

Los datos de aceites y grasas, e hidrocarburos son muy esporádicos por lo que no se presentan estadísticas detalladas. Sin embargo se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Se realizaron análisis de una serie de compuestos correspondientes a hidrocarburos policíclicos aromáticos o HAPs (acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, díbenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1 2 3-cd)pireno, naftaleno, pireno). Estos análisis se realizaron durante los años 2013 al 2021. Sin embargo, todos registraron concentraciones bajo los límites de detección.
- Adicional al punto anterior se analizaron HAPs (hidrocarburos policíclicos aromáticos) totales, sin embargo los datos de los años 2002 al 2006 son anómalos como muestra la Figura 26, por lo que deben ser descartados. Los otros años se notan concentraciones muy bajas (menores a 0,2 µg/L) o menores al límite de detección.
- Los datos de aceites y grasas son, al igual que los de HAPs totales, esporádicos y anómalos. Aun así, se indican valores menores a la norma de emisión del Decreto 90 para la zona de protección litoral de 20mg/L (salvo para 050 que registro 33 mg/L durante el período 1999), como muestra la Figura 27.

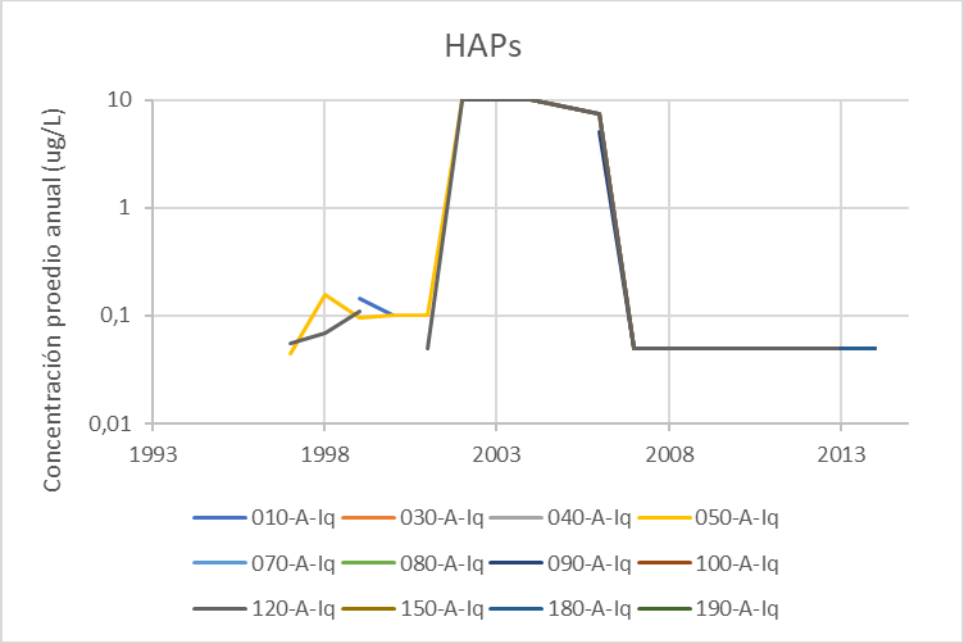


Figura 26 – Concentración promedio anual por estación y año de HAPs

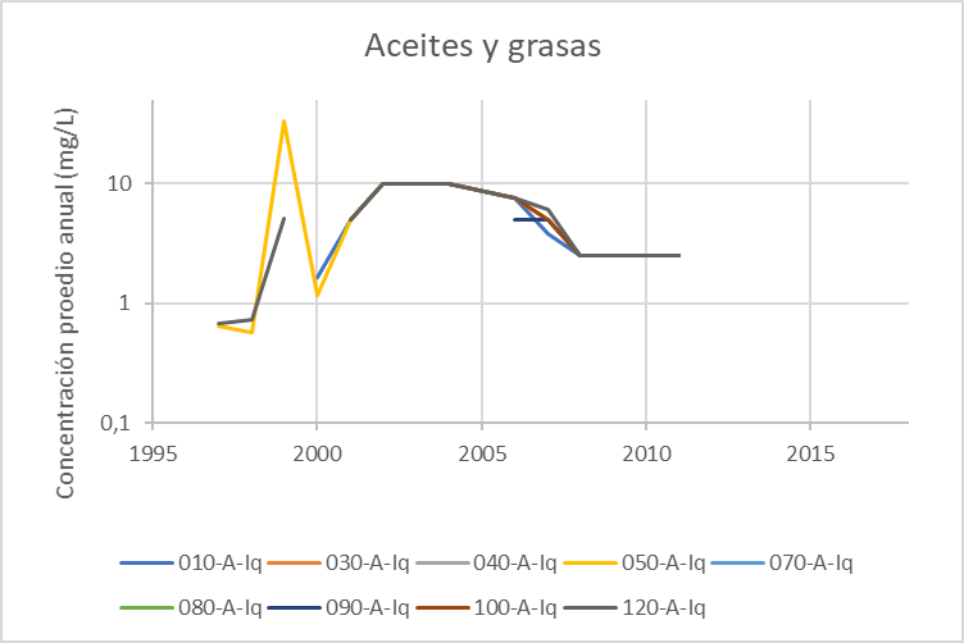


Figura 27 – Concentración promedio anual por estación y año de aceites y grasas

3.2.2 Monitoreo de sedimentos POAL

En relación al monitoreo de sedimentos, se tuvo acceso a 24 archivos para los años 1993 a 2021, no encontrándose los reportes para los años 1999, 2012, 2018, 2019 y 2020. Las fechas de los eventos de muestreo se presentan en la Tabla 13.

De las 19 estaciones comprendidas por el POAL se han muestreado 13 a través de los años, siendo los puntos "50 – Playa El Colorado" y "120 – La Puntilla" los más muestreados con 20 ocasiones (todos los años disponibles desde el 1997). Lo anterior se muestra en la Tabla 14.

Tabla 13 – Eventos de muestreo

Año	Muestreo	Año	Muestreo	Año	Muestreo	Año	Muestreo
1993	01/10/1993	2001	06/03/2001	2008	02/01/2008	2014	05/11/2014
1994	01/04/1994		09/08/2001		02/07/2008		07/11/2014
	27/07/1994	2001	20/08/2002	2009	01/01/2009	2015	07/04/2015
	23/11/1994		18/11/2002		22/10/2009		08/04/2015
1995	26/07/1995		19/11/2002	2010	23/04/2010		09/04/2015
	13/12/1995	2003	08/04/2003		20/10/2010		16/10/2015
1996	24/04/1996		13/10/2003		05/11/2010		20/10/2015
	20/08/1996	2004	16/04/2004	2011	06/05/2011	2016	31/05/2016
	04/12/1996		16/11/2004		22/11/2011		03/06/2016
1997	02/04/1997	2005	05/02/2005		28/12/2011		22/11/2016
	14/10/1997		18/05/2005	2013	03/12/2013		25/11/2016
1998	13/03/1998		29/10/2005		11/12/2013	2017	03/05/2017
	16/10/1998		16/11/2005		16/12/2013		04/05/2017
2000	11/04/2000	2006	27/03/2006	2014	08/05/2014		14/11/2017
	12/04/2000		24/10/2006		09/05/2014		22/11/2017
	31/08/2000	2007	19/04/2007		14/05/2014	2021	06/04/2021
	05/09/2000		24/10/2007		04/11/2014		07/04/2021
			04/11/2007				

Tabla 14 – Puntos muestreados históricamente para sedimentos

Pto	Topónimo	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	2019	2020	2021	Total
10	Sector Corbeta Esmeralda							Sin datos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Sin datos						Sin datos	Sin datos	Sin datos		12
20	Sector Marinero Desconcido					X	X		X	X	X	X							X	X		X	X	X	X	X				X	14
30	-																														0
40	-																														0
50	Playa El Colorado					X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	20
60	Centro Poza					X	X		X	X	X	X							X	X		X	X	X	X	X				X	14
70	-																														0
80	Pesquera Camanchaca																			X		X	X	X	X	X				X	7
90	Muelle Naval														X	X	X	X	X			X	X	X	X	X				X	11
100	Muelle Naval	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X											15
110	Espigón de Atraque		X	X	X																	X	X	X	X	X				X	9
120	La Puntilla					X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X				X	20
130	La Puntilla					X	X		X	X	X	X							X	X											8
140	Caleta Cavancha					X	X		X	X	X	X							X	X		X	X	X	X	X					13
150	-																														0
160	-																														0
170	-																														0
180	Ex Ballenera																					X	X	X	X	X					5
190	Punta Gruesa																					X	X	X	X	X					5

La ubicación de las estaciones de monitoreo de sedimentos se presentan en la Figura 28.

Figura 28 – Puntos de muestreo de sedimentos POAL

En cuanto a los analitos, el POAL incluye los siguientes:

- Metales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, zinc)
- Nutrientes (fósforo total, nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno total, materia orgánica, carbono orgánico total)
- Humedad

- Hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles (C_5-C_{10}), hidrocarburos fijos (C_{34}-C_{50})
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos o PAHs (acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, díbenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1 2 3-cd)pireno, naftaleno, pireno)
- Granulometría

Cabe notar que no todas las estaciones contemplan todos los analitos, ni fueron todas las estaciones muestreadas cada año como indicado anteriormente.

Adicionalmente, la evaluación de datos se vio enormemente dificultada por la gran cantidad de errores, inconsistencias y vacíos de información. Lo anterior puede deberse a errores de transcripción, analíticos o diferencia en metodologías. En este sentido, para poder extraer conclusiones de los datos se requirió de una revisión fina de los datos tratando de eliminar aquellos donde se notaba algún error evidente. No obstante, se mantuvieron algunos datos que aun anómalos, eran en sí "consistentes" entre analitos o años de muestreo. Esto se discute en mayor detalle en la Sección 5.2.

Los datos de todos estos eventos tabulados se presentan en el Anexo 4. A continuación se presenta una discusión por cada grupo de analitos.

3.2.2.1 Metales

Las estadísticas descriptivas para los metales en sedimentos se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15 – Estadísticas de metales en sedimentos

Estadística	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Plomo	Zinc
			mg/kg				
Máximo	13,6	127	1368,82	465	3,157	342	3843
Mínimo	0,2	0,005	0,175	0,25	0,001	0,25	0,17
Promedio	4,7	2,6	83,7	23,7	0,2	31,4	109,7
Mediana	4,5	1,0	34,3	17,9	0,1	14,5	54,3
Valor de referencia	20	1,5	65	80	0,15	50	200
Nº de muestras	96	304	304	215	303	304	208
Nº excede referencia	0	119	92	2	78	47	23
% Excede referencia	0%	39%	30%	1%	26%	15%	11%

Nota: referencia corresponde al valor DGV de guía australiana (DGV: default guideline value)

Como muestra la tabla anterior, no hubo excedencias del valor de referencia de la guía australiana para arsénico. Para cadmio, cobre, cromo y mercurio, las concentraciones medidas excedieron más de un 26%

de las veces. En el caso de plomo y zinc, las concentraciones excedieron un 15% y un 11% de las veces que fue medido el analito, respectivamente.

Cabe notar que la mediana de cada analito no excedió el nivel de referencia, y solo el promedio de cadmio, cobre y mercurio excedió la referencia. Los valores máximos de cadmio, cromo y plomo se obtuvieron en la estación 100 durante el año 2001.

En consideración de los datos anteriores, se estima relevante evaluar en mayor detalle los analitos cadmio, cobre y mercurio.

3.2.2.1.1 Cadmio

Los datos para cadmio no muestran tendencias claras, con peaks esporádicos notados en los años 1998, 2001, 2013, 2015 y 2017, para la mayoría de las estaciones, sobre el nivel de referencia. En particular, existe un outlier de 63,5 mg/kg promedio en el año 2001 en el punto 100. Las mayores concentraciones en promedio se presentan en las estaciones **100, 110, 120 y 130** con 6,5 mg/kg, 5,2 mg/kg, 4 mg/kg y 3,5 mg/kg, respectivamente. En contraste a lo anterior, la estación 190 registró un valor promedio de 0,67 mg/kg en todo el periodo medido (2013 a 2017).

Las concentraciones promedio anuales para cadmio en sedimentos se presentan en la Figura 29.

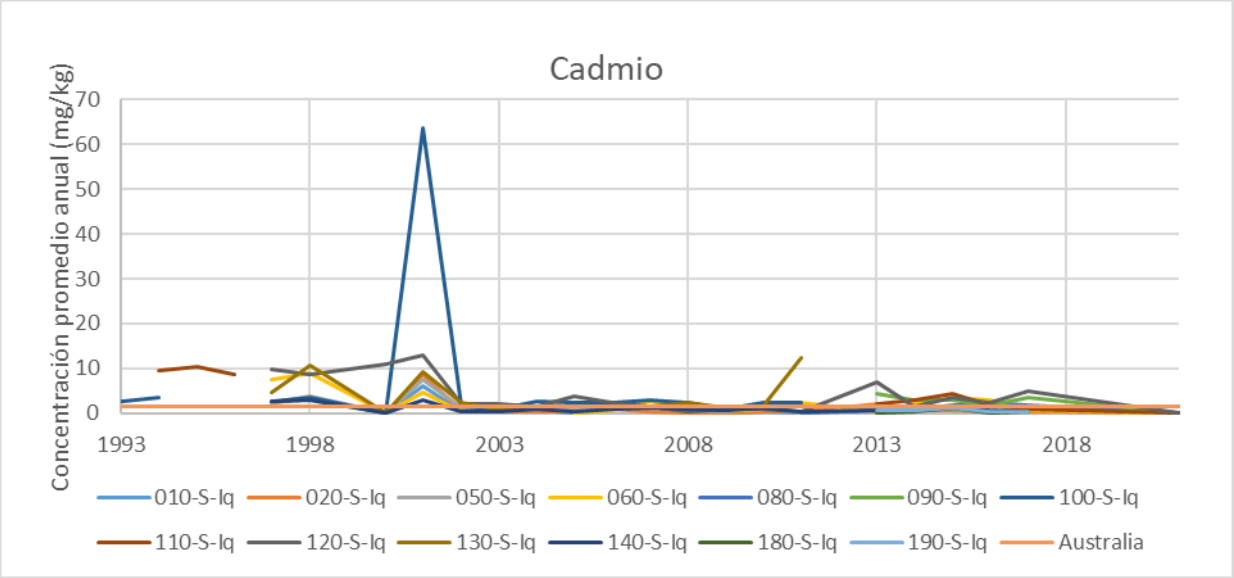


Figura 29 – Concentración promedio anual por estación y año de cadmio

3.2.2.1.2 Cobre

Los datos para cobre no muestran tendencias claras, con peaks esporádicos notados en los años 2001, 2003 y 2009 en la estación 010; en 2011 en la estación 130; y en 2013 en la estación 110. Se ve una disminución paulatina en las concentraciones promedio desde el año 1997 hasta aproximadamente el 2004 en las estaciones 060, 120 y 130, hasta llegar a valores bajo la referencia, sin embargo, luego presentan aumentos. Las mayores concentraciones en promedio se presentan en las estaciones **010, 110, 120 y 130** con 259 mg/kg, 279 mg/kg, 122 mg/kg y 105 mg/kg, respectivamente. En contraste a lo anterior, la estación 190 registró un valor promedio de 8,6 mg/kg en todo el periodo medido (2013 a 2017).

Las concentraciones promedio anuales para cobre en sedimentos se presentan en la Figura 30.

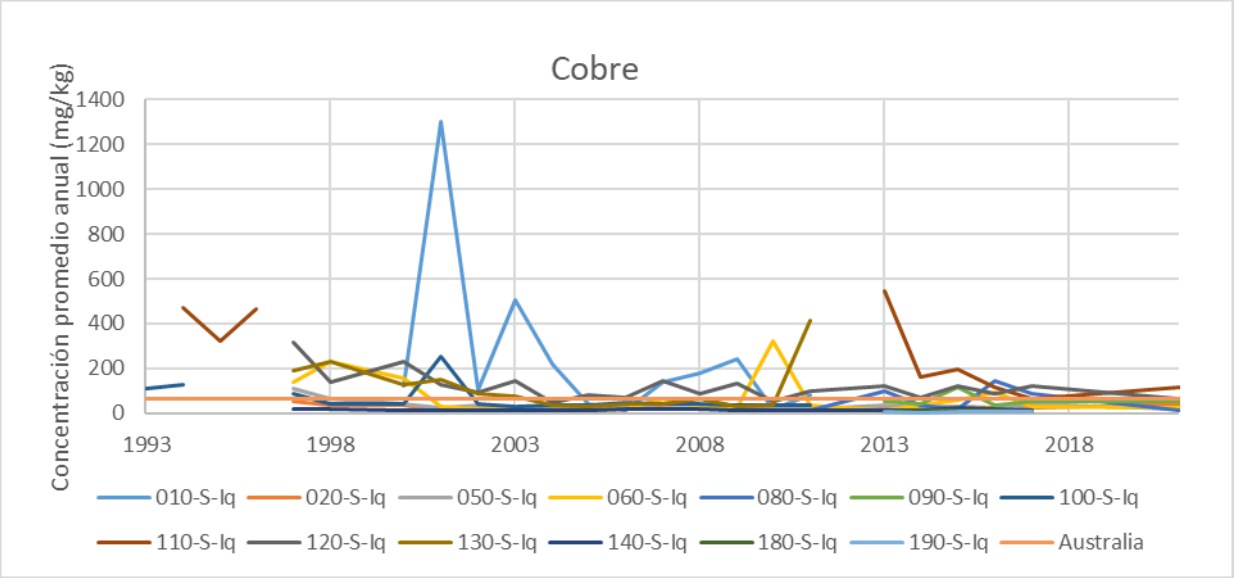


Figura 30 – Concentración promedio anual por estación y año de cobre

3.2.2.1.3 Mercurio

Los datos para mercurio no muestran tendencias claras, con peaks esporádicos notados en los años 1998, 2001 y 2011, en las estaciones 060, 120, 130, 140, y luego en 2015 en la estación 090. Las mayores concentraciones en promedio se presentan en las estaciones **110, 120 y 130** con valores entre 0,23 y 0,27 mg/kg, y en **140** con un valor promedio de 0,46 mg/kg. En contraste a lo anterior, la estación 190 registró un valor promedio de 0,02 mg/kg en el periodo medido (2013 a 2017).

Las concentraciones promedio anuales para mercurio en sedimentos se presentan en la Figura 31.

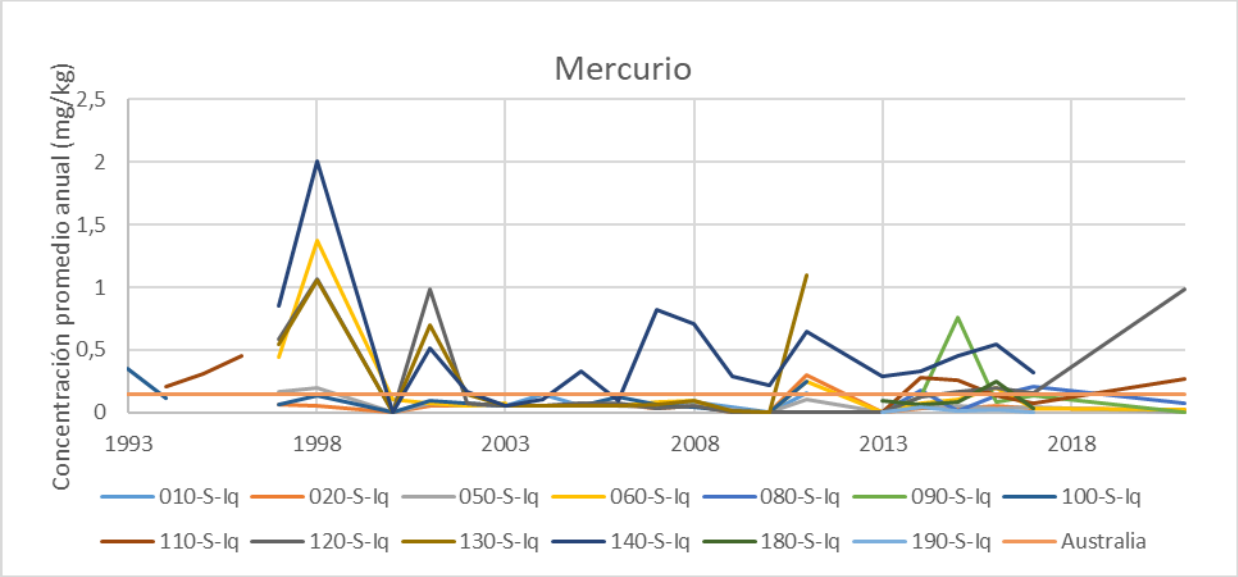


Figura 31 – Concentración promedio anual por estación y año de mercurio

3.2.2.2 Nutrientes

Las estadísticas descriptivas para los nutrientes en sedimentos se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16 – Estadísticas de nutrientes en sedimentos

Estadística	Fósforo total	Nitrógeno total Kjeldahl	Nitrógeno total	Materia orgánica	Carbono orgánico total
	mg/kg			%	
Máximo	35500	14493	2520	31,48	9,92
Mínimo	0,005	28,4	310	0,05	0,1
Promedio	1279,1	876,5	1448,6	2,2	1,7
Mediana	69,5	537,0	1780,0	1,1	0,7

Nota: No se tiene valor de referencia para los nutrientes analizados.

Para nutrientes en sedimentos no se tiene valores de referencia. Con respecto al valor máximo de fósforo, este se da (al igual que en metales) en la estación 100 durante el año 2001. Se observa una gran diferencia en el promedio y la mediana en fósforo, que se explica por altos valores máximos, que se dan principalmente hasta el año 1998. Se observan en promedio bajos valores de materia orgánica y carbono orgánico, sin embargo, con algunos valores altos de materia orgánica principalmente en la estación 110 entre los años 1994 y 1996.

En consideración de los datos anteriores, se estima relevante evaluar en mayor detalle los analitos fósforo, nitrógeno total Kjeldahl y materia orgánica.

3.2.2.2.1 Fósforo total

Los datos para fósforo muestran alguna tendencia de disminución de la concentración promedio hasta el año 2004, para luego subir y mantenerse relativamente constante, salvo unas disminuciones los años 2008

y 2013. Además, se observa un gran aumento entre los últimos dos años monitoreados (2017 y 2021), pasando de un promedio de 57 mg/kg a 3684 mg/kg. Las mayores concentraciones en promedio se presentan en las estaciones **100, 110 y 140** con 2944 mg/kg, 2557 mg/kg y 1289 mg/kg, respectivamente. En contraste a lo anterior, las estaciones 180 y 190 registraron valores promedio de 43 mg/kg y 103 mg/kg, respectivamente en todo el periodo medido (2013 a 2017).

Las concentraciones promedio anuales para fósforo en sedimentos se presentan en la Figura 32 (notar escala logarítmica).

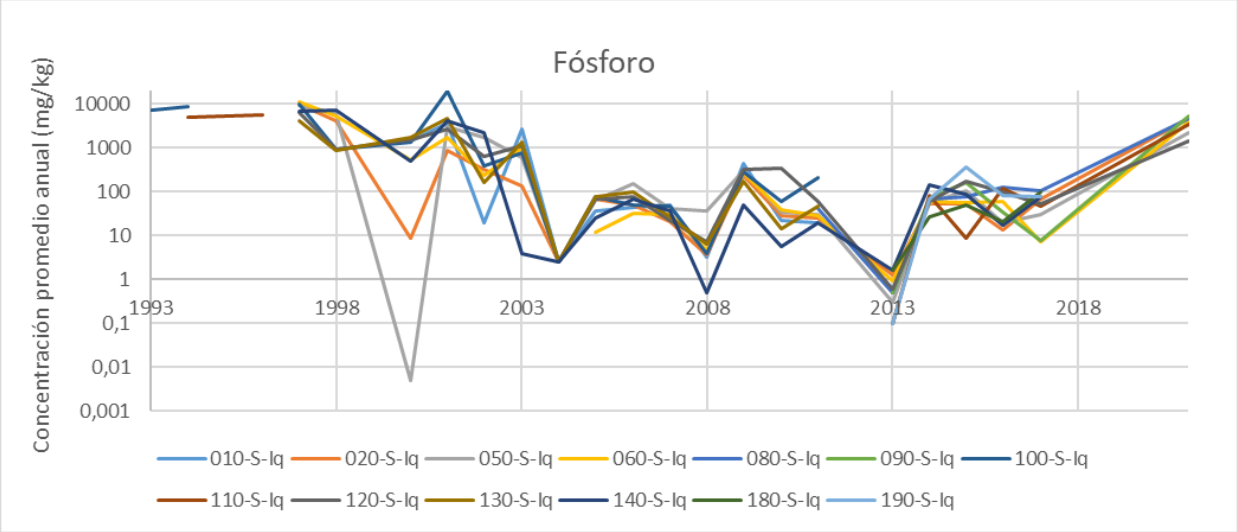


Figura 32 – Concentración promedio anual por estación y año de fósforo

3.2.2.2.2 Nitrógeno total Kjeldahl

Los datos para nitrógeno Kjeldahl no muestran tendencias claras, salvo algunos peaks los años 2001, 2003 y 2013 especialmente en la estación 120, y valores muy altos entre 1994 y 1996 en la estación 110. Las mayores concentraciones en promedio se presentan en las estaciones **080, 110 y 120** con 1184 mg/kg, 3720 mg/kg y 1350 mg/kg, respectivamente. En contraste a lo anterior, las estaciones 020, 050, 180 y 190 registraron valores promedio de 361 mg/kg, 432 mg/kg, 552 mg/kg y 562 mg/kg, respectivamente en todo el periodo medido.

Las concentraciones promedio anuales para nitrógeno Kjeldahl en sedimentos se presentan en la Figura 33.

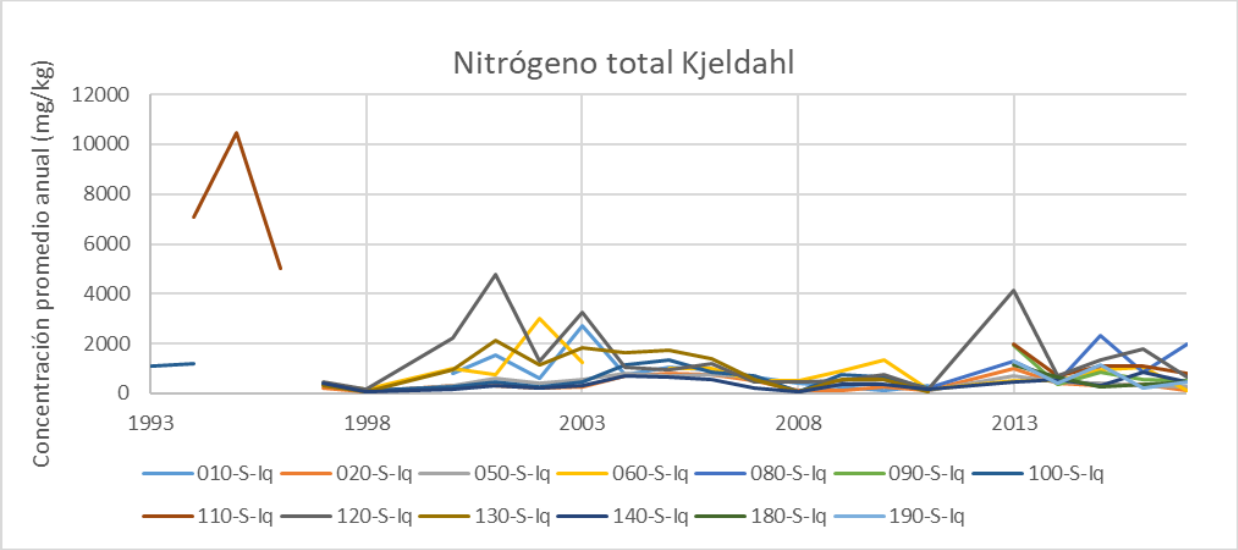


Figura 33 – Concentración promedio anual por estación y año de nitrógeno Kjeldahl

3.2.2.2.3 Materia orgánica

Los datos para materia orgánica no muestran tendencias claras, salvo valores muy altos entre 1994 y 1996 en la estación 110. A partir del año 1997 se observa que la estación **120** presenta las mayores concentraciones anuales, con un promedio de 4,5%.

Las concentraciones promedio anuales para materia orgánica en sedimentos se presentan en la Figura 34.

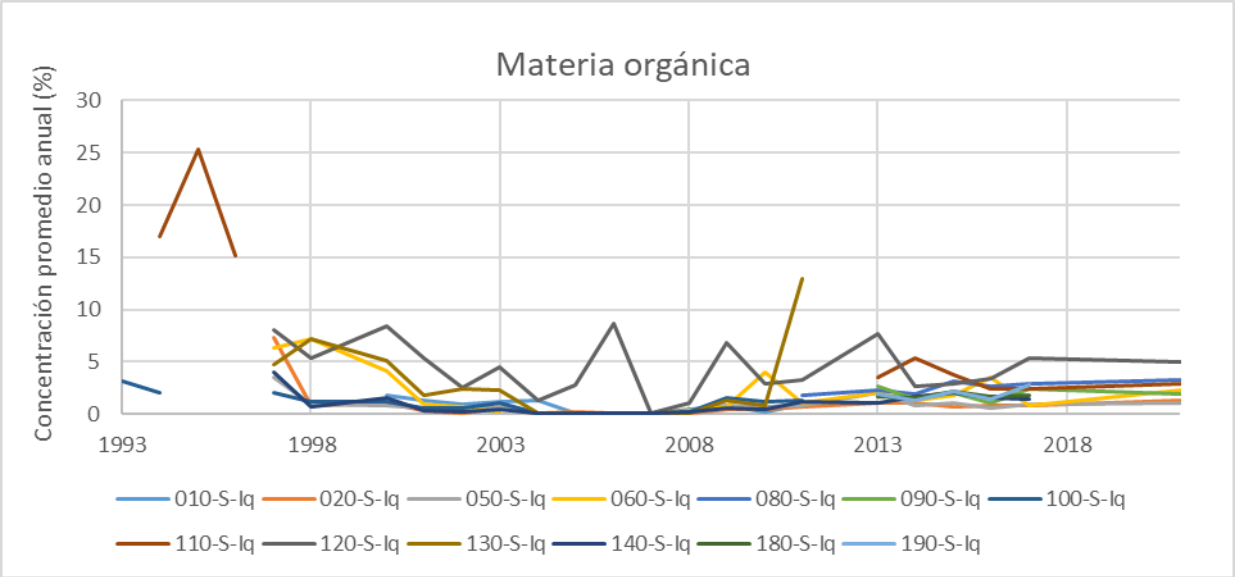


Figura 34 – Concentración promedio anual por estación y año de materia orgánica

3.2.2.3 Compuestos orgánicos

Las estadísticas descriptivas para hidrocarburos totales del petróleo (TPH), compuestos orgánicos persistentes (POPs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en sedimentos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17 – Estadísticas de compuestos orgánicos en sedimentos

Estadística	Hidrocarburos totales	HV C5-C10	HF C34-C50	Xileno	Pentacloro-fenol	PCBs	HAP's
	mg/kg					µg/kg	mg/kg
Máximo	1789	0,1	1468	0,05	0,25	30	2,69
Mínimo	1	0,05	5	0,05	0,25	0,05	1
Promedio	119,7	0,1	186,8	0,1	0,3	0,7	1,0
Mediana	25,0	0,1	75,0	0,1	0,3	0,1	1,0
Valor de referencia	280	-	-	-	-	-	10
Nº de muestras	171	70	96	40	40	69	89
Nº excede referencia	22	-	-	-	-	-	0
% Excede referencia	13%	-	-	-	-	-	0%

Nota: referencia corresponde al valor DGV de guía australiana (DGV: default guideline value)

Como muestra la tabla anterior, no se tiene referencia para hidrocarburos volátiles y fijos (solo para totales) ni para POPs (xileno, pentaclorofenol, bifenilos policlorados (PCBs)), sin embargo, todos los análisis de xileno y pentaclorofenol estuvieron bajo el límite de detección. Todas las muestras, excepto una, tuvieron concentraciones indetectables de hidrocarburos volátiles. Hubo excedencia del valor de referencia de hidrocarburos totales en un 13% de las muestras. No hubo excedencias del valor de referencia de la guía australiana para HAPs totales.

En consideración de los datos anteriores, se estima relevante evaluar en mayor detalle los analitos hidrocarburos totales y fijos, PCBs y HAPs.

3.2.2.3.1 Hidrocarburos

Los datos de promedio anual para hidrocarburos totales presentan algunos peaks donde se supera el nivel de referencia los años 2001 (en estaciones 060 y 130), 2010 (en estación 060) y 2013 (mayoría de las estaciones). Además, se destaca que el último año de medición de este analito (2017) se presentan valores promedio altos, llegando a un promedio anual de 1207 mg/kg en la estación 120. La mayor concentración promedio se presenta en la estación **110** con 409 mg/kg. Se destaca también un valor promedio de 22 mg/kg en la estación 190 en todo el periodo medido (2013 a 2017), que está bajo la referencia, pero es aun así detectable.

Con respecto a los hidrocarburos fijos, se observan peaks en las concentraciones promedios en los años 2016 (estaciones 060 y 080) y 2017 (estaciones 090 y 120). Las mayores concentraciones en promedio se presentan en las estaciones **080, 110 y 120** con 317 mg/kg, 388 mg/kg y 413 mg/kg, respectivamente. Se

destaca también un valor promedio de 24 mg/kg en la estación 190 en todo el periodo medido (2013 a 2017), que está bajo la referencia, pero es aun así detectable.

Las concentraciones promedio anuales para hidrocarburos en sedimentos se presentan en la Figura 35 y Figura 36.

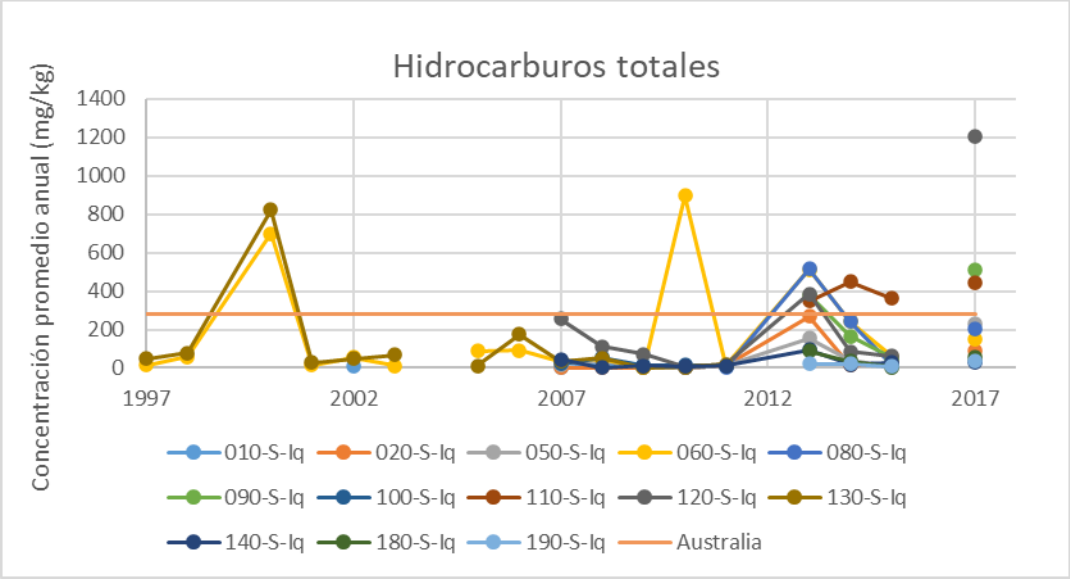


Figura 35 – Concentración promedio anual por estación y año de hidrocarburos totales

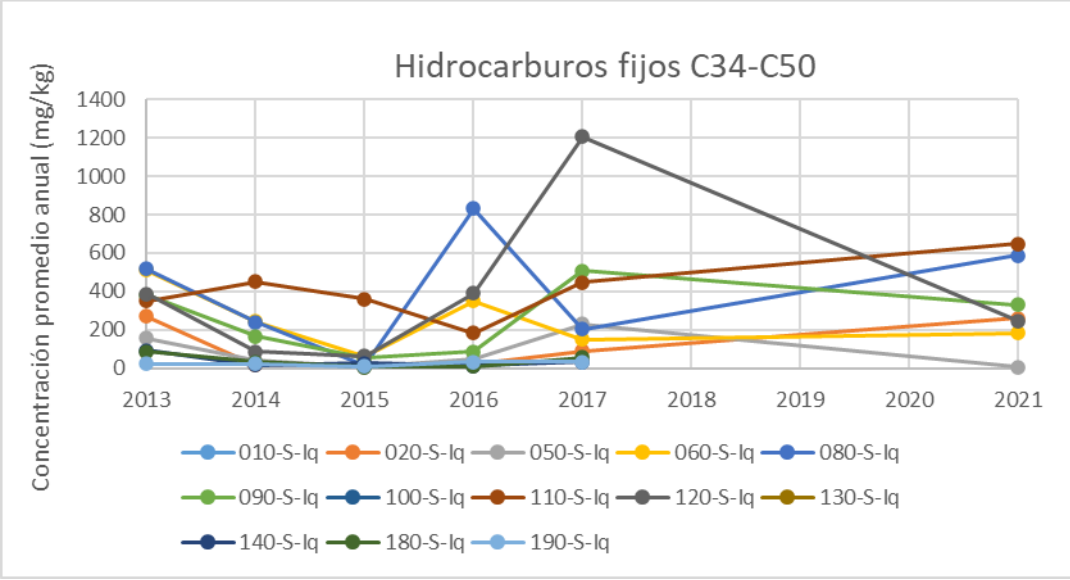


Figura 36 – Concentración promedio anual por estación y año de hidrocarburos fijos

3.2.2.3.2 Bifenilos policlorados (PCBs)

No ha habido consistencia en el análisis de PCBs, midiéndose solo entre los años 2007 y 2011. Se obtuvieron concentraciones indetectables en la mayoría de las muestras, sin embargo, se observan valores detectables en muestras tomadas el año 2007 en las estaciones 010, 020, 050, 060, 100, 120, 130 y 140, considerándose altos los valores en **060, 100 y 120**, con concentraciones de 30 µg/kg, 8,1 µg/kg y 8,2 µg/kg, respectivamente.

3.2.2.3.3 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

Se midieron HAPs totales entre los años 2013 y 2017, obteniéndose siempre valores indetectables, excepto en una muestra el año 2014 en la estación 120 (2,69 mg/kg), aunque menor al valor de referencia. El año 2021 se analizaron compuestos específicos de HAPs, obteniéndose valores indetectables para la mitad de estos compuestos en todas las muestras. Sin embargo, las muestras en las estaciones **020, 050 y 060** obtuvieron concentraciones detectables de benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno; y la **090** presentó concentraciones detectables de Benzo(a)pireno, Benzo(ghi)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Fenantreno, Fluoranteno, además de los nombrados anteriormente.

3.2.2.4 Granulometría

Se ha medido granulometría en las muestras de sedimentos desde el año 2013. La siguiente tabla muestra el promedio del contenido de cada tamiz para cada punto. Se observa que los sedimentos de los puntos 020, 050, 060, 090, 140,180 y 190 son mayormente finos, en comparación con los sedimentos de los puntos 080, 110 y 120 que son más gruesos, a pesar del contenido relativamente alto también de fango en estos dos últimos.

Tabla 18 – Granulometría promedio en sedimentos

Punto	Grava Muy Fina 2.0mm	Arena Muy Gruesa 1.0mm	Arena Gruesa 0.5	Arena Media 0.25mm	Arena Fina 0.125mm	Arena Muy Fina 0.063mm	Fango	Suma
Promedio (%)								
020	2,4	1,1	1,8	13,0	38,2	35,0	8,4	100,0
050	1,0	0,3	0,8	14,4	37,1	33,9	12,4	100,0
060	7,3	2,6	1,3	13,7	33,4	30,9	10,8	100,0
080	8,6	34,6	8,4	17,9	15,6	13,7	1,3	100,0
090	2,0	3,7	2,0	13,0	28,2	36,1	15,0	100,0
110	11,3	18,7	11,0	9,7	24,1	16,0	9,3	100,0
120	20,6	28,1	10,4	8,0	11,5	7,9	13,6	100,0
140	1,2	12,1	4,7	17,6	32,9	26,3	5,3	100,1
180	4,0	5,9	13,9	27,0	19,8	17,2	12,1	100,0
190	0,9	3,2	2,5	17,1	30,1	34,6	11,5	100,0
Promedio	6,0	10,9	5,6	14,9	27,2	25,2	10,1	100,0

3.2.3 Monitoreo de biota POAL (bioacumulación)

En relación al monitoreo de biota, se tuvo acceso a 21 archivos para los años 1993 a 2017 faltando los reportes para los años 2005, 2007, 2010, 2012. Las fechas de los eventos de muestreo se presentan en la Tabla 19.

De las 19 ubicaciones comprendidas por el POAL se han muestreado 6 a través de los años, siendo los puntos "170 – Sector Sur Península Cavancha" y "130 – Sector Punta Morro" los más muestreados con 20 y 12 ocasiones (respectivamente). Lo anterior se muestra en la Tabla 20.

Tabla 19 – Eventos de muestreo para biota

Año	Muestreo	Año	Muestreo	Año	Muestreo
1993	01/10/1993	1999	12/02/1999	2008	02/01/2008
1994	27/07/1994		23/09/1999	2009	01/01/2009
	23/11/1994	2000	11/04/2000	2011	22/11/2011
	01/04/1994		01/09/2000	2013	16/12/2013
1995	26/07/1995	2001	06/03/2001	2014	08/05/2014
	13/12/1995		09/08/2001		07/11/2014
1996	24/04/1996	2002	19/08/2002	2015	09/04/2015
	20/08/1996		18/11/2002		20/10/2015
	04/12/1996	2003	13/10/2003	2016	03/06/2016
1997	02/04/1997	2004	22/04/2004		25/11/2016
	14/10/1997		12/04/2004	2017	03/05/2017
1998	13/03/1998	2006	27/03/2006		04/05/2017
	16/10/1998				14/11/2017

Tabla 20 – Puntos muestreados históricamente para biota

Pto	Topónimo	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
10	-													Sin datos		Sin datos			Sin datos		Sin datos					
20	-																									
30	-																									
40	-																									
50	-																									
60	-																									
70	-																									
80	-																									
90	-																									
100	-																									
110	-																									
120	-																									
130	Sector Punta Morro					x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x						x		
140	Caleta Cavancha																					x	x			x
150	-																									
160	Lado Norte punta Cavancha	x	x	x	x																					
170	Sector Sur Península Cavancha	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x		x			x	x	x	x
180	Ex Ballenera																					x	x	x		x
190	-																									

Los puntos muestreados se indican en la Figura 37.

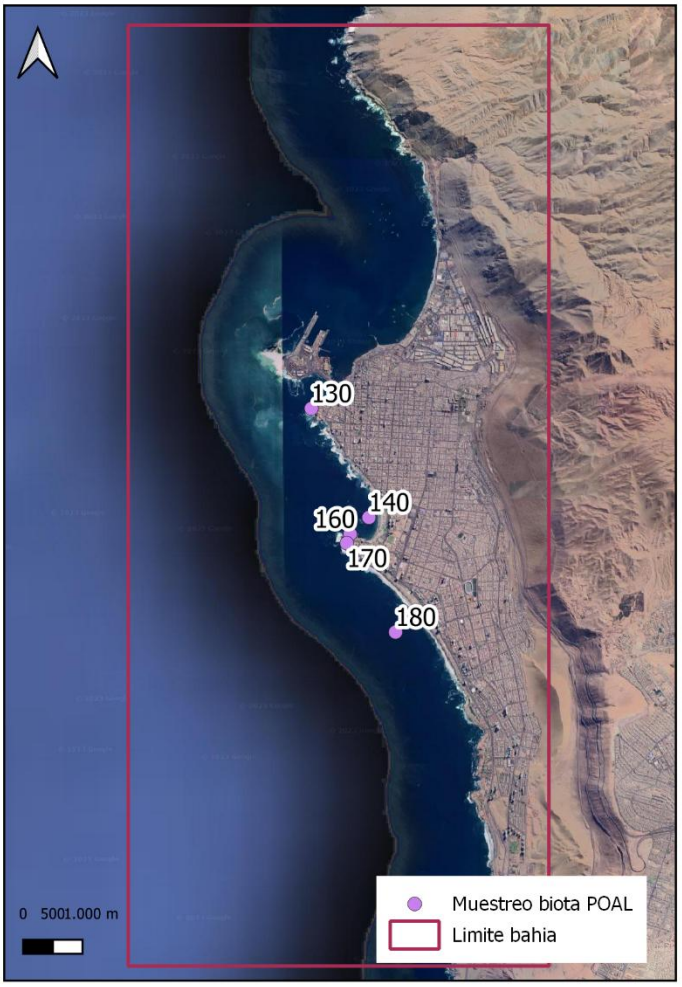


Figura 37 – Puntos de monitoreo para biota

En cuanto a los analitos, el POAL incluye los siguientes parámetros para analizar en biota, siendo la especie indicadora el *Perumytilus purpuratus* (chorito maico)[11]:

- Metales totales y disueltos (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, zinc)
- Coliformes (fecales y totales)

Cabe notar que no todas las estaciones contemplan todos los analitos, ni fueron todas las estaciones muestreadas cada año como indicado anteriormente.

[11] https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20210728/20210728122632/protocolo_poal.pdf

Este monitoreo apunta a determinar las concentraciones de metales y coliformes en biota, como un indicador tanto de bioacumulación como de riesgo para la salud por su consumo. Por este último motivo se ha comparado las concentraciones obtenidas con normativa de alimentos.

Los datos de todos estos eventos tabulados se presentan en el Anexo 5. A continuación se presenta una discusión por cada grupo de analitos.

3.2.3.1 Metales totales

Las estadísticas descriptivas para los metales totales se muestran en la Tabla 21. Notar que no se analizó arsénico total.

Tabla 21 – Estadísticas de metales totales para biota

Estadística	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Plomo	Zinc
			mg/kg				
Máximo	295	40,7	28	9,3	1,24	63,6	153
Mínimo	0,787	0,005	0,035	0,1	0,001	0,01	2,681
Promedio	38,50	7,86	6,86	2,09	0,14	3,44	51,28
Mediana	2,14	6,54	3,462	1,65	0,05	0,3	31,339
Valor de referencia	2	2*	10	-	0,5	2	153
Nº de muestras	16	67	67	51	67	67	51
Nº excede referencia	9	48	18	-	4	14	4
% Excede referencia	56%	72%	27%	-	6%	21%	8%

Nota: Valores corresponden *al Reglamento sanitario de los alimentos* DTO. N° 977/96, a excepción de *que corresponde a norma de alimentos australiana para moluscos[12].

Como se puede ver en la tabla anterior, los metales que estuvieron más veces por sobre la norma de alimentos correspondieron a arsénico y cadmio con más del 50% de las veces, seguidos por cobre y plomo con más del 20%. Finalmente, mercurio y zinc solo estuvieron por sobre la norma adoptada un 6% y 8% de las veces que fueron muestreados.

Por otra parte, también se revisó la Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo[13] que indica "normas de calidad ambiental para las sustancias prioritarias y algunos otros contaminantes". Específicamente, para el mercurio en biota se presenta un valor de 0,02 mg/kg (20 µg/kg de peso húmedo), siendo este el único metal para el que se indica norma en biota. Con respecto a esta referencia, un 63% de las muestras de mercurio excede este nivel.

A continuación, se presentan gráficos con las tendencias de cada uno de estos elementos.

[12] *Australia New Zealand Food Standards Code*
[13] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0039&from=es

3.2.3.1.1 Arsénico

En el caso de arsénico, como se observa en la Figura 38 las mayores concentraciones se encontraron en los puntos 170 Sector Sur Península Cavancha y 180 Ex Ballenera, encontrándose bajo o igual al nivel de referencia en los puntos 130 y 140.

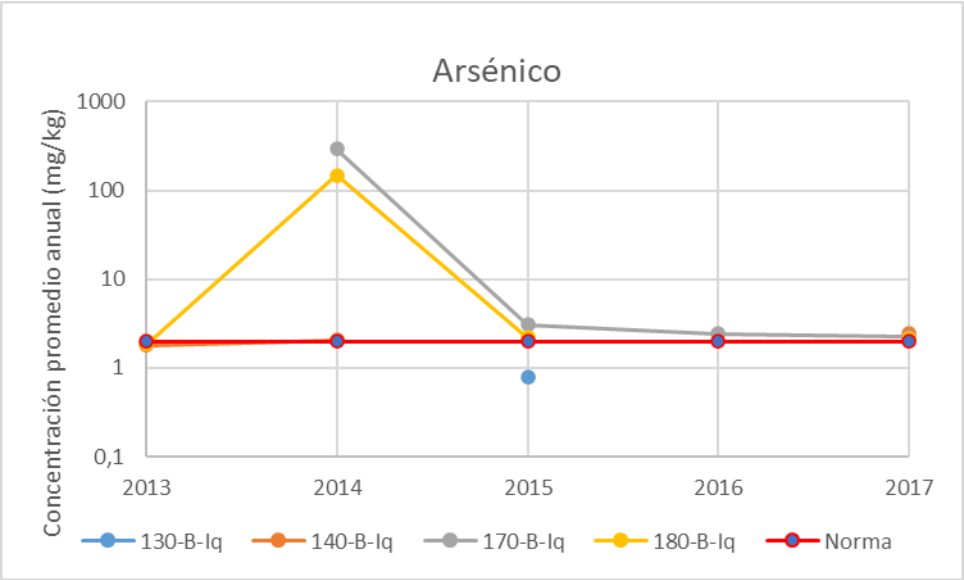


Figura 38 – Concentraciones de arsénico en biota

3.2.3.1.2 Cadmio

En el caso de cadmio, como se observa en la Figura 39, las mayores concentraciones se encontraron en los puntos 170 Sector Sur Península Cavancha y 130 Sector Punta Morro, encontrándose bajo o igual al nivel de referencia en el punto 160 Lado Norte punta Cavancha.

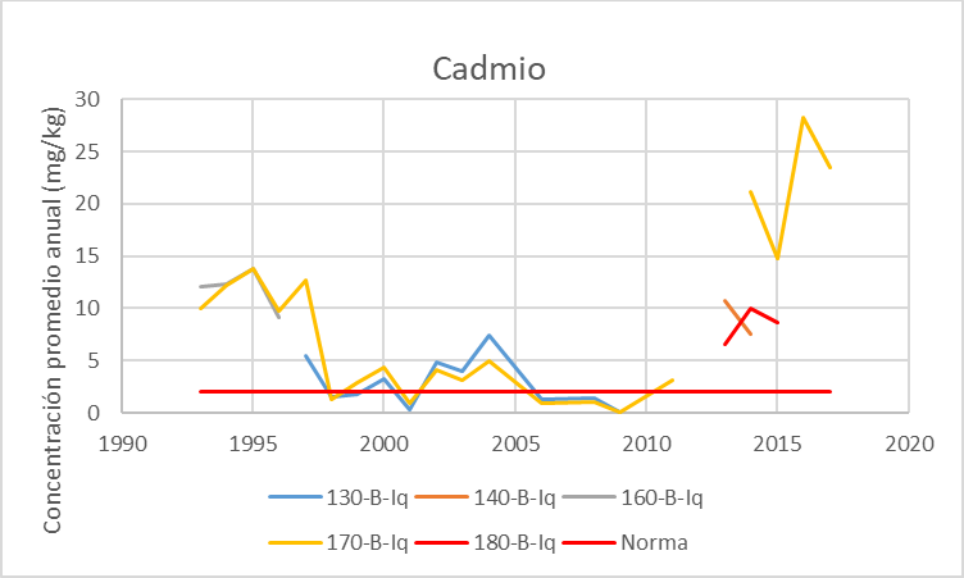


Figura 39 – Concentraciones de cadmio en biota

3.2.3.1.3 *Cobre*

En el caso de cobre, se observa en la Figura 40 una disminución en concentraciones desde el año 1998 en adelante, estando todos los puntos bajo el nivel de referencia.

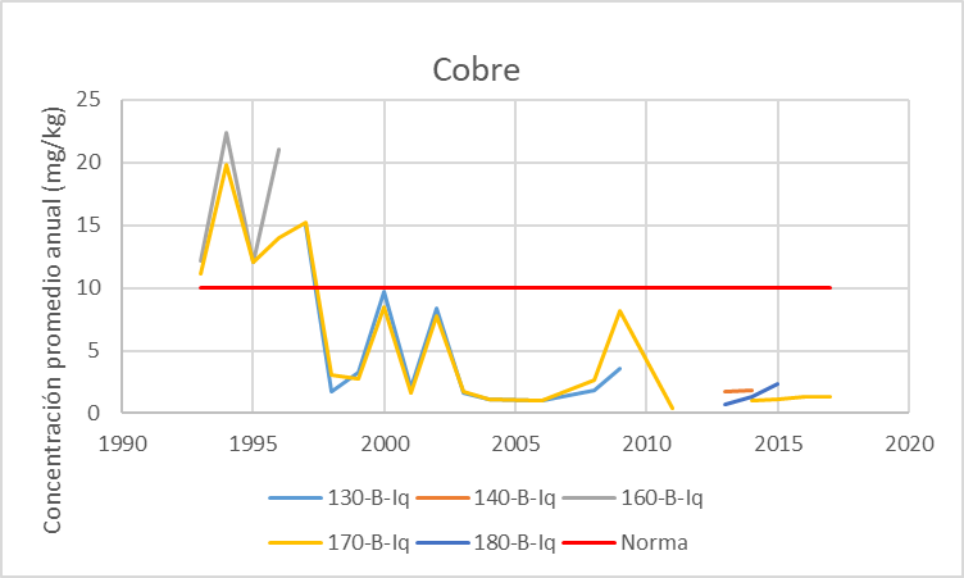


Figura 40 – Concentraciones de cobre en biota

3.2.3.1.4 *Cromo*

Si bien no existe un nivel de referencia, se observa en la Figura 41 una disminución en concentraciones desde el año 2000 en adelante, no obstante existiendo datos esporádicos para este elemento.

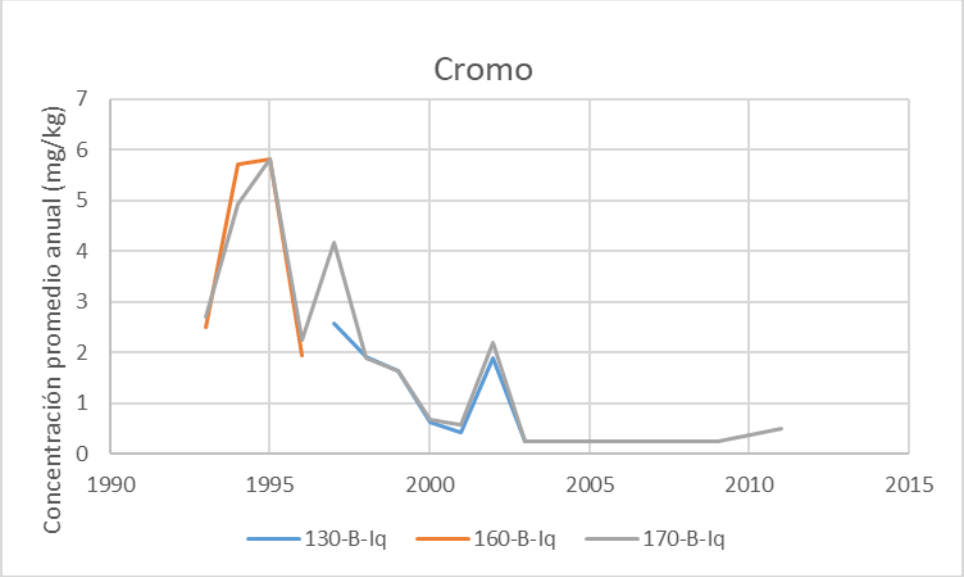


Figura 41 – Concentraciones de cromo en biota

3.2.3.1.5 Mercurio

En el caso del mercurio, se observa en la Figura 42 solo un peak por sobre el nivel de referencia en las estaciones 130 y 170, disminuyendo luego las concentraciones de este elemento.

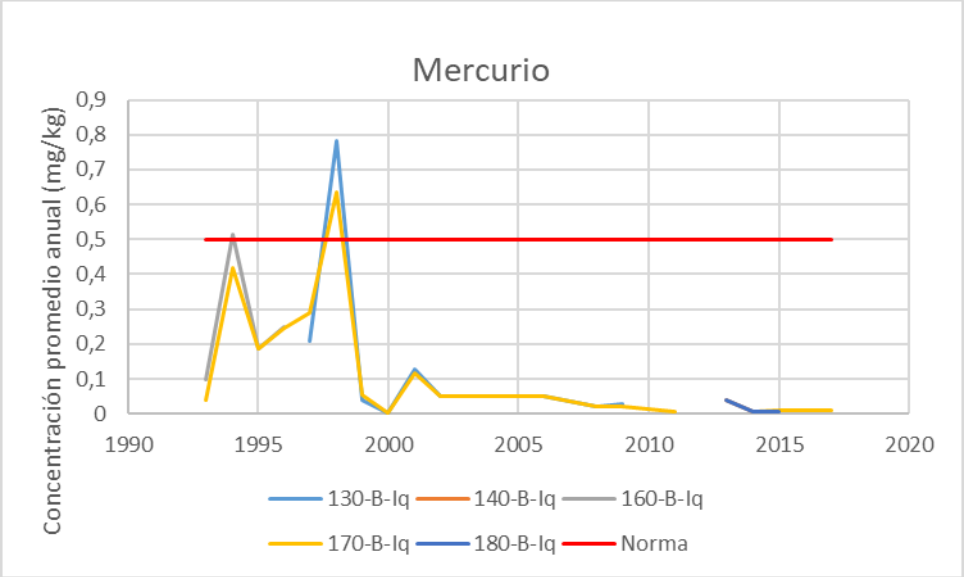


Figura 42 – Concentraciones de mercurio en biota

3.2.3.1.6 Plomo

En el caso del plomo, se observa en la Figura 43 dos peaks por sobre el nivel de referencia, en el año 1994 en los puntos 170 y 160, y luego en el año 2014 en el punto 180. No obstante, en general se puede ver que las concentraciones han estado bajo el nivel de referencia.

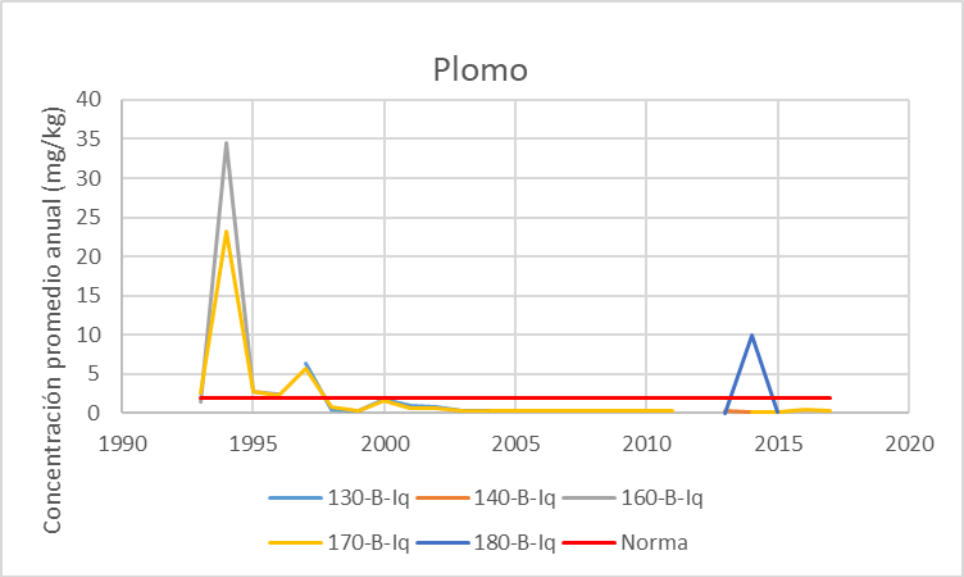


Figura 43 – Concentraciones de plomo en biota

3.2.3.1.7 Zinc

En el caso del zinc, se observa en la Figura 44 solo un peak por sobre el nivel de referencia en las estaciones 130 y 170, disminuyendo luego las concentraciones de este elemento.

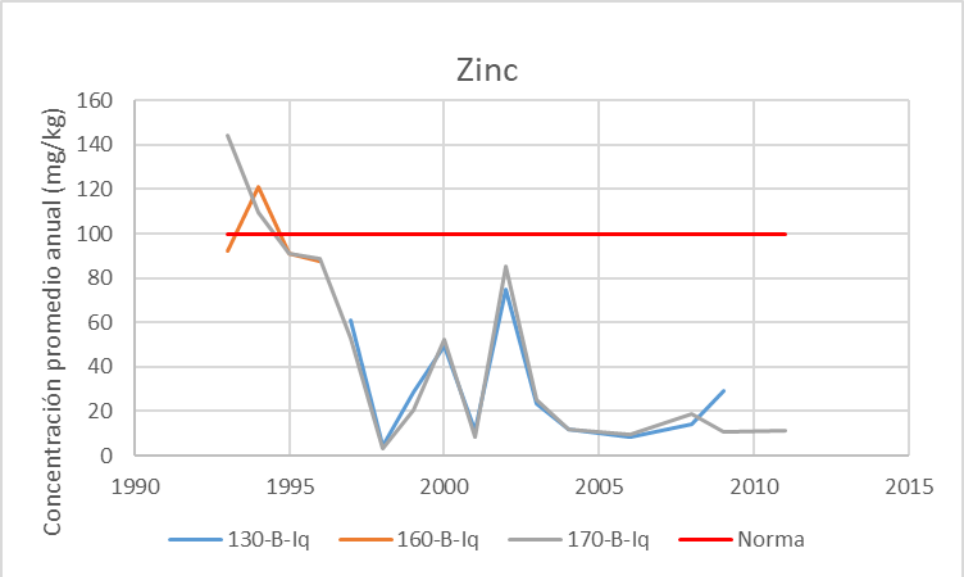


Figura 44 – Concentraciones de zinc en biota

3.2.3.2 *Coliformes*

Las estadísticas descriptivas para los metales totales se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22 – Estadísticas de coliformes fecales para biota

Estadística	Coliformes fecales
NMP/100 g	
Máximo	5400
Mínimo	1,5
Promedio	560,16
Mediana	12,5
Valor de referencia	400
Nº de muestras	68
Nº excede referencia	15
% Excede referencia	22%

Nota: Valores corresponden *al Reglamento sanitario de los alimentos* DTO. N° 977/96,

Los coliformes fecales estuvieron por sobre el nivel de referencia un 22% de las veces que fueron muestreados. Como muestra la Figura 45 los puntos 180 y 140. Se puede sí observar una peak entre los años 2009 al 2014, especialmente en los puntos 130 y 170.

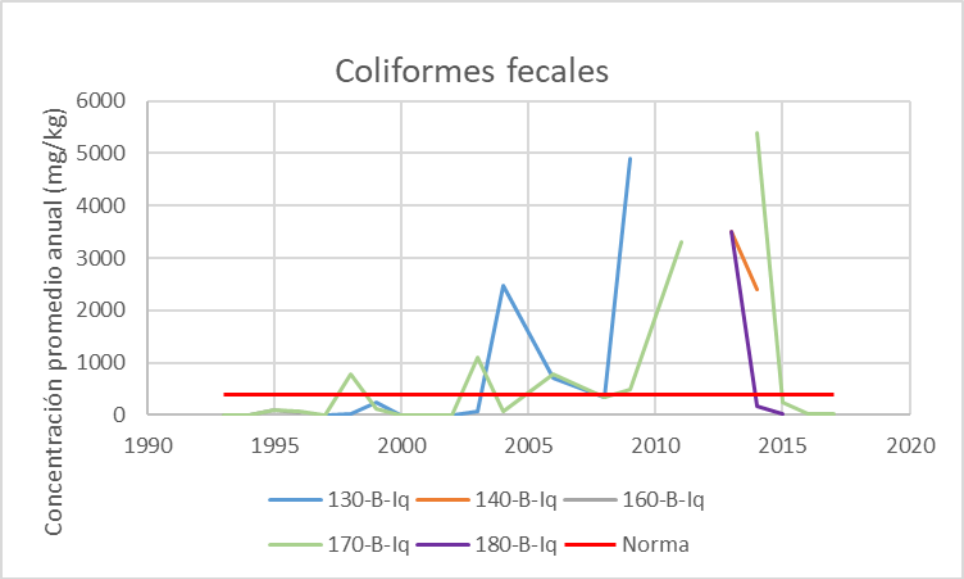


Figura 45 – Concentraciones de coliformes fecales en biota

3.2.4 Monitoreo de agua PVA

El PVA de Camanchaca abarca desde el año 2013 al 2021 realizando mediciones en 5 estaciones de monitoreo para agua y sedimentos, y en diversas estaciones de cada año. Para este análisis se consideró la información de los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2021.

A continuación, en la Figura 46 se presenta la serie de tiempo para oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, fosforo total, aceites y grasas y coliformes fecales. Se destacan las bajas concentraciones promedio de oxígeno disuelto disminuyendo incluso hacia el año 2016. Por otro lado, los sólidos suspendidos totales presentan un aumento progresivo hacia el año 2016 para luego en el 2021 disminuir a niveles muy bajos. De manera similar el fósforo total presenta una tendencia a la disminución para todas las estaciones de muestreo. Por último, para las aceites y grasas, como también para los coliformes fecales se observa alta variabilidad entre las estaciones para el mismo año y también entre los diferentes años analizados.

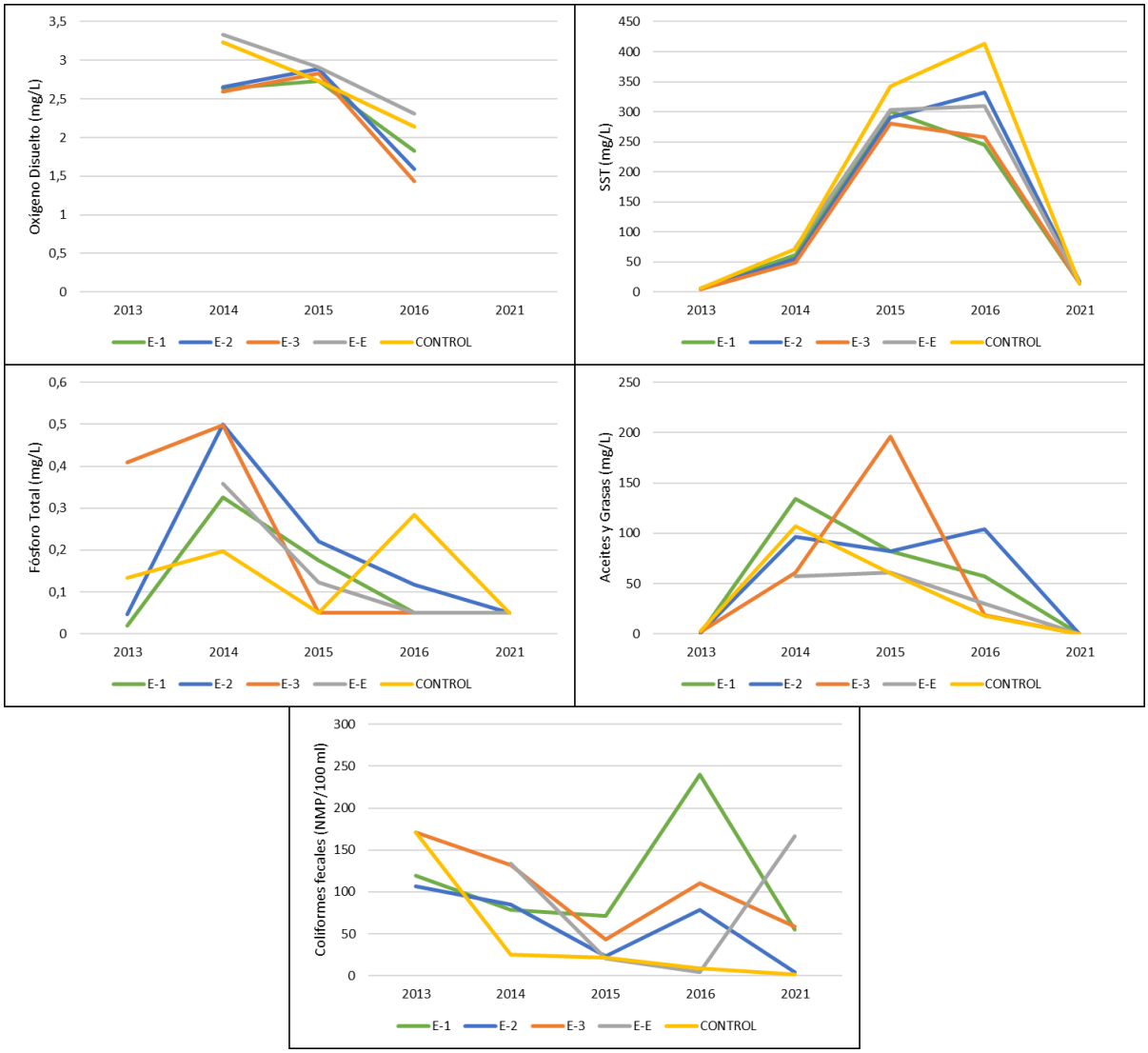


Figura 46 – Series de tiempo reportadas en el PVA de Camanchaca para oxígeno disuelto, Sólidos suspendidos totales, fósforo total, aceites y grasas y coliformes fecales en muestras de agua
Fuente: PVA Camanchaca.

Para el caso del análisis de la información de muestras de sedimentos se puede observar en la Figura 47 que las concentraciones de nitrógeno total disminuyen drásticamente desde el año 2013 al 2014, se atribuye a un error en las unidades reportadas en el PVA. Por otro lado, las mediciones de fósforo muestran un explosivo aumento entre el año 2016 y 2021.

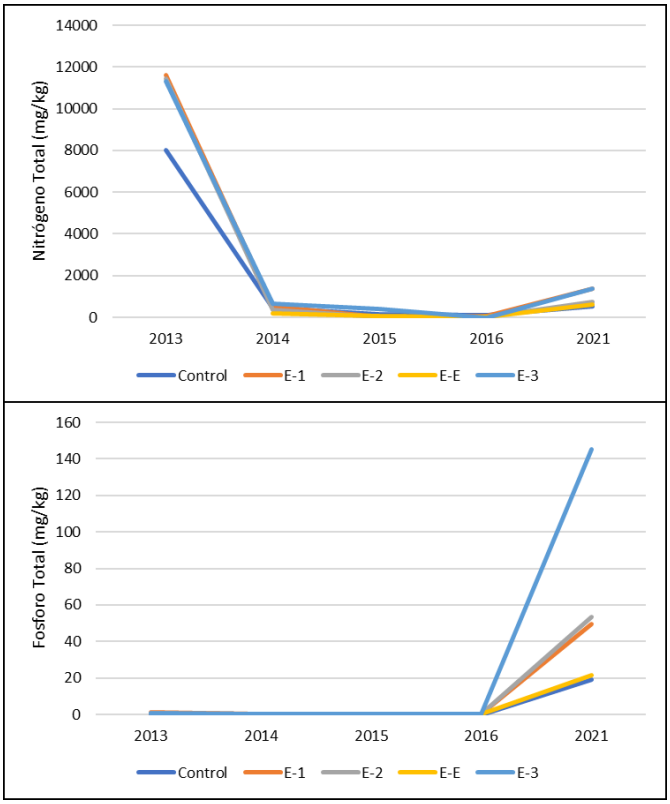


Figura 47 – Series de tiempo reportadas en el PVA de Camanchaca para nitrógeno total y fósforo total en sedimentos

Fuente: PVA Camanchaca.

El PVA del Puerto de Iquique abarca los años 2018 y 2019 realizando mediciones en 4 estaciones de monitoreo para agua y sedimentos, y para dos meses de cada año. A continuación, en la Figura 48 se presenta la serie de tiempo para zinc, cobre y sólidos suspendidos totales para agua de mar en las estaciones monitoreadas. Se destacan concentraciones más altas de oxígeno disuelto respecto a las reportadas en el PVA de Camanchaca. Por otro lado, las concentraciones de zinc poseen poca variabilidad entre ambos años y no superan guías de referencia australiana. En cuanto a las concentraciones de cobre se destaca la disminución de la concentración en la estación de control entre ambos años, este parámetro se encuentra en promedio por sobre la guía de referencia australiana. Por último, se destaca el aumento a más del triple de las concentraciones de sólidos suspendidos totales entre los años 2018 y 2019.

Se destaca además que los parámetros de aceites y grasas, cadmio, coliformes fecales, cromo, hidrocarburos fijos y volátiles, plomo y sólidos sedimentables se encuentran en ambos años bajo los límites de detección o muy cercanos a estos, para todas las muestras analizadas.

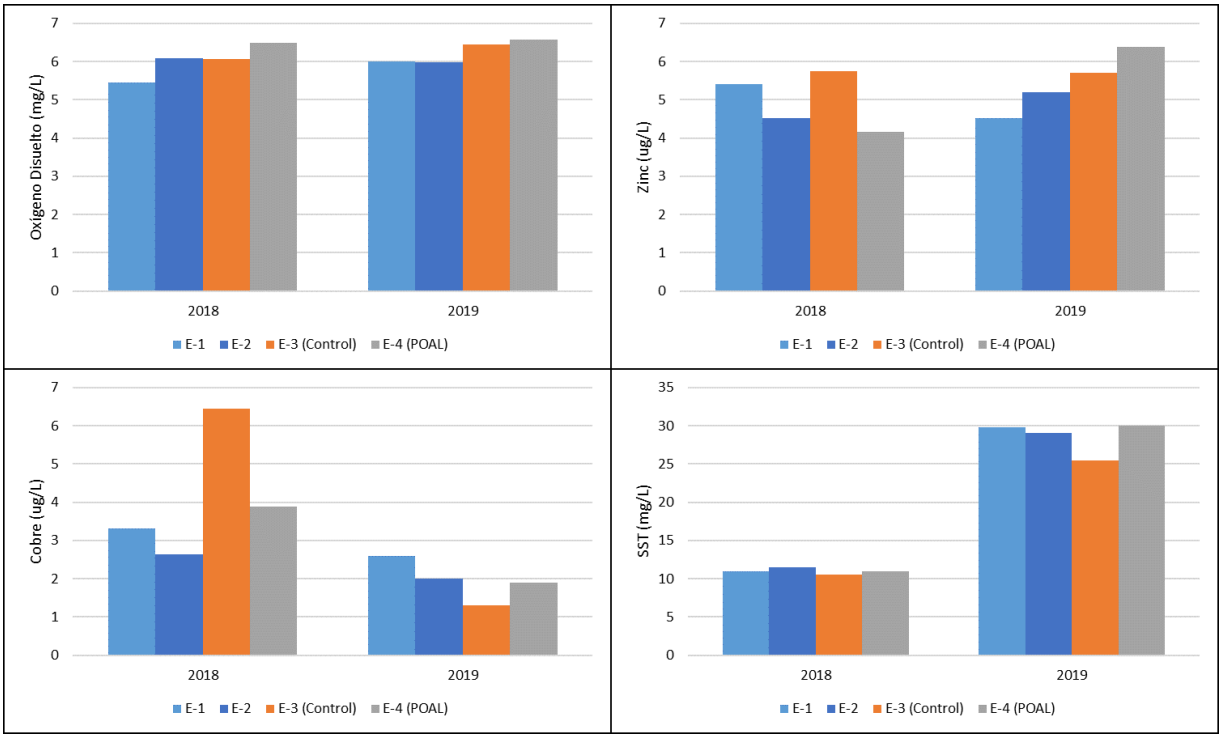


Figura 48 – Series de tiempo reportadas en el PVA de Puerto Iquique para oxígeno disuelto, zinc, cobre y Sólidos suspendidos totales en agua de mar
Fuente: PVA Puerto Iquique.

3.2.5 Monitoreo de sedimentos PVA

El PVA de Camanchaca abarca desde el año 2013 al 2021 realizando mediciones en 5 estaciones de monitoreo para agua y sedimentos, y en diversas estaciones de cada año. Para este análisis se consideró la información de los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2021.

En cuanto al monitoreo de sedimentos realizado en el PVA Puerto Iquique se puede destacar en primera instancia que los hidrocarburos volátiles y el sulfuro total se encuentran bajo el límite de detección para ambos años. En la Figura 49 se muestra la serie de tiempo para cadmio, zinc, cobre y cromo en sedimentos de las estaciones de monitoreo. Se destaca que para el cadmio las estaciones E-1, E-2 y E-4 superan el valor de referencia de la guía australiana, a diferencia de E-3 control que no lo supera ningún año. Para el caso del zinc se observa superación de la guía de referencia australiana en las Estaciones E-1 y E-2 en los años 2018 y 2019 respectivamente. Para el cobre se observa que en promedio la concentración en todas las estaciones menos en la de control supera la guía de referencia australiana. Por último, el cromo no presenta superación de la guía de referencia australiana y presenta un comportamiento relativamente constante entre ambos años analizados.

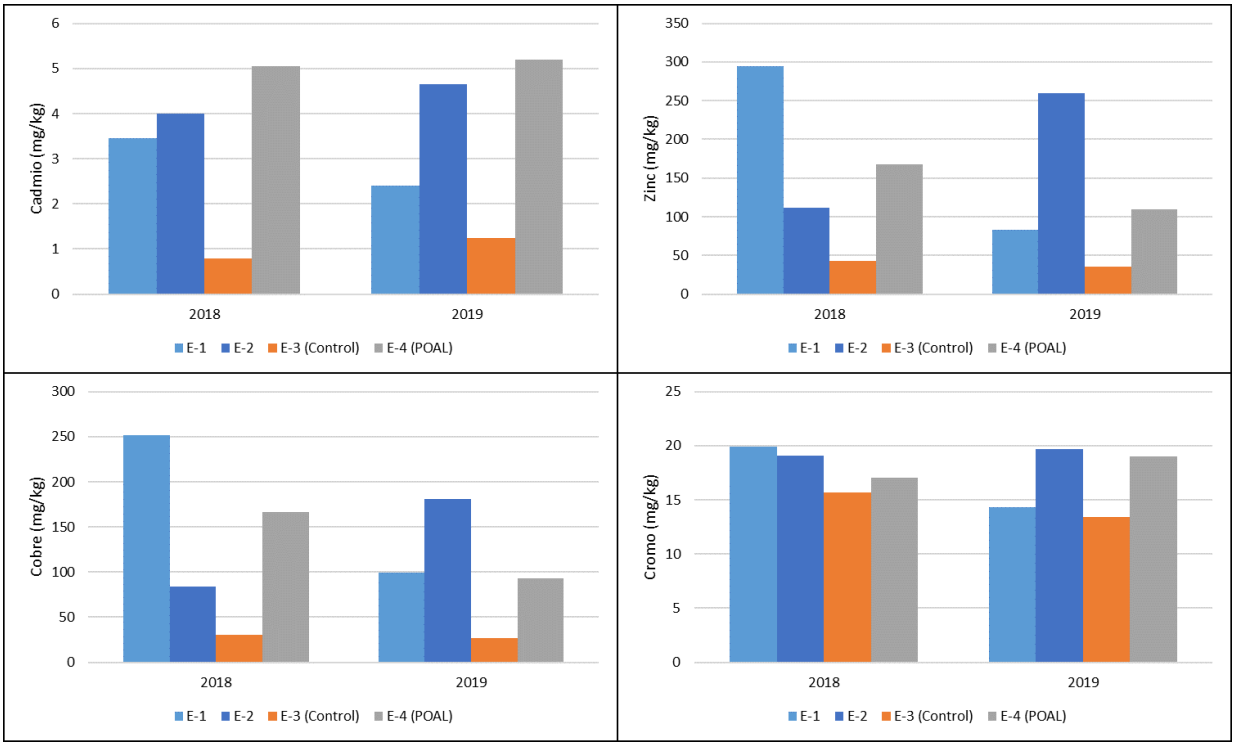


Figura 49 – Series de tiempo reportadas en el PVA de Puerto Iquique para cadmio, zinc, cobre y cromo en muestras de sedimento
Fuente: PVA Puerto Iquique.

3.3 Línea base de biota

Se revisaron y analizaron los monitoreos de biota realizados como parte de los PVAs de la zona de estudio, con la finalidad de establecer una línea base biológica.

A partir de la información disponible producto de la búsqueda efectuada en la plataforma SNIFA de la Superintendencia del Medio Ambiente y el tratamiento de la información según las directrices de la Metodología propuesta (Anexo 6, Anexo 7 y Anexo 8), la revisión efectuada muestra los siguientes resultados.

3.3.1 Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) "Modificación al sistema de tratamiento y disposición final de RILes" Compañía Pesquera Camanchaca S.A.:

3.3.1.1 Construcción bases de datos

Como fuente principal de información se utilizaron los informes del Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) "Modificación al sistema de tratamiento y disposición final de RILes" Compañía Pesquera Camanchaca S.A. RCA Nº 149/2013 publicados durante el periodo 2013-2021 y disponibles en el Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (https://snifa.sma.gob.cl/). Se extrajeron datos de riqueza, abundancia, biomasa, diversidad y uniformidad desde tablas utilizando el programa Tabula (https://tabula.technology/), los cuales, fueron importados y compilados en un libro Excel ordenados por

año, estación y sitio de muestreo. Se plotearon curvas de acumulación de abundancias y biomasa, y calculó el estadígrafo W (Clarke and Warwick, 1994) usando la funcion *abc* del paquete *forams* disponible en RStudio 2022.07.1. Estas 6 variables continuas fueron tratadas como variables respuesta de los ensambles macro-infaunales hacia la potencial perturbación ejercida por el RIL de Camanchaca. Aparte del año, la estación (otoño, invierno, primavera, verano) y sitio de muestreo (referencia y control), y la consultora que preparó los PVA, se incluyeron otras 5 variables discretas relacionadas con la metodología: (i) número de réplicas, (ii) tipo y (iii) área de draga, (iv) tamizaje y (v) el área total reportada. Para analizar la variabilidad y detectar potenciales outliers (diferenciando outlier estadístico y procedimental) de cada una de las variables respuesta por separado y respecto a las variables discretas, análisis boxplot fueron realizados con la función *boxplot* de la libreria base *graphics* y *ggplot* del paquete tidyverse. Se repitió el análisis boxplot sin los 2 outliers más extremos tanto de abundancia como biomasa (> 5000 ind./m^2 y > 2000 g/m^2; análisis de percentiles y filtro Hampel recomiendan remover 3% y 15% datos de abundancia y 6% y 26% de biomasa, respectivamente). Algunos pares de datos de abundancia-biomasa no concordaron, removiéndose las estaciones EE otoño 2017 y EC verano 2021, y por presentar 2 listas distintas de especies se removió el muestreo primavera 2021. La comparación de métodos de recolección de muestra y análisis de datos dentro y entre PVA sirvió para establecer si estos son comparables en el tiempo. Para buscar diferencias significativas en los W promedio entre estaciones y sitios de muestreo, y consultora, se realizó un análisis de varianza con cada uno de esos 3 factores utilizando la funcion *anova_test*, y cuando el valor *p* del Andeva resultó significativo se identificaron los grupos estadísticamente similares con un test de Tukey usando la función *tukey_hsd* ambos del paquete *rstatix* disponible en RStudio. Se removió un valor W atípico (-0.69). La serie consultora de Camanchaca es la única que no superó los supuestos Andeva (resultados mostrados con fines comparativos), realizándose la prueba no-paramétrica Kruskal-Wallis utilizando la función *kruskal.test* de la librería de base de R *stats*.

3.3.1.2 Resultados

Se obtuvo una serie de tiempo estacional (otoño, invierno, primavera y verano) caracterizando los ensambles macro-infaunales durante el periodo 2013-2021 (31 PVA en 9 años). La Figura 51 muestra la variabilidad histórica entre estaciones ubicadas dentro (E1, E2, E3 y EE; ver ubicación en la Figura 50) y fuera del área de influencia operacional de Camanchaca (control-EC), y con la variabilidad de esos parámetros estando fuertemente asociada a los cambios en consultora. En cuatro muestras obtenidas en el área de influencia (E3 y EE) se reportó la ausencia de macro-infauna submareal (Figura 51a). Los distintos tipos de dragas utilizadas y número e integración de réplicas por consultora (sumadas o promediadas) impidió estandarizar el área representada por las abundancias y biomasa. Por esto, en este caso se recomienda analizar los bloques de datos de las 3 consultoras por separado. No obstante, las mayores riquezas y abundancias (y baja biomasa) durante 2013-2015 representando 1/10 del área reportada en 2016-2021 podrían ser un outlier técnico (Figura 51a-b). Entre esas variables, la abundancia y biomasa exhibieron la mayor variabilidad y cantidad de outliers estadísticos (Figura 52).

Figura 50 – Ubicación puntos de muestreo PVA Camanchaca

3.3.1.2.1 Riqueza

La riqueza de los ensambles macro-infaunales osciló entre 1-24 taxa (Figura 52a), con > 10 taxa entre 2013-2015 y una fuerte disminución desde 2017 con sólo ~ 5 taxa promedio (Figura 53) siendo independiente de la temporada (Figura 54 y Figura 57) y estación de muestreo (Figura 55), pero dependiente de la consultora (Figura 56 y Figura 58).

3.3.1.2.2 Abundancias

Las abundancias variaron entre 20 y 1840 ind./m^2 (Figura 52b), alcanzando valores relativamente altos durante 2013 y 2014 (Figura 59) y con la variación global siendo independiente de la temporada (Figura 60 y Figura 63) y estación de muestreo (Figura 61), y con 1 consultora reportando la mayoría de los valores extremos (Figura 62).

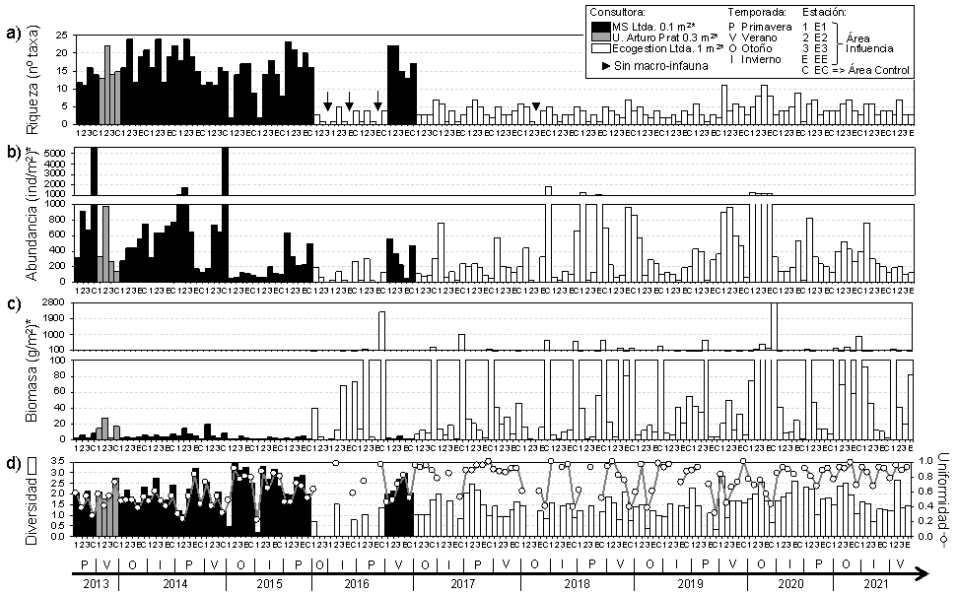


Figura 51 – Serie de tiempo 2013-2021 de riqueza (a), abundancias (b), biomasa (c), diversidad y uniformidad (d) de los ensambles macro-infaunales encontradas dentro (est. 1, 2, 3 y E) y fuera (C-control) de la zona de influencia operacional de la empresa pesquera Camanchaca. Los años, temporadas y estaciones de muestreo, y consultoras son diferenciadas.

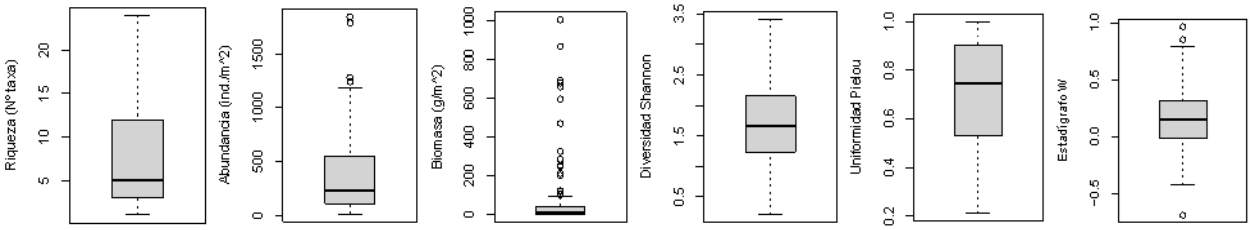


Figura 52 – Análisis boxplot de las 6 variables respuesta de la macro-infauna submareal reportadas por el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca

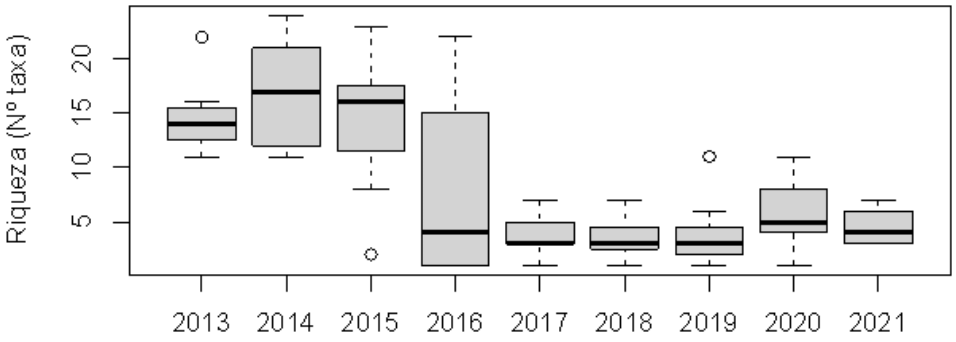


Figura 53 – Variación boxplot anual de la riqueza macro-infaunal reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

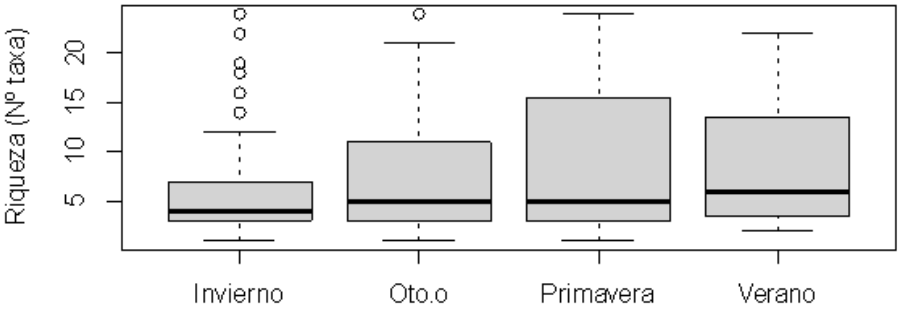


Figura 54 – Variación boxplot estacional de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

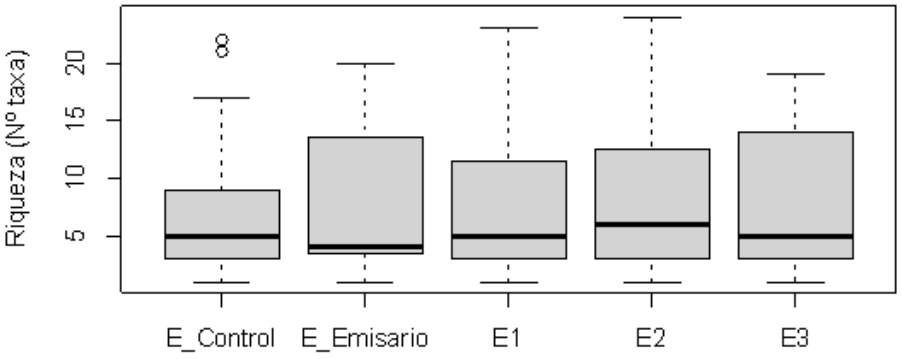


Figura 55 – Variación boxplot por estación de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

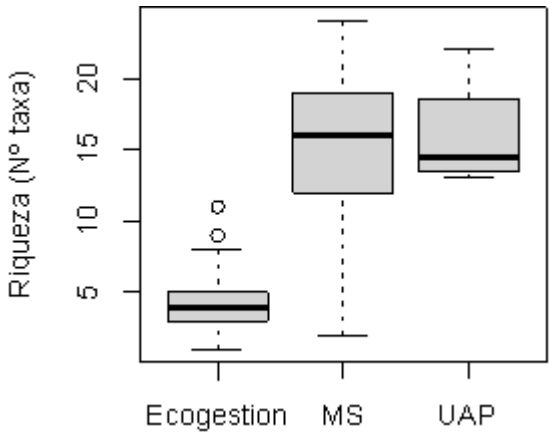


Figura 56 – Variación boxplot por consultora de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

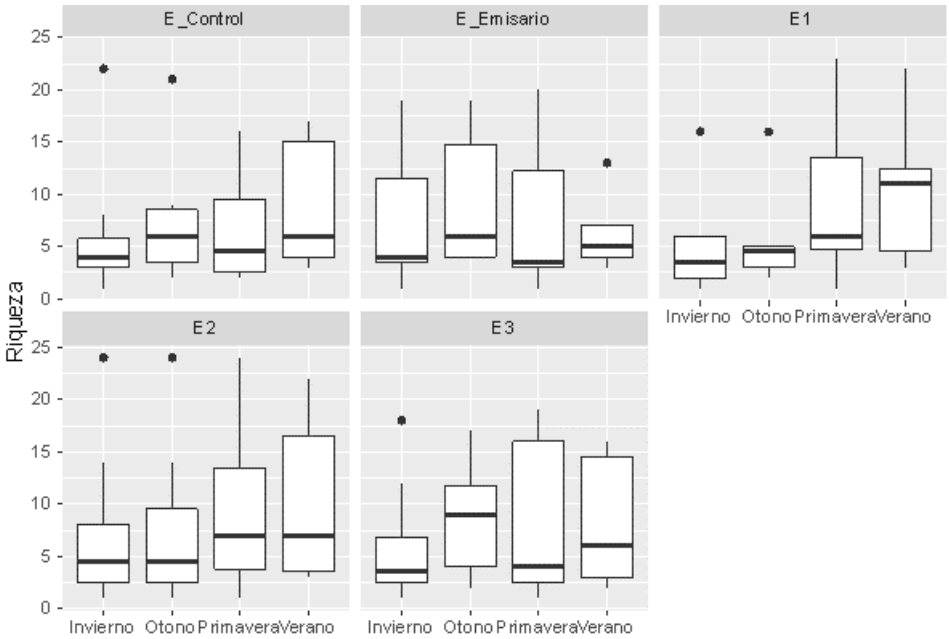


Figura 57 – Variación boxplot estacional ordenado por estación de muestreo de riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

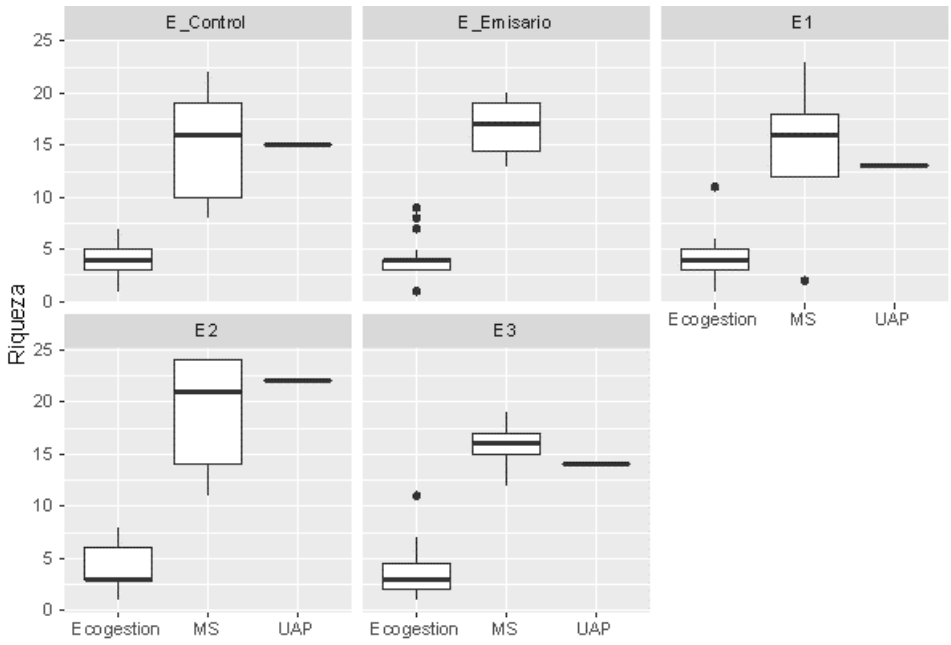


Figura 58 – Variación boxplot por consultora ordenado por estación de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

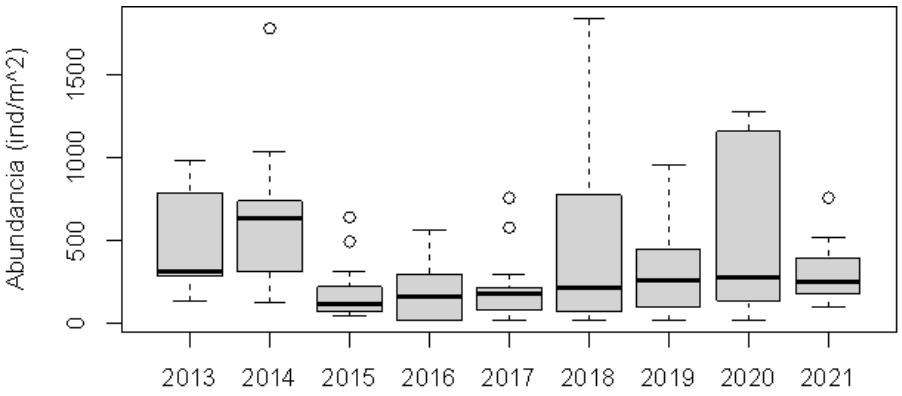


Figura 59 – Variación boxplot anual de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

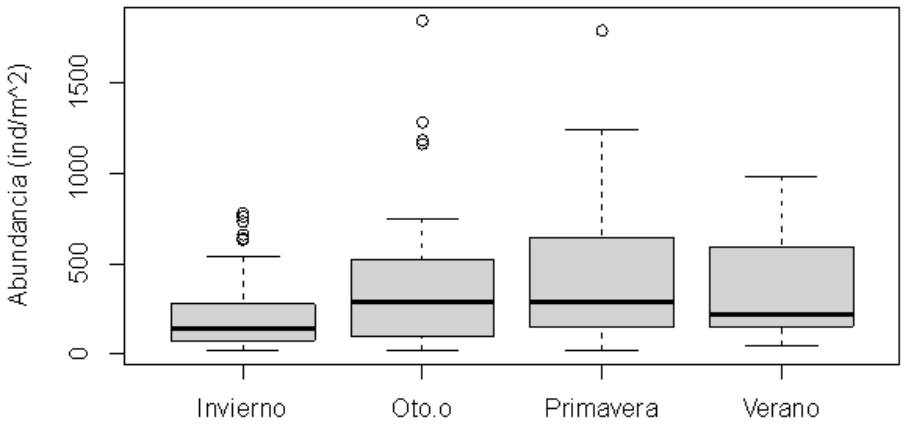


Figura 60 – Variación boxplot estacional de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

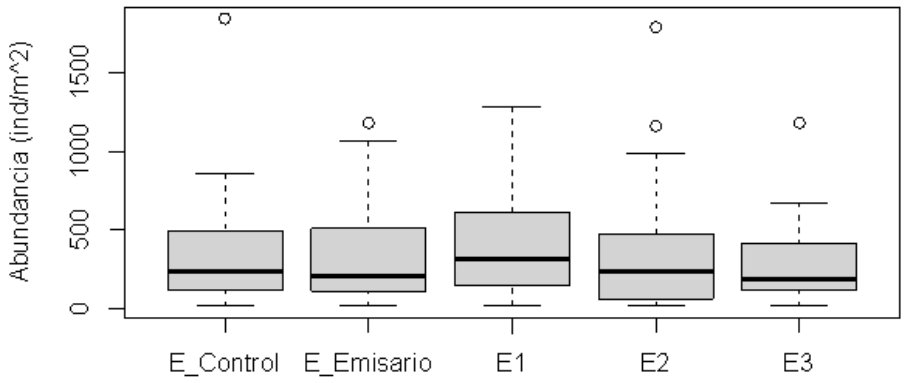


Figura 61 – Variación boxplot por estación de muestreo de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

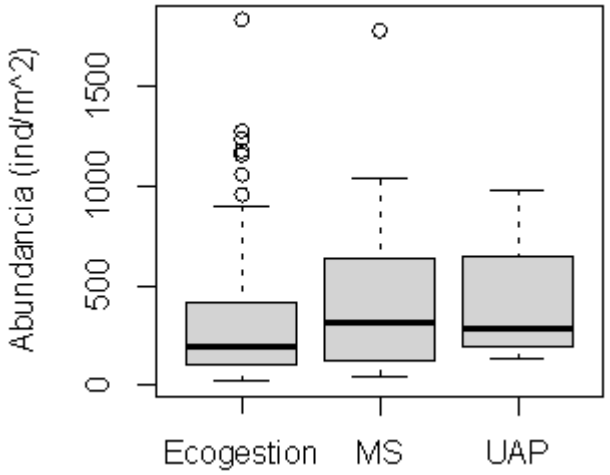


Figura 62 – Variación boxplot por consultora de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

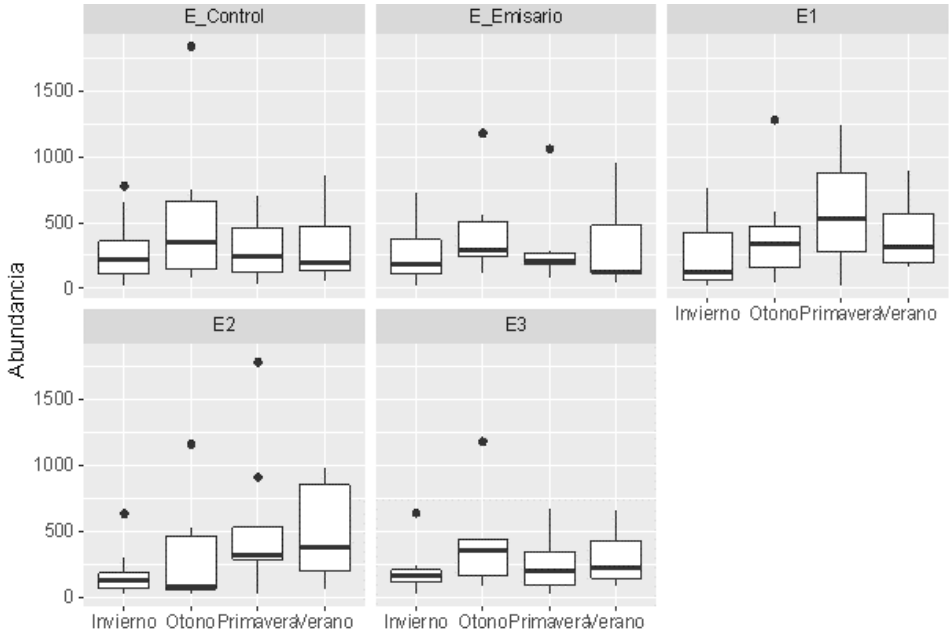


Figura 63 – Variación boxplot estacional ordenado por estación de muestreo de abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

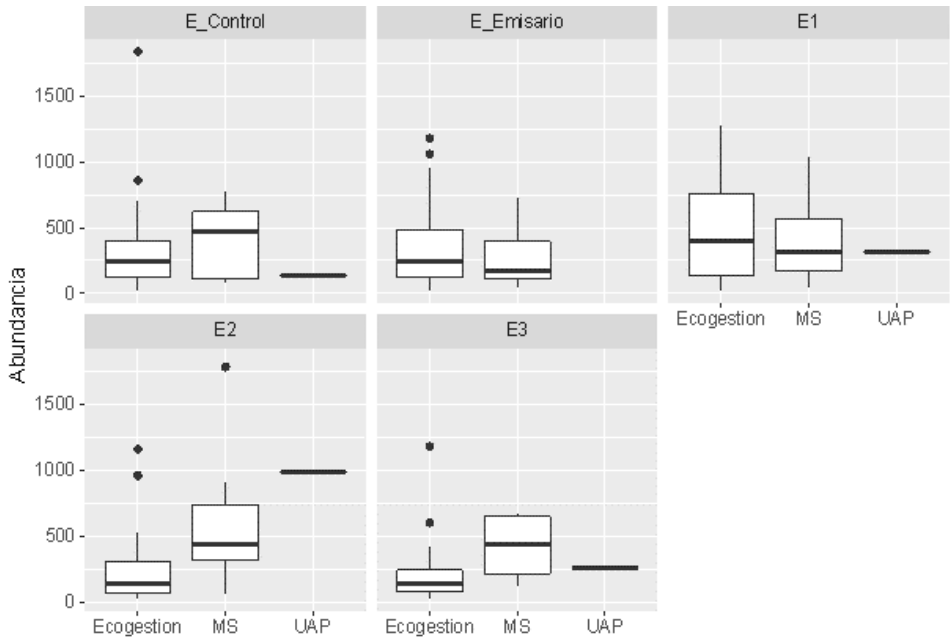


Figura 64 – Variación boxplot por consultora ordenado por estación de muestreo de abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2.3 Biomasa

La biomasa macro-infaunal varió entre 0.02-1007 g/m^2 con una mayor dispersión de datos hacia valores altos (Figura 52c) y con tendencia al aumento en el tiempo (Figura 65), ocurriendo principalmente durante la temporada de otoño (Figura 66 y Figura 69), en la estación control (Figura 67), y siendo reportados por sólo 1 consultora (Figura 68 y Figura 70).

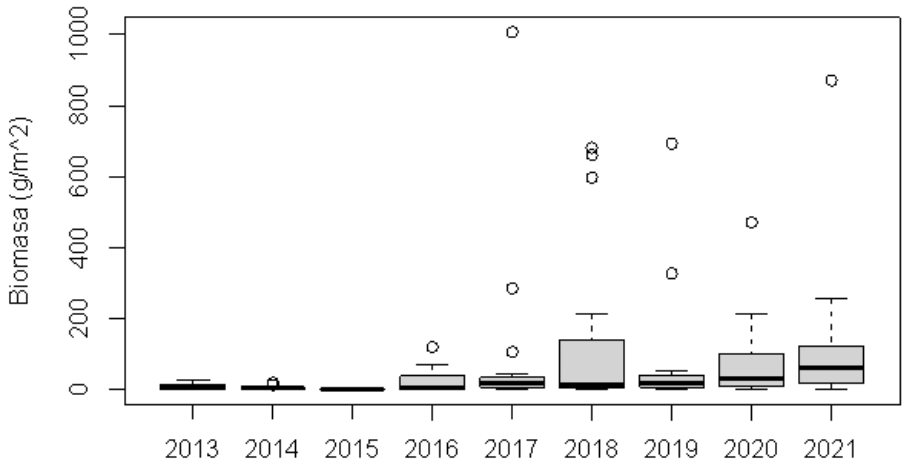


Figura 65 – Variación boxplot anual de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

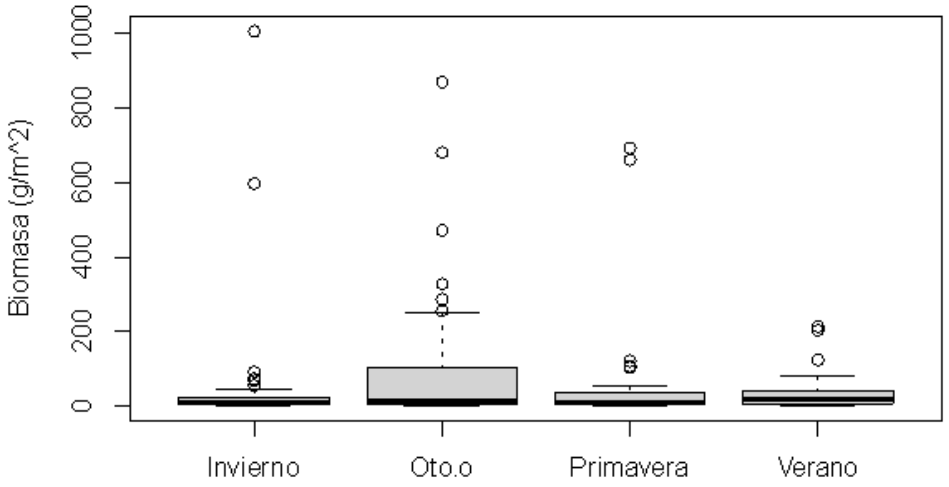


Figura 66 – Variación boxplot estacional de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

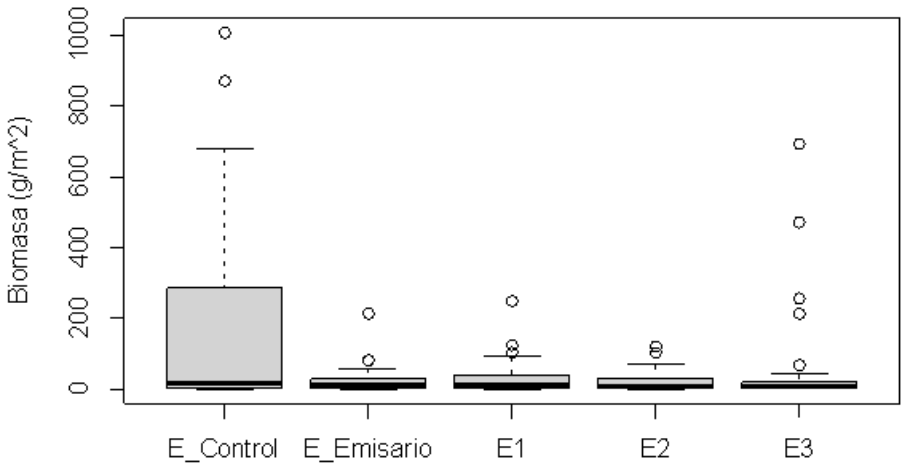


Figura 67 – Variación boxplot por estación de muestreo de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

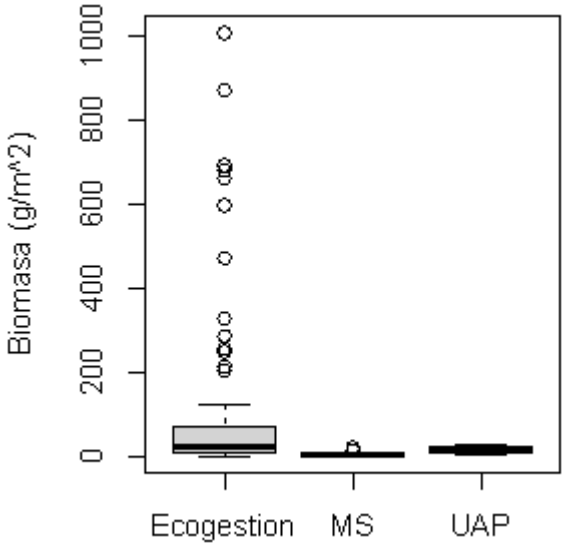


Figura 68 – Variación boxplot por consultora de biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

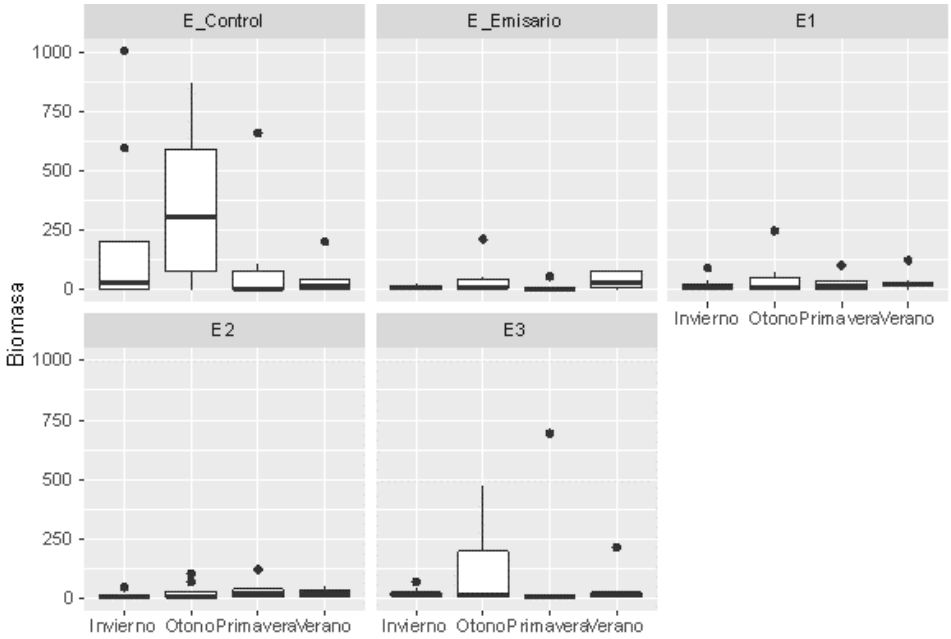


Figura 69 – Variación boxplot estación ordenado por estación de muestreo de biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

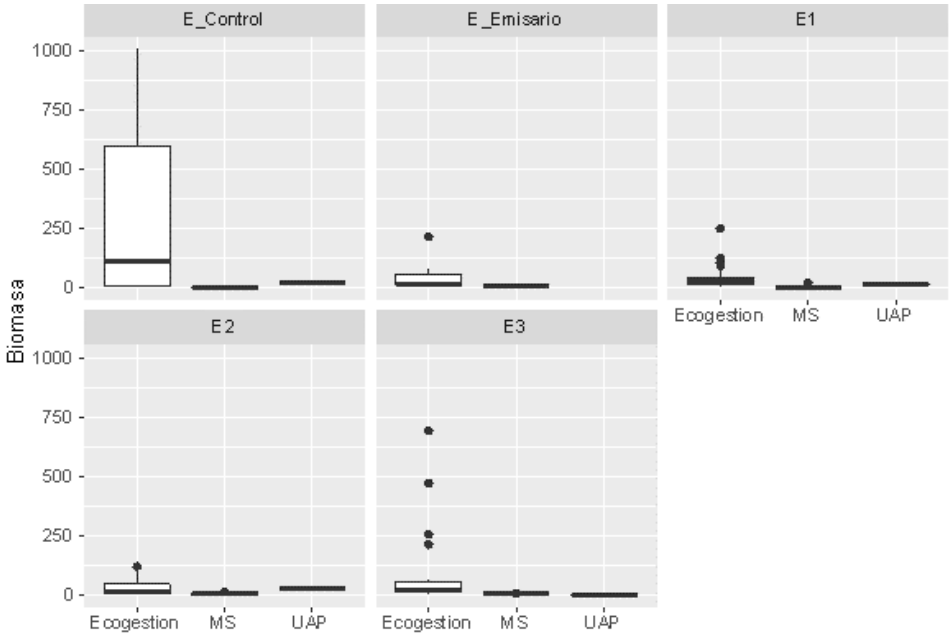


Figura 70 – Variación boxplot por consultora ordenado por estación de muestreo de biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2.4 Diversidad y Uniformidad

Los índices de diversidad de Shannon-Weaver y uniformidad de Pielou variaron en el rango 0.2-3.4 y 0.2-1.0 (Figura 52d-e), con una tendencia hacia la disminución y aumento en el tiempo respectivamente (Figura 71), y la variación global siendo independiente de la temporada (Figura 72 y Figura 75) y estación de muestreo (Figura 73), aunque concordante con el cambio en consultora (Figura 74 y Figura 76).

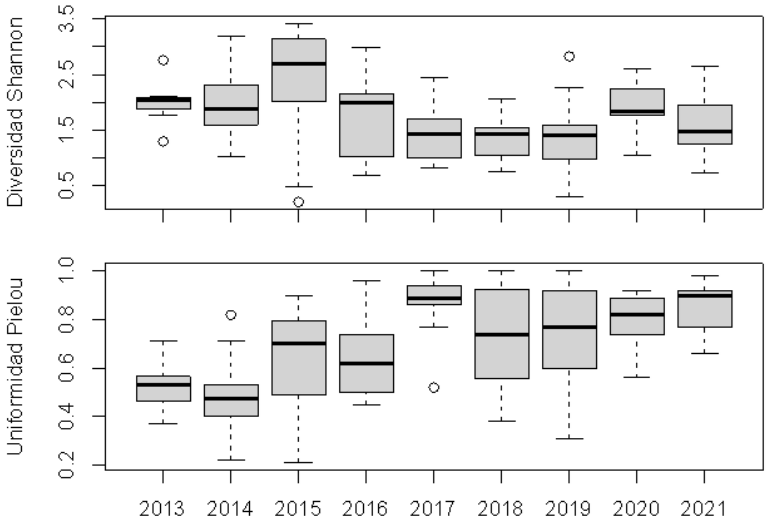


Figura 71 – Variación boxplot anual de diversidad (arriba) y uniformidad (abajo) comunitarias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

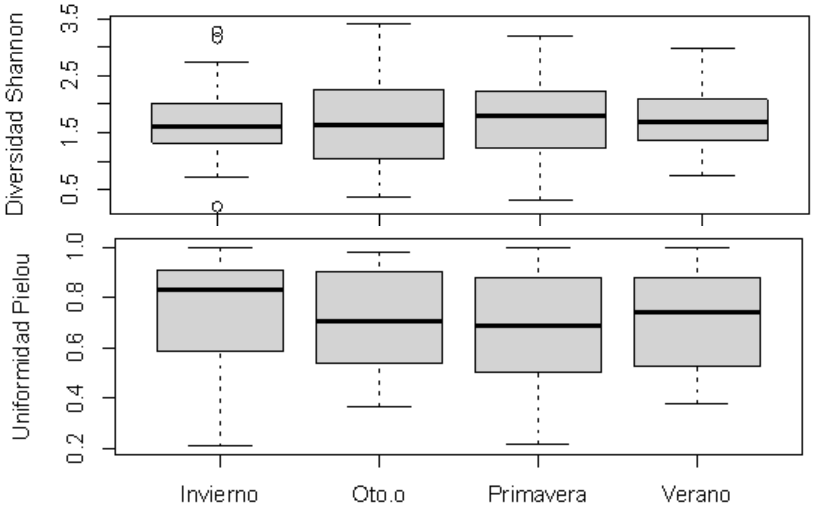


Figura 72 – Variación boxplot estacional de diversidad (arriba) y uniformidad (abajo) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

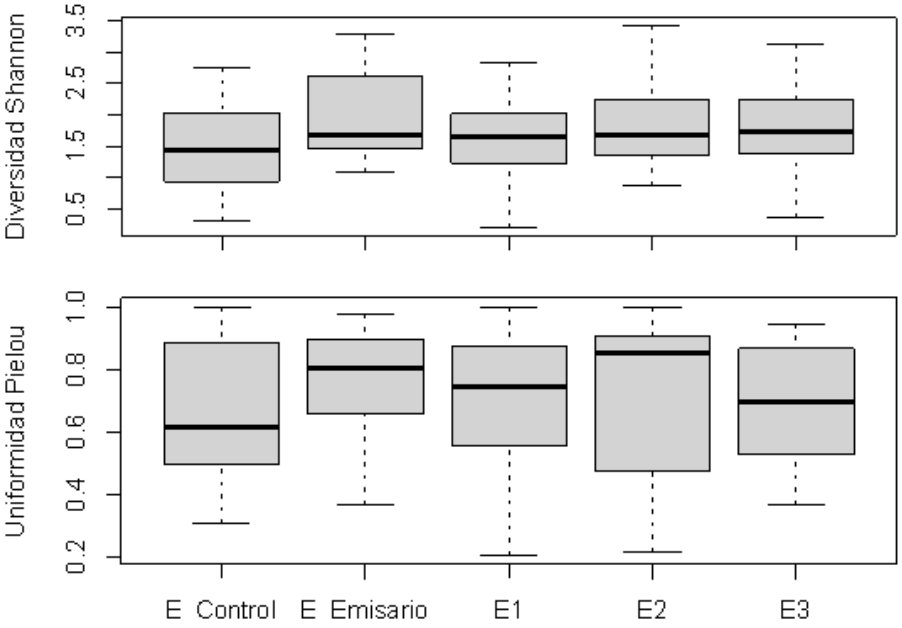


Figura 73 – Variación boxplot por estación de muestreo de diversidad (arriba) y uniformidad (abajo) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

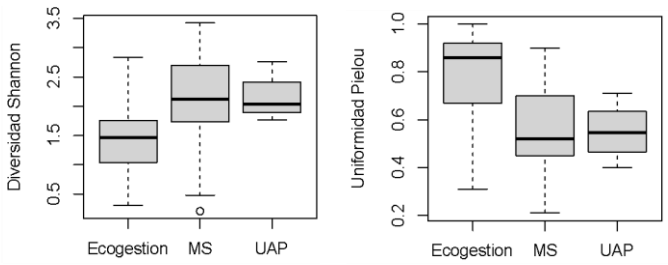


Figura 74 – Variación boxplot por consultora de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

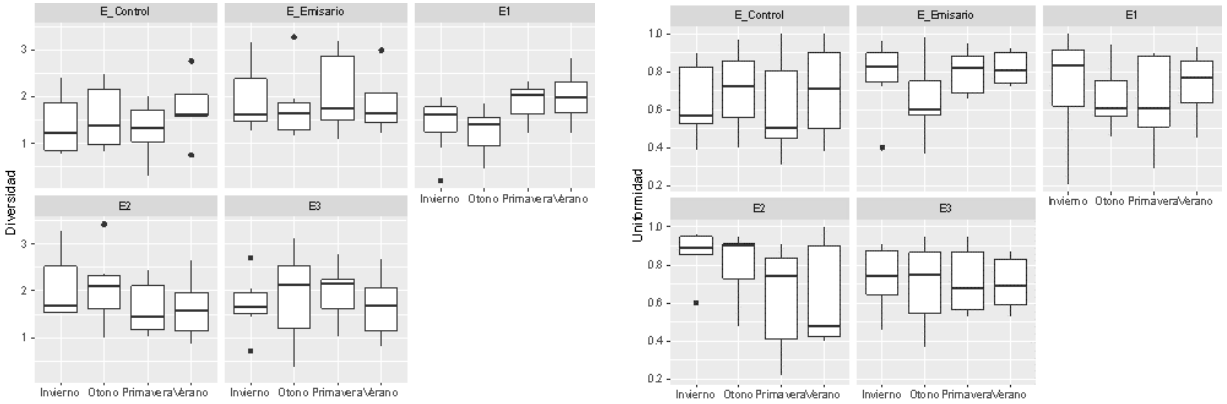


Figura 75 – Variación boxplot estacional ordenados por estación de muestreo de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

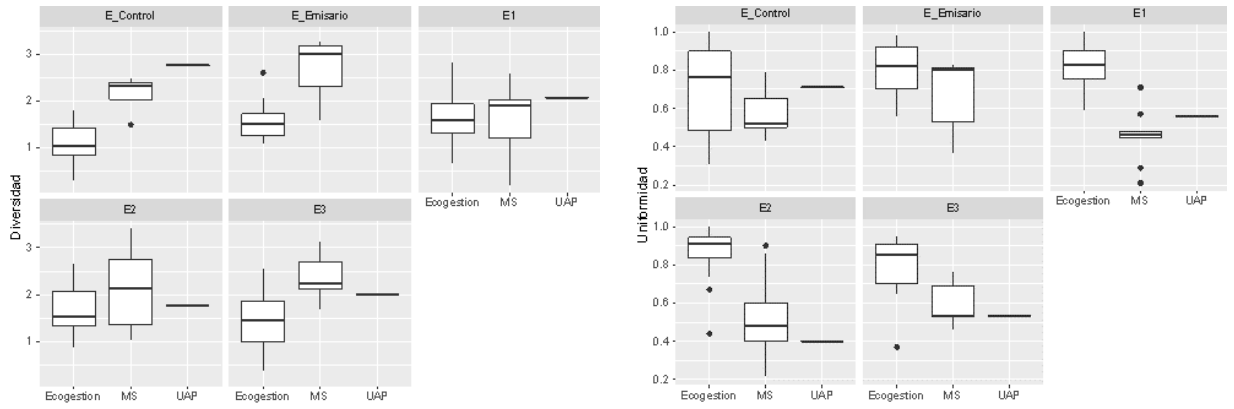


Figura 76 – Variación boxplot por consultora ordenado por estación de muestreo de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2.5 Curvas ABC

El estadígrafo W, midiendo el grado de acoplamiento entre las curvas de abundancia y biomasa, varió entre -0.69 y 0.97 y en el rango 0.0-0.3 para los cuartiles 0.25 y 0.75 (Figura 51e). En general, se observa una tendencia histórica de perturbación moderada a leve de los ensambles macro-infaunales (Figura 77 y Figura 78), siendo mayormente independiente de la temporada (Figura 79 y Figura 82), estación de muestreo (Figura 80) y consultora (Figura 81 y Figura 83).

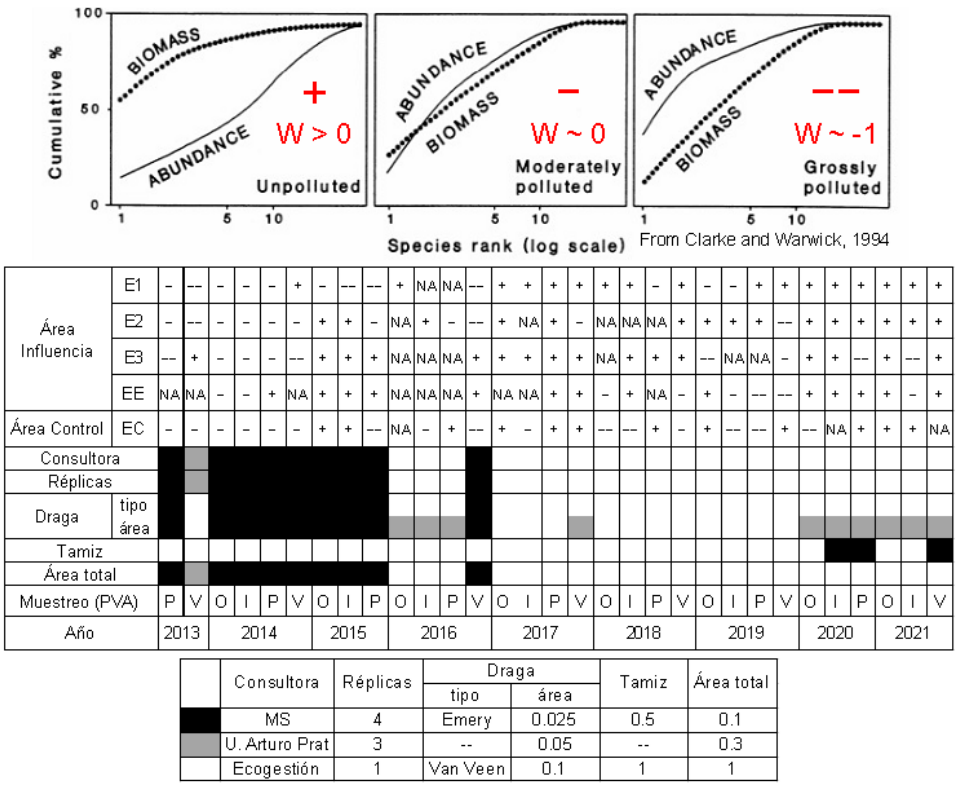


Figura 77 – Comparación histórica anual y por estación del estadígrafo W y metodologías de muestreo y análisis de datos de la empresa Camanchaca
Fuente: Elaboración propia.

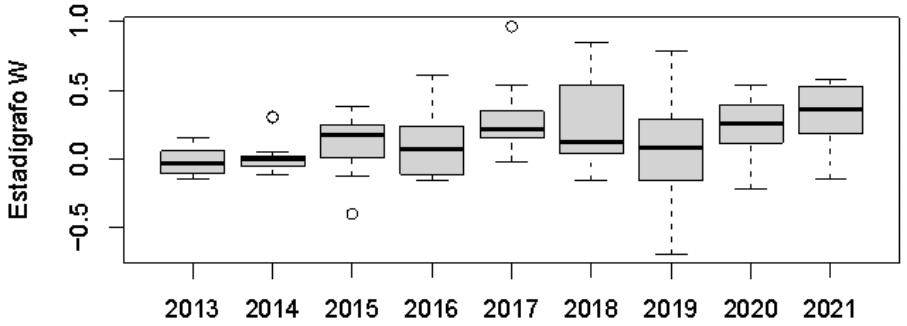


Figura 78 – Variación boxplot anual del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca y calculado por EnSoil
Fuente: Elaboración propia.

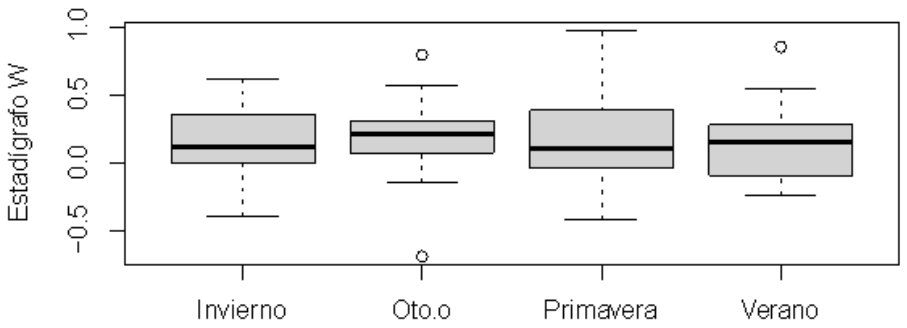


Figura 79 – Variación boxplot estacional del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Camanchaca y calculado por EnSoil
Fuente: Elaboración propia.

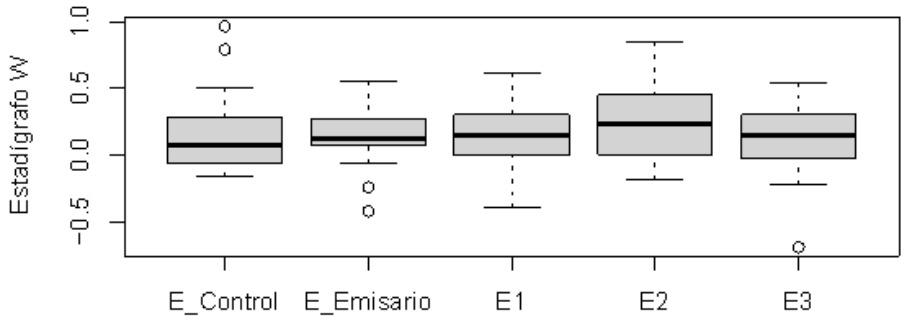


Figura 80 – Variación boxplot por estación de muestreo del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca y calculado por EnSoil
Fuente: Elaboración propia.

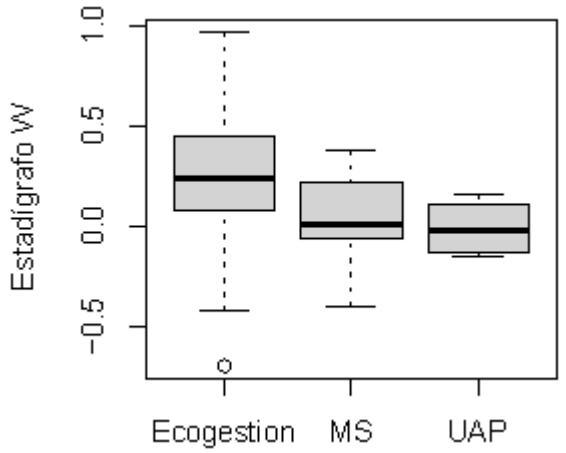


Figura 81 – Variación boxplot por consultora del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca y calculado por EnSoil
Fuente: Elaboración propia.

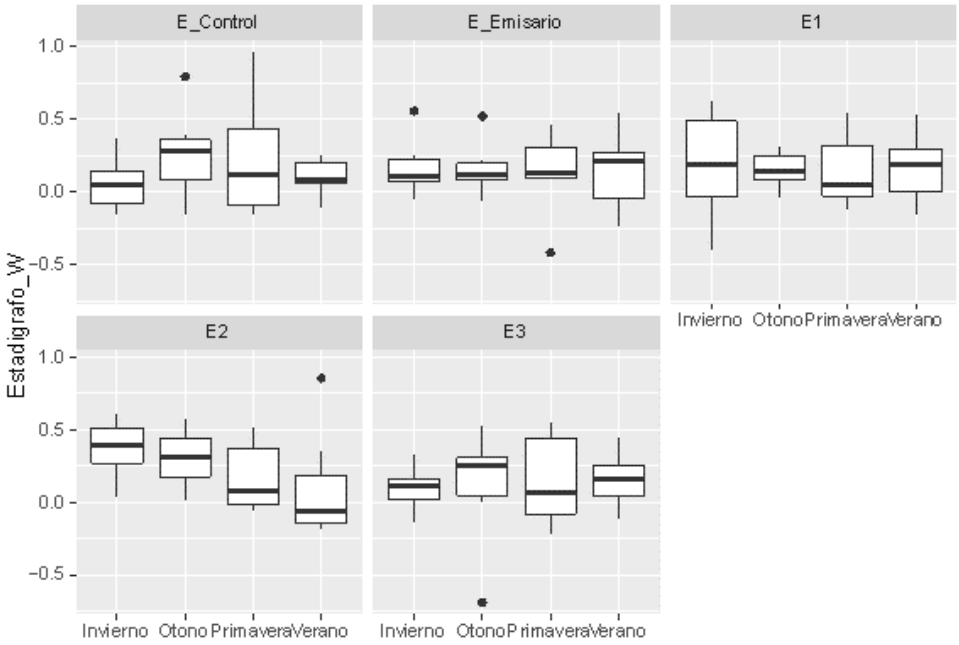


Figura 82 – Variación boxplot estacional ordenado por estación de muestreo del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca y calculado por EnSoil
Fuente: Elaboración propia.

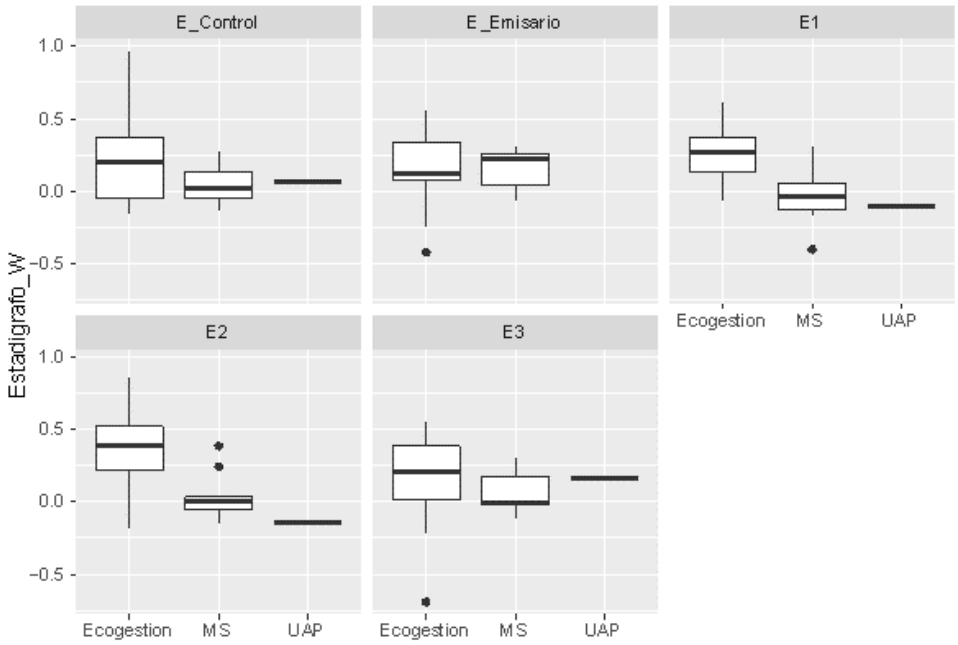


Figura 83 – Variación boxplot por consultora ordenados por estación de muestreo del estadígrafo W asociado al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca y calculado por EnSoil
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) "Suministro Petróleo Diésel Naves de Pesca desde Lanchón Pelagos" Corpesca S.A.

3.3.2.1 Construcción bases de datos

Se utilizaron los PVA "Suministro Petróleo Diésel Naves de Pesca desde Lanchón Pelagos" Corpesca S.A. Iquique RCA Nº 49/2007 disponibles en el Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental. Igual que la serie anterior, se extrajeron y tabularon parámetros poblacionales de abundancia y biomasa, y a nivel de ensamble como la riqueza, diversidad, uniformidad y estadístico W (algunos fueron calculados por EnSoil, ver metodología arriba). A pesar de que en los PVA de 2013 y otoño 2014 las abundancias y biomasa son reportadas en 0.3 m^2, se entrega información sobre como convertir los datos a 1 m^2. En los PVA 2015, 2016 y 2017, se encontraron "< 0.01" de biomasa correspondiendo a individuos bajo el límite de detección de la balanza, los cuales, fueron reemplazados por 0.001 g. Análisis de varianza para buscar diferencias significativas en el índice W promedio entre estaciones y sitios de muestreo, y consultora fueron realizados siguiendo metodología descrita arriba. Se removió 1 dato W atípico -0.71

3.3.2.2 Resultados

Se obtuvo una serie de tiempo estacional (otoño y primavera) caracterizando los ensambles macro-infaunales durante el periodo 2013-2021 (16 PVA en 9 años). En Figura 85 se muestra la variabilidad entre estaciones ubicadas dentro (CRPI-3 y CRPI-4) y fuera del área de influencia operacional de Corpesca (CRPI-1 o control) (ver ubicaciones en la Figura 84) , y con la variabilidad histórica de esos parámetros siendo independiente del cambio en consultora, salvo para biomasa que durante 2013-2016 se mantiene muy por

debajo de los valores reportados desde 2017, pudiendo ser un outlier procedimental (Figura 85c). Entre las variables respuesta, la biomasa con valores muy altos (outlier estadístico) exhibió la mayor dispersión de datos (Figura 86), removiéndose el dato más extremo que alcanzó 1207 g/m^2.

Figura 84 – Ubicación puntos de muestreo PVA Corpesca

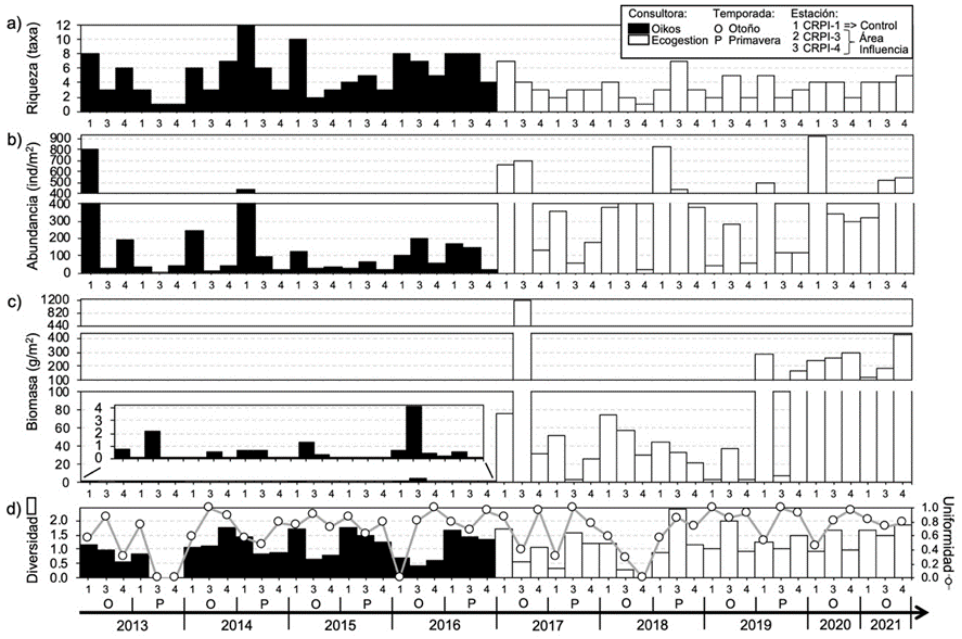


Figura 85 – Serie de tiempo 2013-2021 de riqueza (a), abundancias (b), biomasa (c), diversidad y uniformidad (d) de los ensambles macro-infaunales encontradas dentro (CRPI-3 y CRPI-4) y fuera (CRPI-1 o control) de la zona de influencia operacional de la empresa Corpesca. Los años, temporadas y estaciones de muestreo, y consultoras son diferenciados.

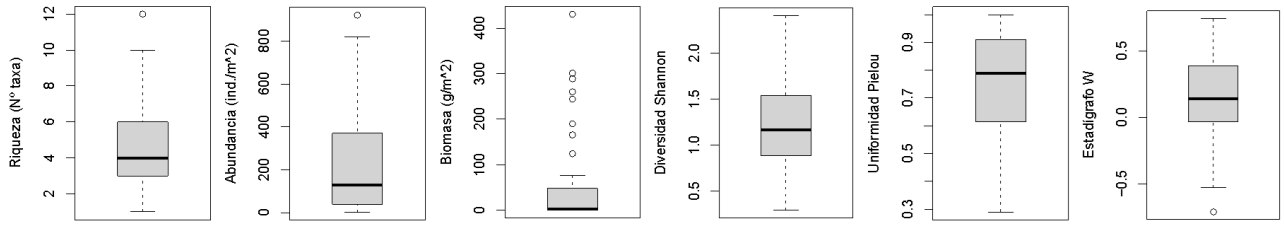


Figura 86 – Análisis boxplot de las 6 variables respuesta de la macro-infauna submareal reportadas por el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca

3.3.2.2.1 Riqueza

La riqueza de los ensambles macro-infaunales osciló entre 1-12 taxa (Figura 86a), sin una tendencia histórica clara (Figura 87), independiente de la temporada, estación de muestreo, y consultora (Figura 88 y Figura 89).

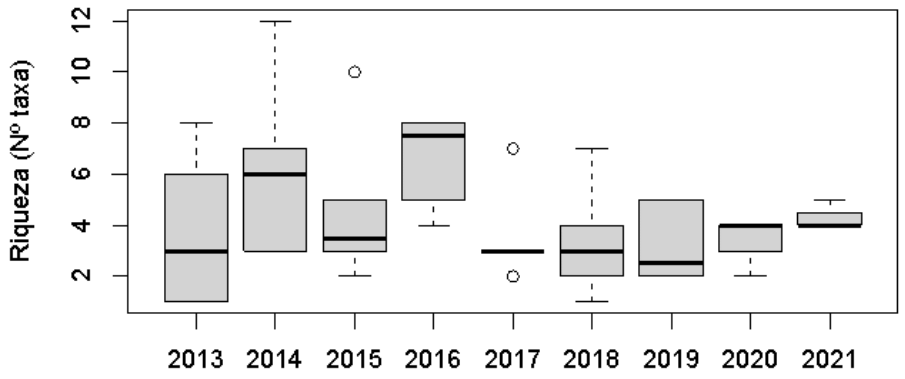


Figura 87 – Variación boxplot anual de la riqueza macro-infaunal reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

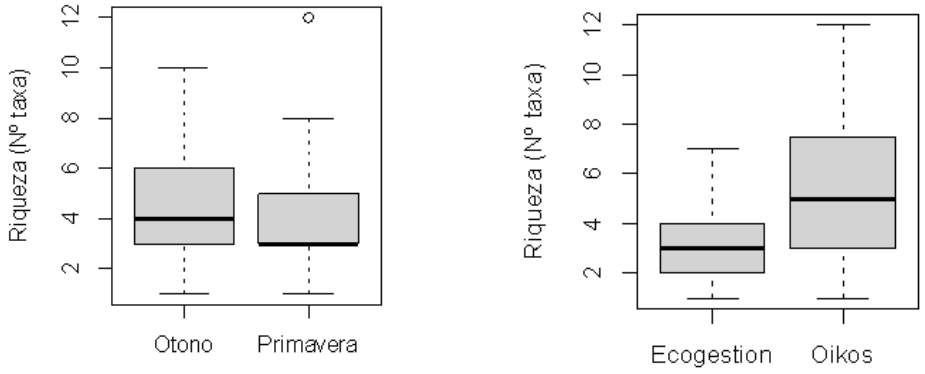


Figura 88 – Variación boxplot estacional (izquierda), por estación de muestreo (al medio) y consultora (derecha) de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

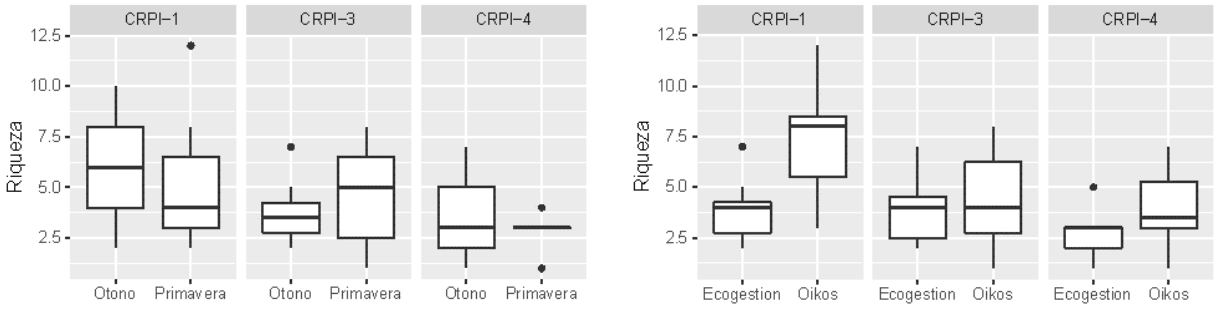


Figura 89 – Variación boxplot estacional (izquierda) y por consultora (derecha) ordenados por estación de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2.2 Abundancias

Las abundancias variaron entre 3 y 920 ind./m^2 (Figura 85b) siguiendo una tendencia histórica de aumento (Figura 90) siendo independiente de la temporada (Figura 91), y con las 2 consultoras reportando bajas abundancias (< 200 ind./m^2) en las estaciones bajo influencia (E3 y E4) relativo al sitio control (E1, Figura 91 y Figura 92).

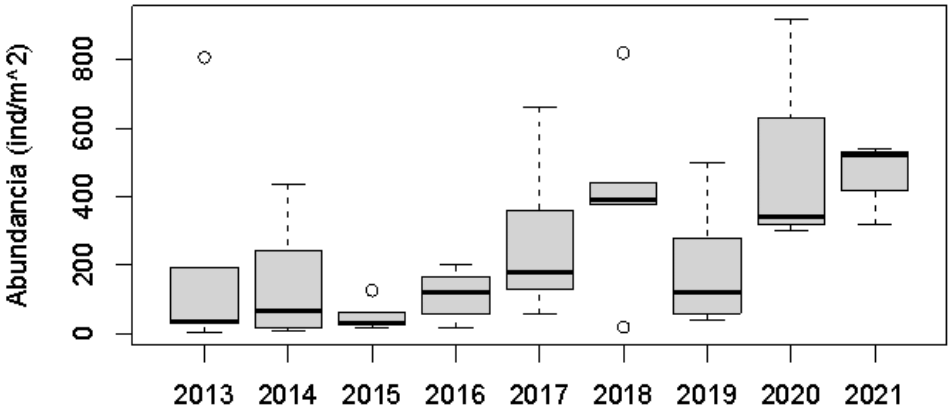


Figura 90 – Variación boxplot anual de la abundancia macro-infaunal reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

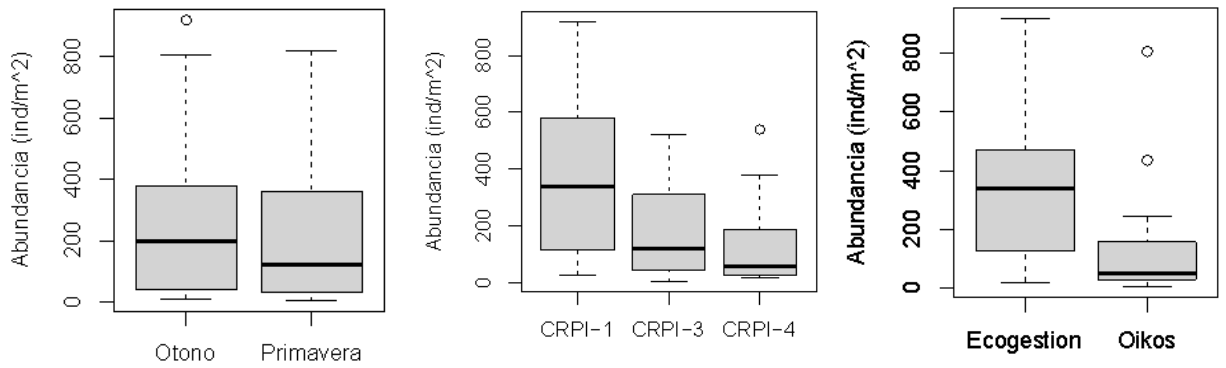


Figura 91 – Variación boxplot por estación (izquierda) y sitio de muestreo (al medio) y consultora (derecha) de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

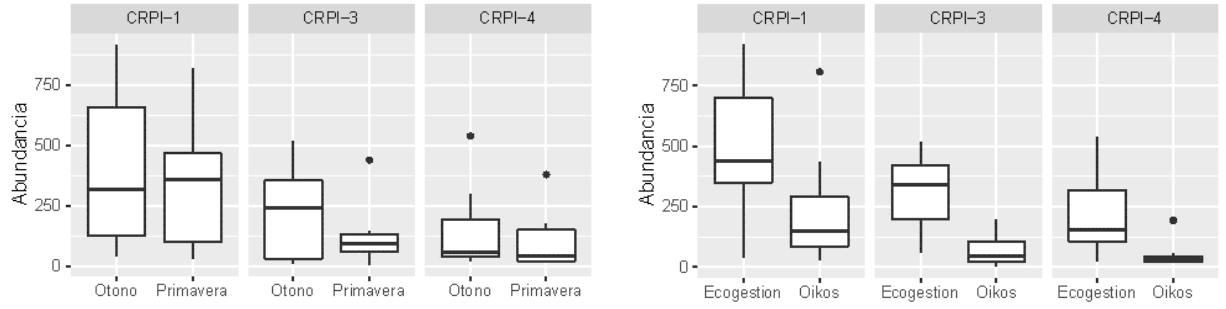


Figura 92 – Variación boxplot por estacion (izquierda) y consultora (derecha) ordenados por sitio de muestreo de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2.3 Biomasa

La biomasa macro-infaunal varió entre 0.02 y 430 g/m^2 con una mayor dispersión de datos hacia valores altos (Figura 85c) con tendencia al aumento desde 2017 (Figura 93), ocurriendo independiente de la temporada y estación de muestreo, pero fuertemente asociada al cambio de consultora (Figura 94 y Figura 95).

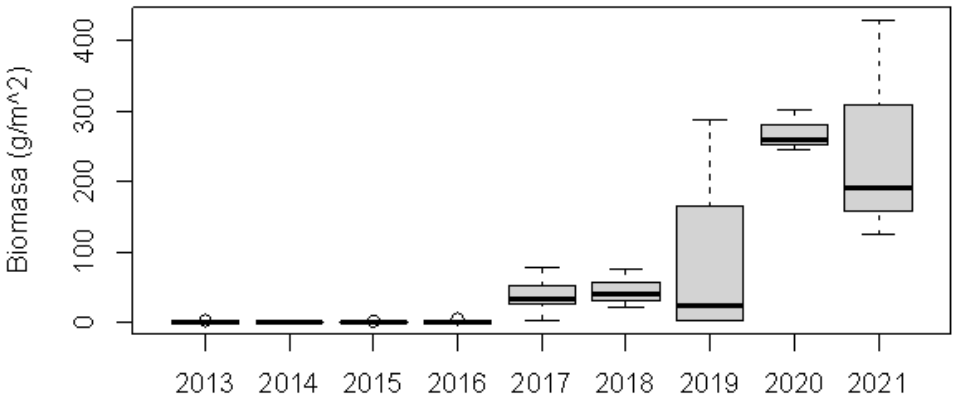


Figura 93 – Variación boxplot anual de la biomasa macro-infaunal reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

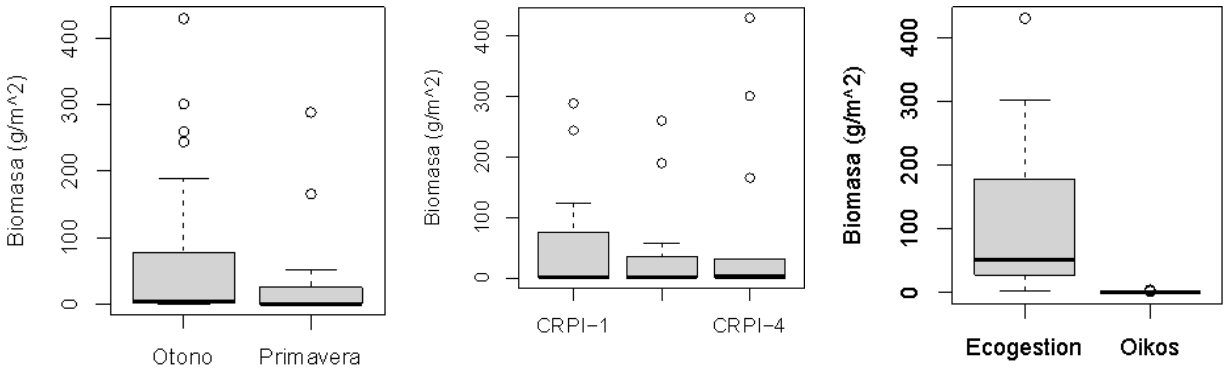


Figura 94 – Variación boxplot por estacion (izquierda) y sitio de muestreo (al medio), y consultora (derecha) de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

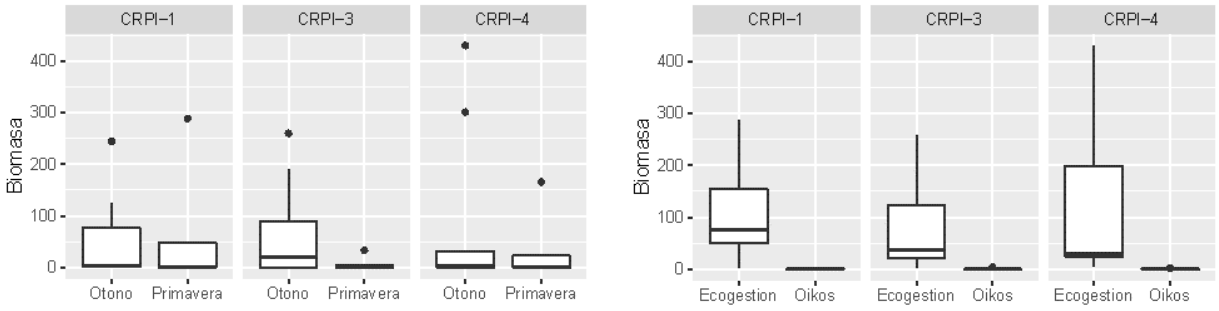


Figura 95 – Variación boxplot por estación (izquierda) y consultora (derecha) ordenados por sitio de muestreo de la abundancia reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2.4 Diversidad y Uniformidad

Los índices de diversidad de Shannon-Weaver y uniformidad de Pielou variaron en el rango 0.3-2.4 y 0.3-1.0 (Figura 85d-e), sin mayores fluctuaciones en el tiempo (Figura 96) y con respecto a la temporada y estación de muestreo, así como consultora (Figura 97 a la Figura 101).

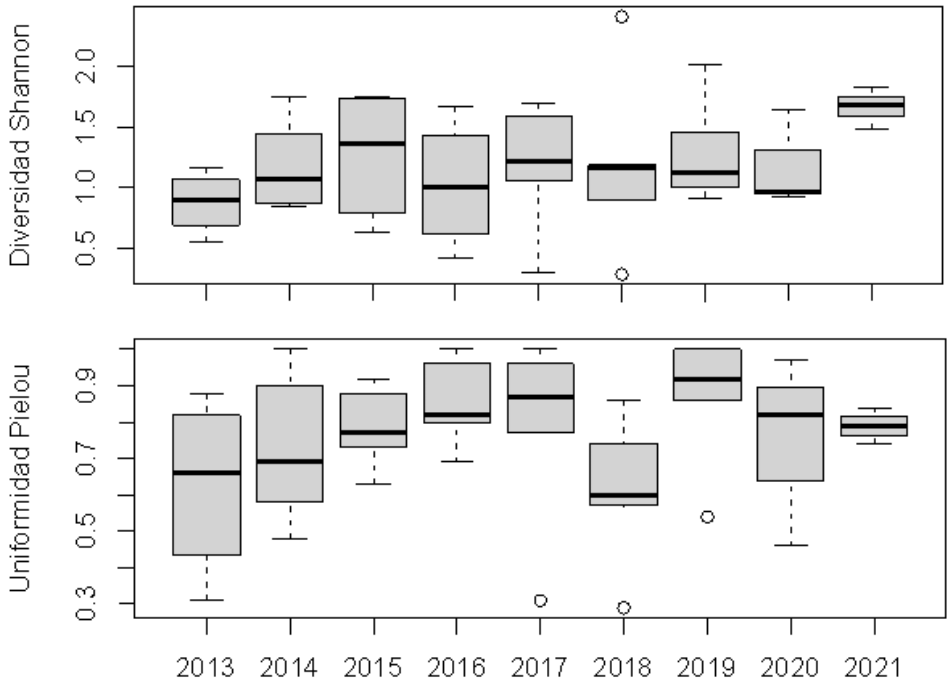


Figura 96 – Variación boxplot anual de diversidad (arriba) y uniformidad (abajo) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

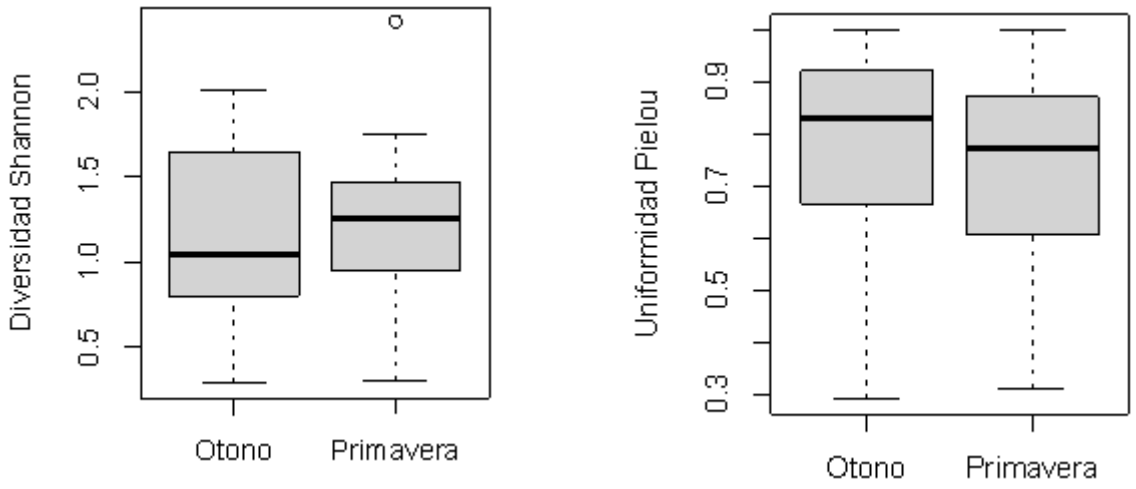


Figura 97 – Variación boxplot estacional de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

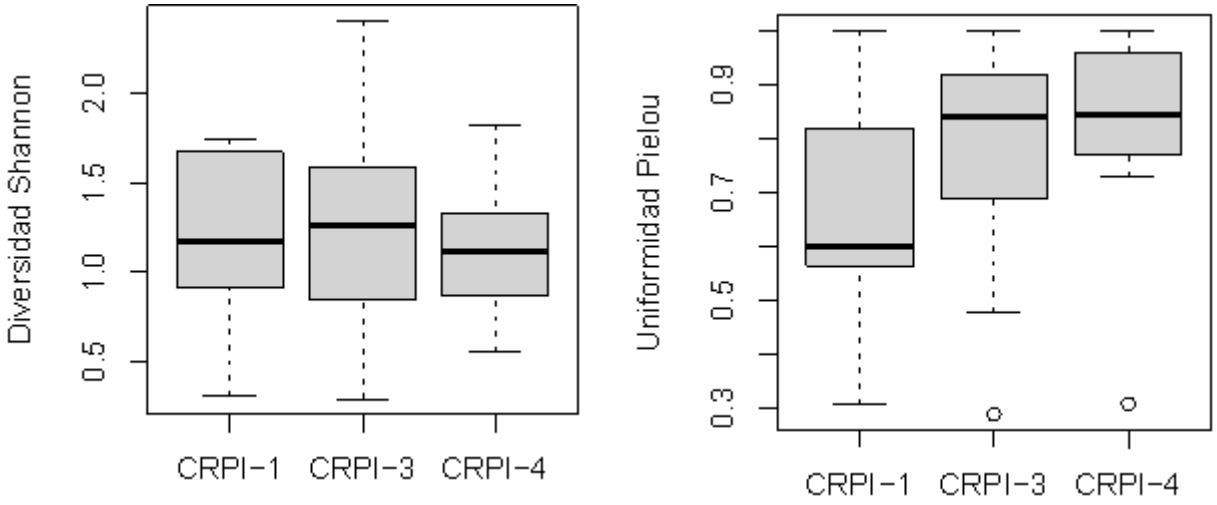


Figura 98 – Variación boxplot por sitio de muestreo de la diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

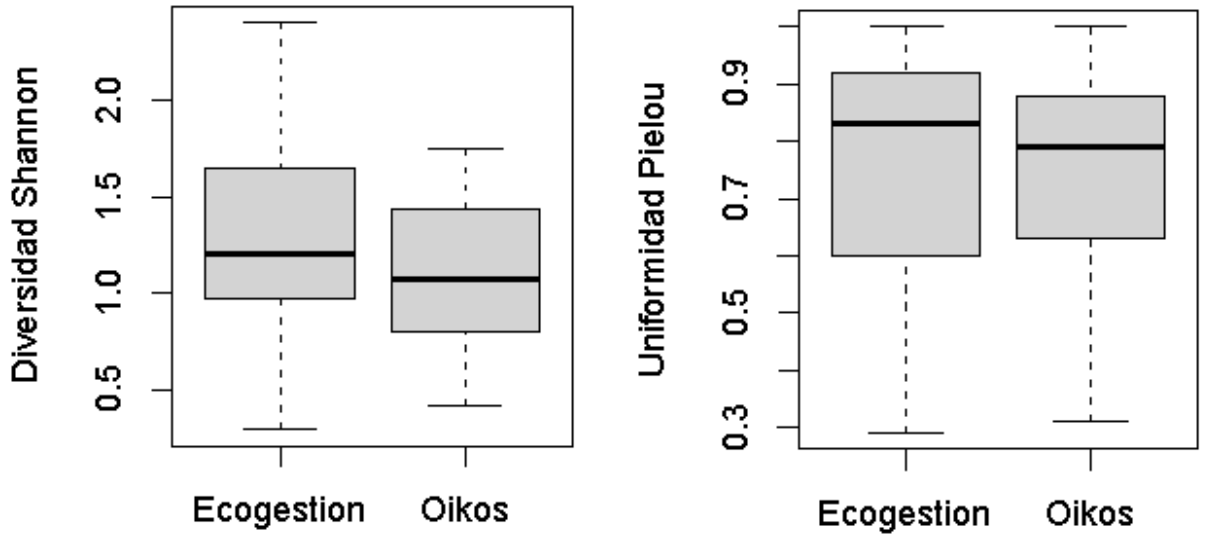


Figura 99 – Variación boxplot por consultora de la diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

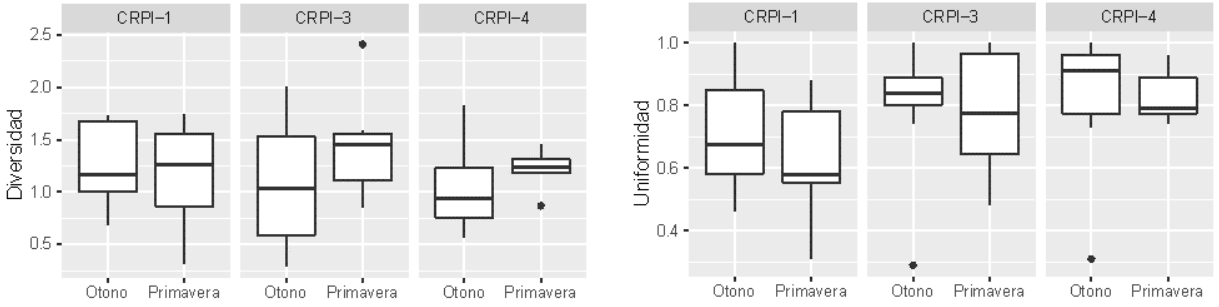


Figura 100 – Variación boxplot por estación y sitio de muestreo de diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

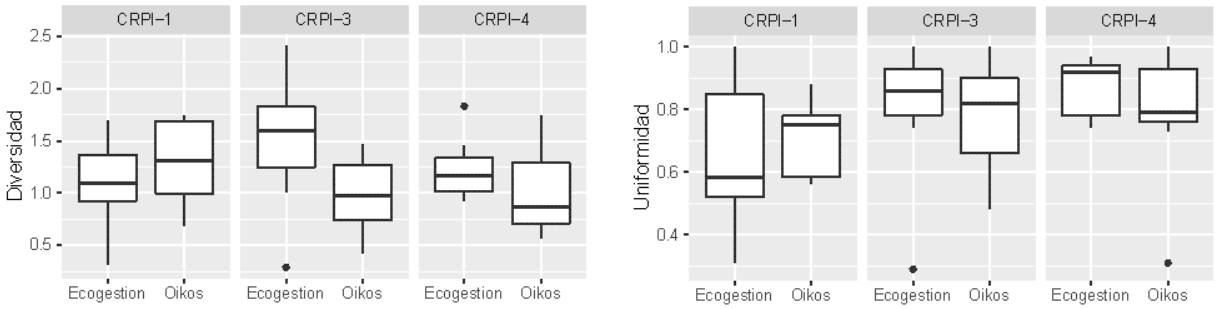
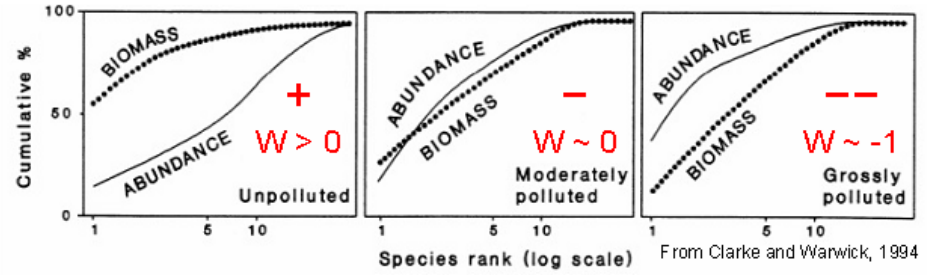


Figura 101 – Variación boxplot por consultora y sitio de muestreo de la diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental de Corpesca
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2.5 Curvas ABC

El estadígrafo W, midiendo el grado de acoplamiento entre las curvas de abundancia y biomasa, varió entre -0.71 y 0.74 y dentro del rango 0.0-0.4 para los cuartiles 0.25 y 0.75 (Figura 85e). En general, se observa una tendencia histórica de perturbación moderada a leve de los ensambles macro-infaunales (Figura 102 y Figura 103), siendo mayormente independiente de la temporada, estación de muestreo y consultora (Figura 104 y Figura 105).



Control	CRPI-1	–	–	–	+	+	– –	+	–	+	– –	– –	+	+	–	+	+
Área	CRPI-3	–	NA	+	–	+	–	+	+	–	+	– –	+	+	+	+	+
Influencia	CRPI-4	–	NA	+	–	– –	– –	+	–	+	+	NA	– –	– –	+	+	+
Consultora																	
Réplicas																	
Draga	tipo																
	área																
Tamiz																	
Área total																	
Muestreo (PVA)		O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	O
Año		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		###	###

	Consultora	Réplicas	Draga		Tamiz	Área total
			tipo	área		
	Oikos	3	--	0.05	0.5	0.3
	Ecogestión	1	Van Veen	0.1	1	1

Figura 102 – Comparación histórica anual y por estación del estadígrafo W y metodologías de muestreo y análisis de datos de la empresa Corpesca

Fuente: Elaboración propia.

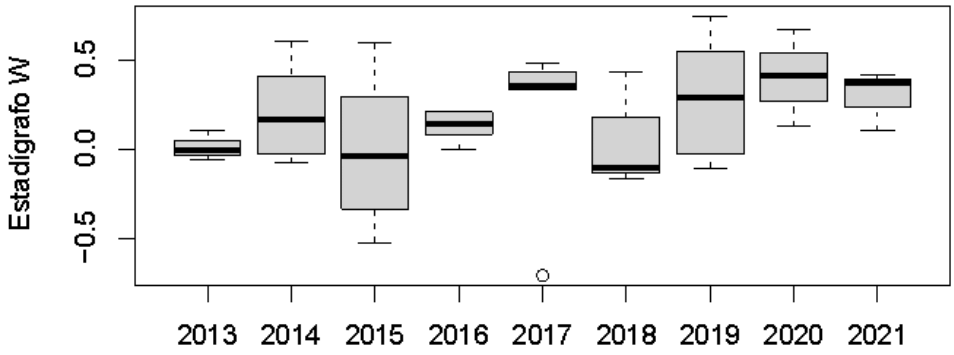


Figura 103 – Variación boxplot anual del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca y calculado por EnSoil

Fuente: Elaboración propia.

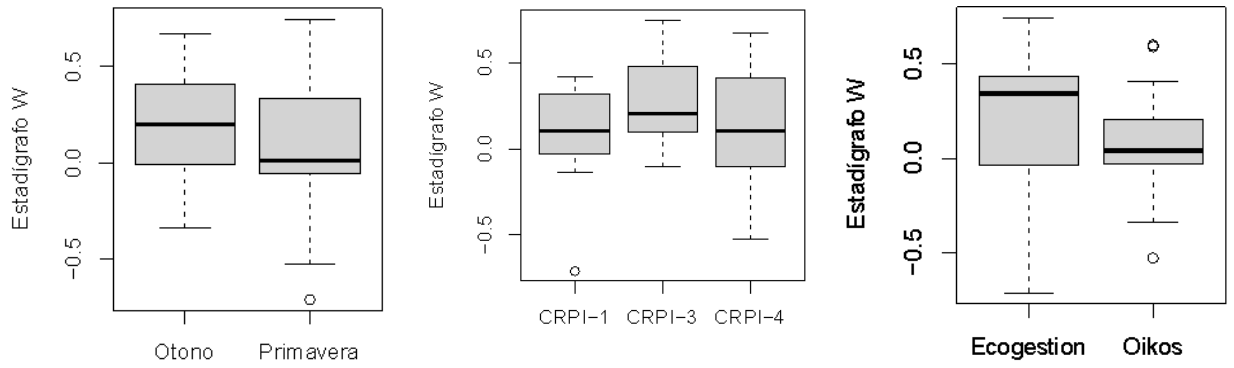


Figura 104 – Variación boxplot por estación (izquierda) y sitio de muestreo (al medio), y consultora (derecha) del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca y calculado por EnSoil

Fuente: Elaboración propia.

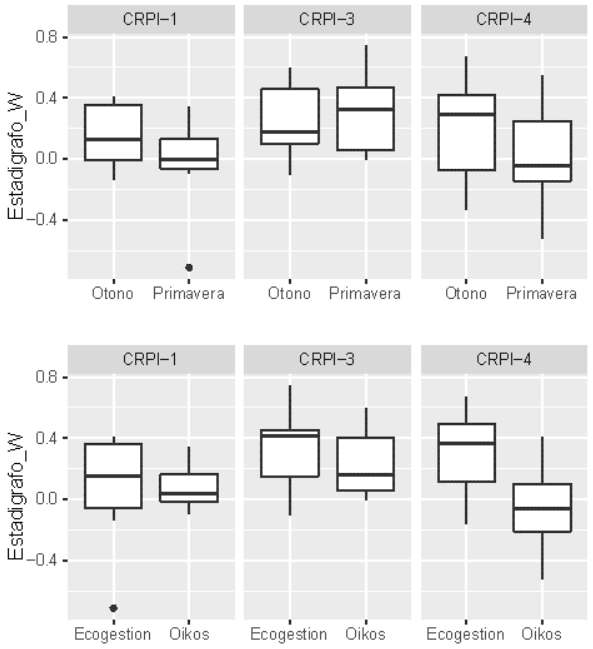


Figura 105 – Variación boxplot por estación de muestreo (arriba) y por consultora (abajo) ordenados por sitio de muestreo del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental de la empresa Corpesca y calculado por EnSoil

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) "Proyecto Reposición de Frente de Atraque Nº1, Segunda Etapa - Empresa Portuaria de Iquique"

3.3.3.1 Construcción bases de datos

La base de datos utilizada proviene de los informes del PVA "Proyecto Reposición de Frente de Atraque Nº1, Segunda Etapa - Empresa Portuaria de Iquique" R.E. Nº 089/2017 disponibles en el Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (https://snifa.sma.gob.cl/). Se obtuvieron 4 PVA caracterizando de forma estacional los ensambles macro-infaunales desde julio 2018 hasta mayo 2019 (Figura 107). Se extrajeron y compilaron parámetros poblacionales de abundancia y biomasa, y a nivel de ensamble como la riqueza, diversidad, uniformidad y estadístico W.

3.3.3.2 Resultados

La Figura 107 muestra la variabilidad entre estaciones ubicadas dentro (E1 y E2) y fuera del área de influencia operacional del Puerto de Iquique (E3 y E4) (ver ubicaciones en la Figura 106). Una de las estaciones control (E3 o POAL) exhibió una mayor riqueza, abundancia, biomasa y diversidad que las estaciones bajo influencia (E1 y E2). La abundancia exhibió la mayor dispersión hacia valores altos (Figura 108), removiéndose la estación E3 invierno 2018 con 8823 ind./m^2.

Figura 106 – Ubicación puntos de muestreo PVA Empresa Portuaria de Iquique

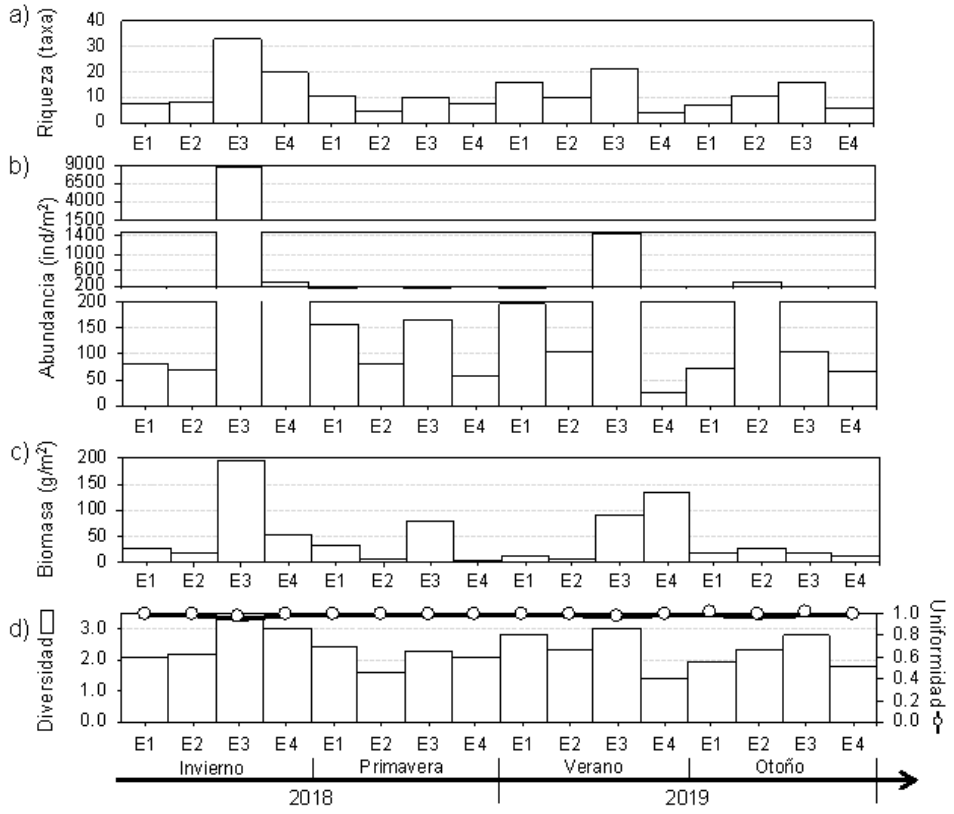


Figura 107 – Serie de tiempo 2018-2019 de riqueza (a), abundancias (b), biomasa (c), diversidad y uniformidad (d) de los ensambles macro-infaunales encontradas dentro (E1 y E2) y fuera (E3 y E4) del área de influencia operacional del Puerto de Iquique. Los años, temporadas y estaciones de muestreo son diferenciados.

Fuente: Elaboración propia.

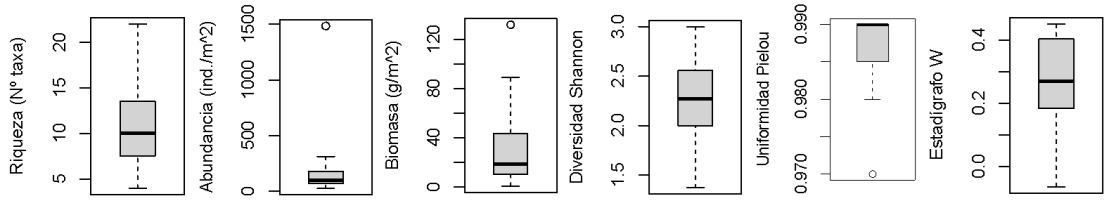


Figura 108 – Análisis boxplot de 6 variables respuesta de la macro-infauna submareal reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.2.1 Riqueza

La riqueza de los ensambles macro-infaunales osciló entre 4-22 taxa (Figura 108a), y con la E3 alcanzando los mayores valores durante el verano 2019 (Figura 109 y Figura 110).

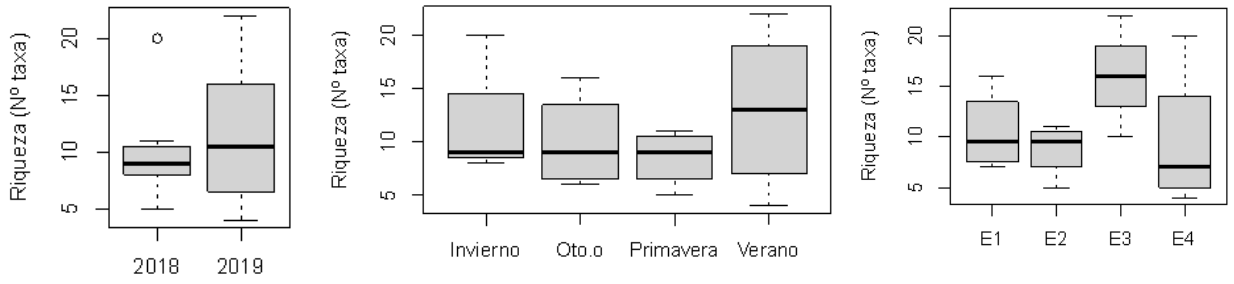


Figura 109 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

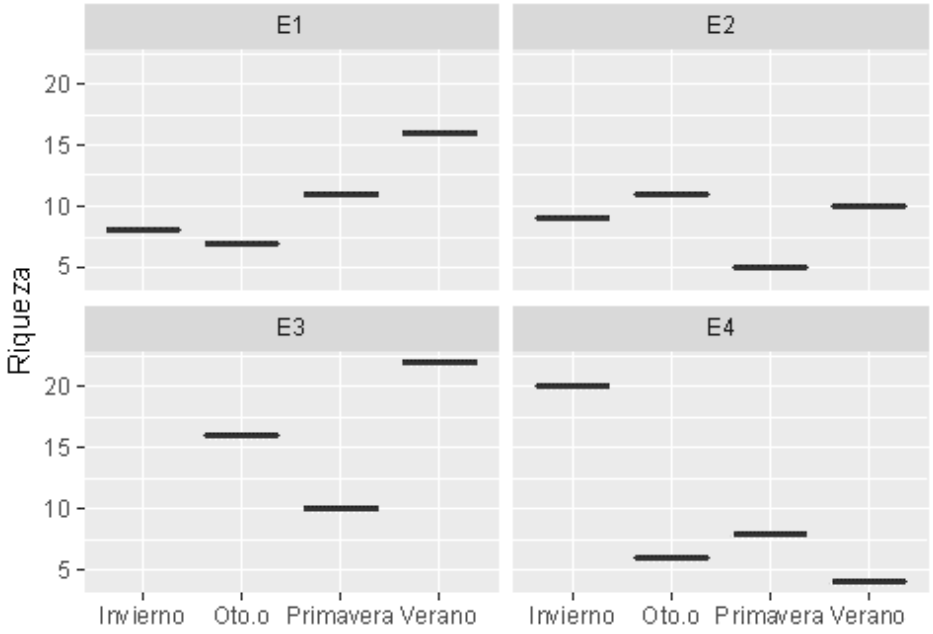


Figura 110 – Variación boxplot estacional por sitio de muestreo de la riqueza reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.2.2 Abundancias

Sin considerar el muestreo de verano 2019 alcanzando los 1483 ind./m^2 las abundancias variaron entre 27 y 313 ind./m^2 (Figura 111 y Figura 112).

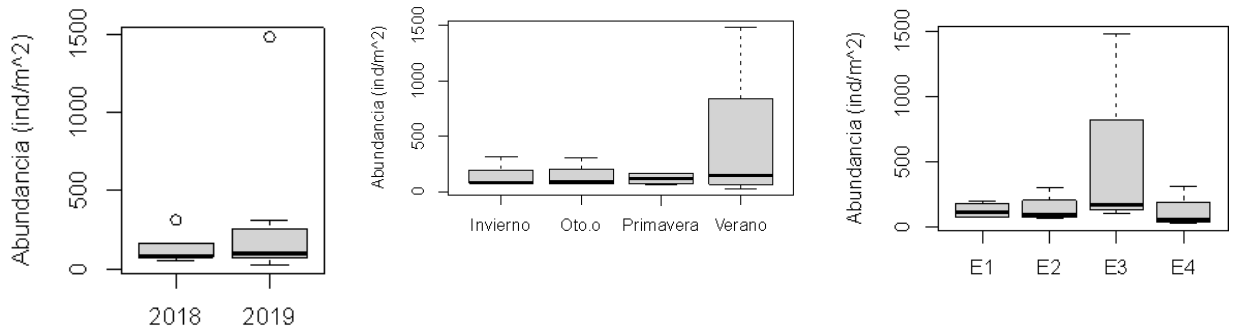


Figura 111 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

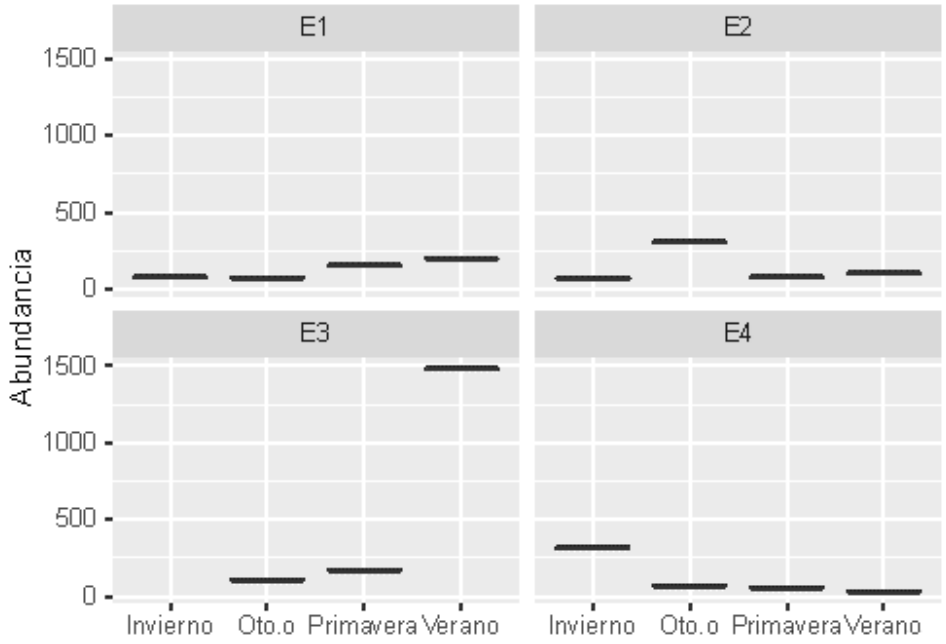


Figura 112 – Variación boxplot estacional por sitio de muestreo de las abundancias reportadas en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.2.3 Biomasa

La biomasa varió entre 0.7 y 131.7 g/m^2 mostrando una mayor dispersión en primavera y verano, y con una tendencia de aumento estacional (Figura 113 y Figura 114).

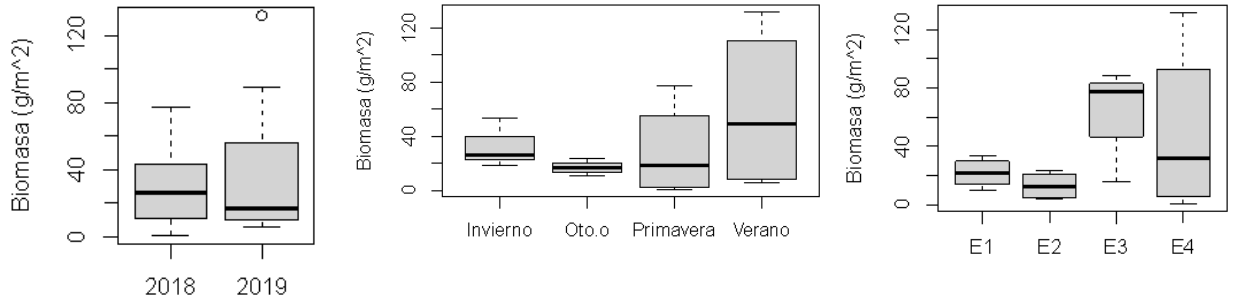


Figura 113 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de la biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

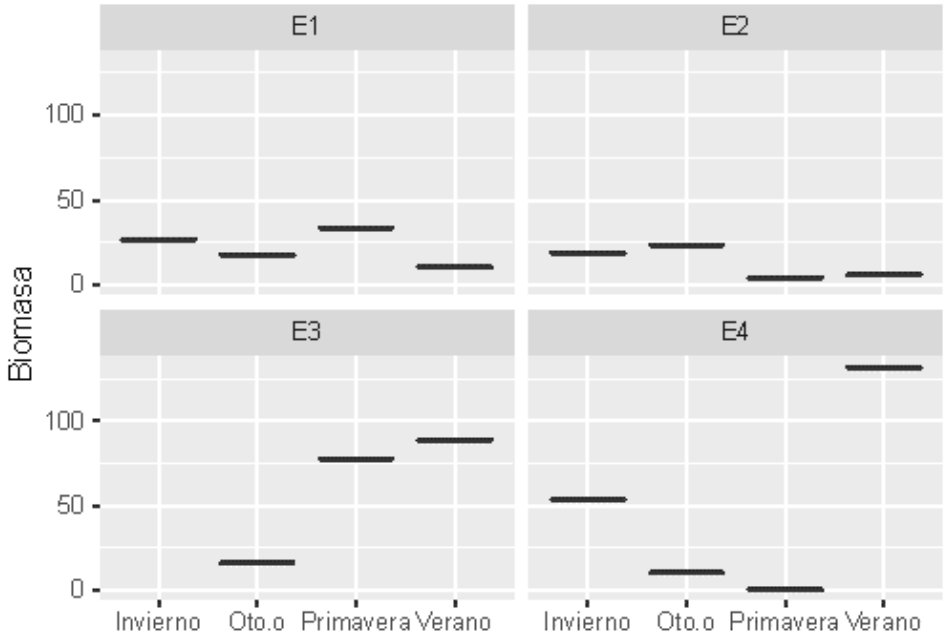


Figura 114 – Variación boxplot estacional por sitio de muestreo de biomasa reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.2.4 Diversidad y Uniformidad

La diversidad y uniformidad comunitaria variaron 1.4-3.0 y 0.97-0.99 respectivamente, y con la mayor dispersión de datos ocurriendo en otoño y verano 2019 (Figura 115, Figura 116y Figura 117).

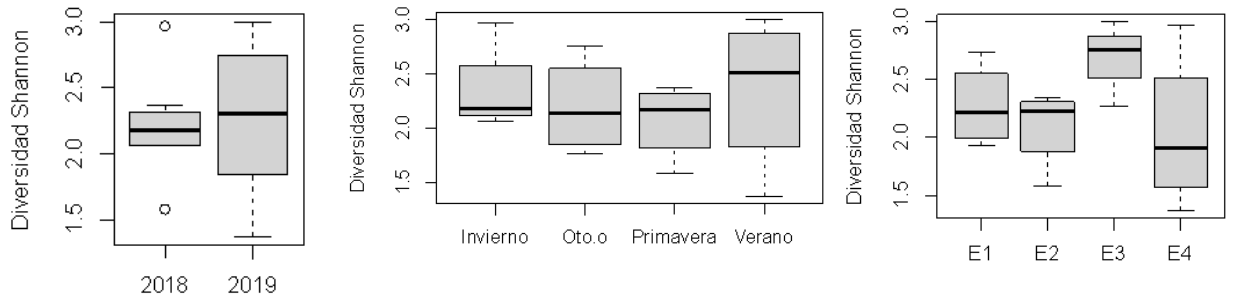


Figura 115 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de la diversidad reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique

Fuente: Elaboración propia.

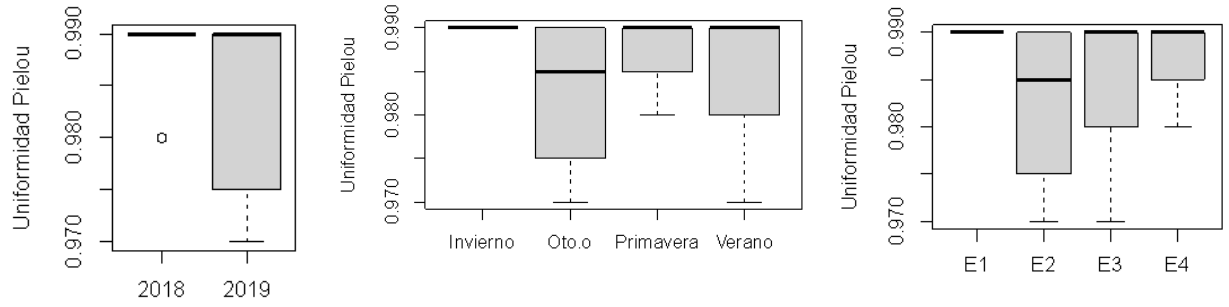


Figura 116 – Variación boxplot por año y estación y sitio de muestreo de uniformidad reportada en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique

Fuente: Elaboración propia.

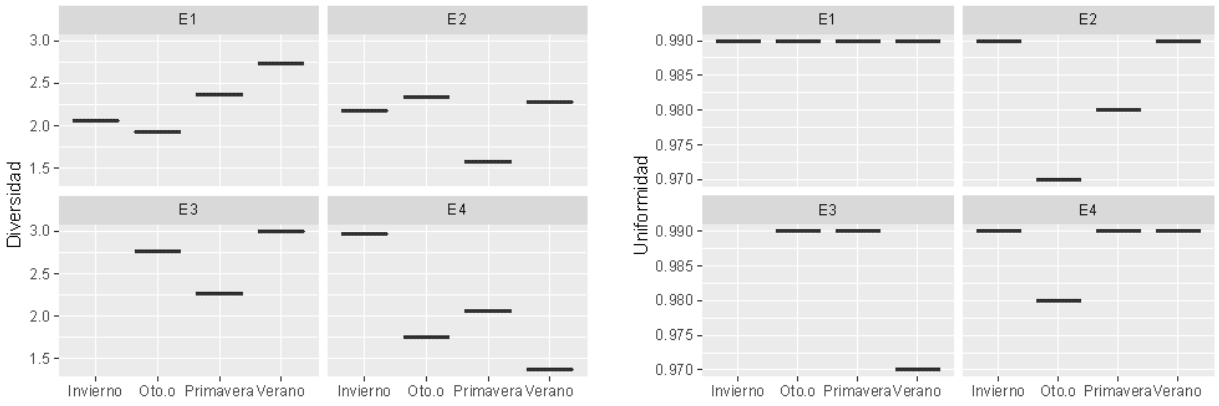


Figura 117 – Variación boxplot estacional por sitio de muestreo de la diversidad (izquierda) y uniformidad (derecha) reportados en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.2.5 Curvas ABC

El estadígrafo W, midiendo el grado de acoplamiento entre las curvas de abundancia y biomasa, varió entre -0.06 y 0.45 (Figura 108e). En general, se observa una perturbación leve de los ensambles macro-infaunales (Figura 118), siendo mayormente independiente de la temporada y estación de muestreo (Figura 119 y Figura 120).

Área Influencia	E1	+	+	+	+
	E2	+	+	+	+
P.O.A.L.	E3	+	+	−	+
Control	E4	−	−	+	+
Consultora					
Réplicas					
Draga	tipo				
	área				
Tamiz					
Área total					
Muestreo (PVA)		I	P	V	O
Año		2018		2019	

Consultora	Réplicas	Draga			Tamiz	Área total
		tipo	área			
SGS	3	Van Veen	0.1		1	1

Figura 118 – Comparación trimestral del estadígrafo W y metodologías de muestreo y análisis de datos del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

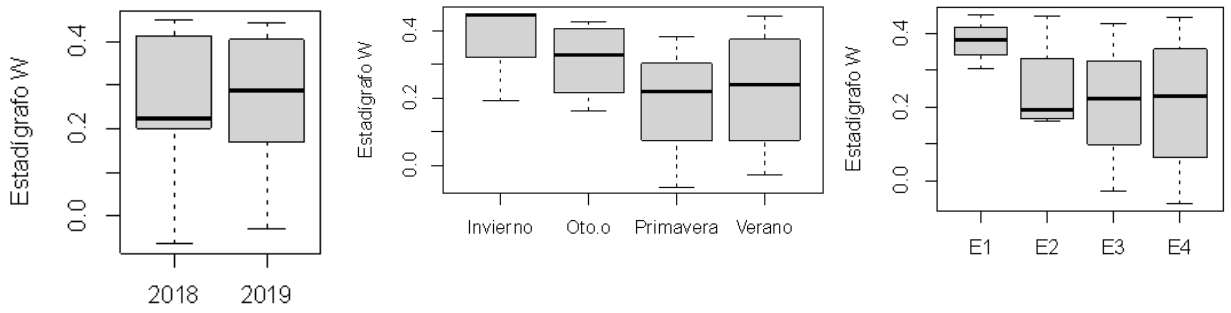


Figura 119 – Variación boxplot por año, y estación y sitio de muestreo del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

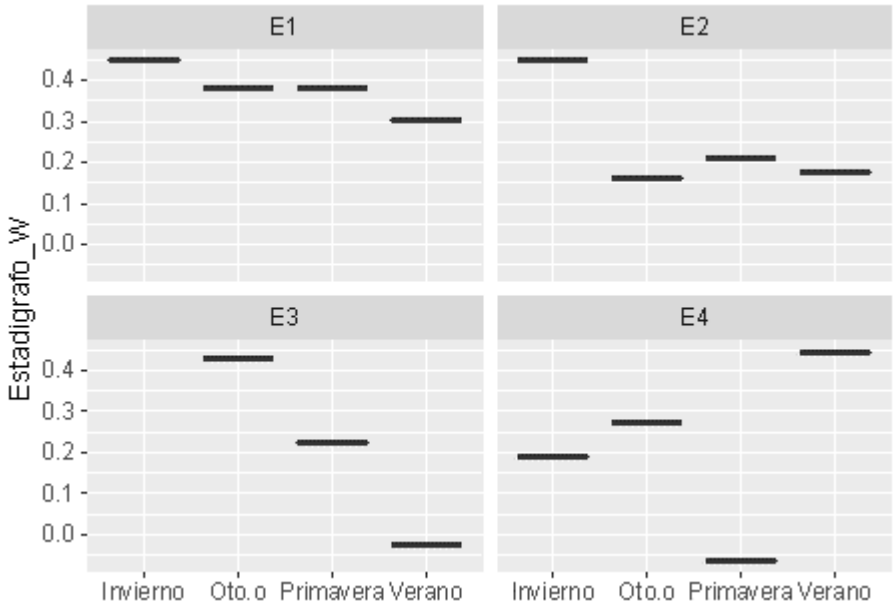


Figura 120 – Variación boxplot estacional por estación y sitio de muestreo del estadígrafo W reportado en el Programa de Vigilancia Ambiental del Puerto de Iquique
Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Comparación de series de tiempo y análisis de varianza

Para evaluar el grado de perturbación de los ensamblesmacro-infaunales asociado a la estacionalidad del muestreo y posición geográfica de los sitios de referencia y control se analizó la variación temporal y espacial del índice W (Clarke and Warwick, 1994) dentro y entre 3 unidades fiscalizables (Corpesca, Camanchaca y Puerto de Iquique) durante el periodo 2013-2021 (Figura 121).

En general, se puede observar desde una moderada a nula perturbación de los ensambles macro-infaunales en la bahía de Iquique (W ~ 0 --> W >> 0), con Corpesca mostrando desde 2016 una reducción de la perturbación asociada a un aumento en diversidad, comparado con una mayor dispersión del índice W de Camanchaca hacia una mayor y menor perturbación inversamente relacionada con la diversidad, y con el Puerto de Iquique exhibiendo un bajo impacto ambiental del ensamble macro-infaunal sin una relación clara con su diversidad (Figura 121a).

Al ordenan las estaciones por su distancia geográfica, en grados latitud, para Corpesca y Camanchaca (con el control ubicado hacia el norte y sur respectivamente), y longitudinal para el Puerto de Iquique (ver mapa en Figura 121), esta variación parece ser similar entre sitios referencial y control (Figura 121b). Al analizar en conjunto esas 3 unidades fiscalizables (Figura 122), la variación en el índice W a lo largo del periodo de estudio resulta dominado por el muestreo trimestral de Camanchaca, y con su sitio control quedando separado hacia el sur de todas las otras estaciones referenciales, así como del control de Corpesca por el norte (i.e., serían réplicas geográficas), y con el muestreo anual trimestral del Puerto de Iquique conectando ambos data-sets con una similar variación en el índice W (Figura 122b).

Para probar si existen diferencias significativas en el índice W promedio entre las estaciones y sitios de muestreo (referencial vs control) y consultora, se realizó un análisis de varianza de 1 vía (Andeva) y un test post-hoc de Tukey después de comprobar los supuestos de este método paramétrico (Figura 123). El análisis

confirmó que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) en los W promedios entre las estaciones y sitios de muestreo para las 3 unidades fiscalizables, pero estos si son diferentes entre las consultoras ambientales con los W promedio de Ecogestión siendo significativamente mayores que Oikos, MS y UAP tanto para el PVA de Corpesca y Camanchaca ($p < 0.05$; Figura 123).

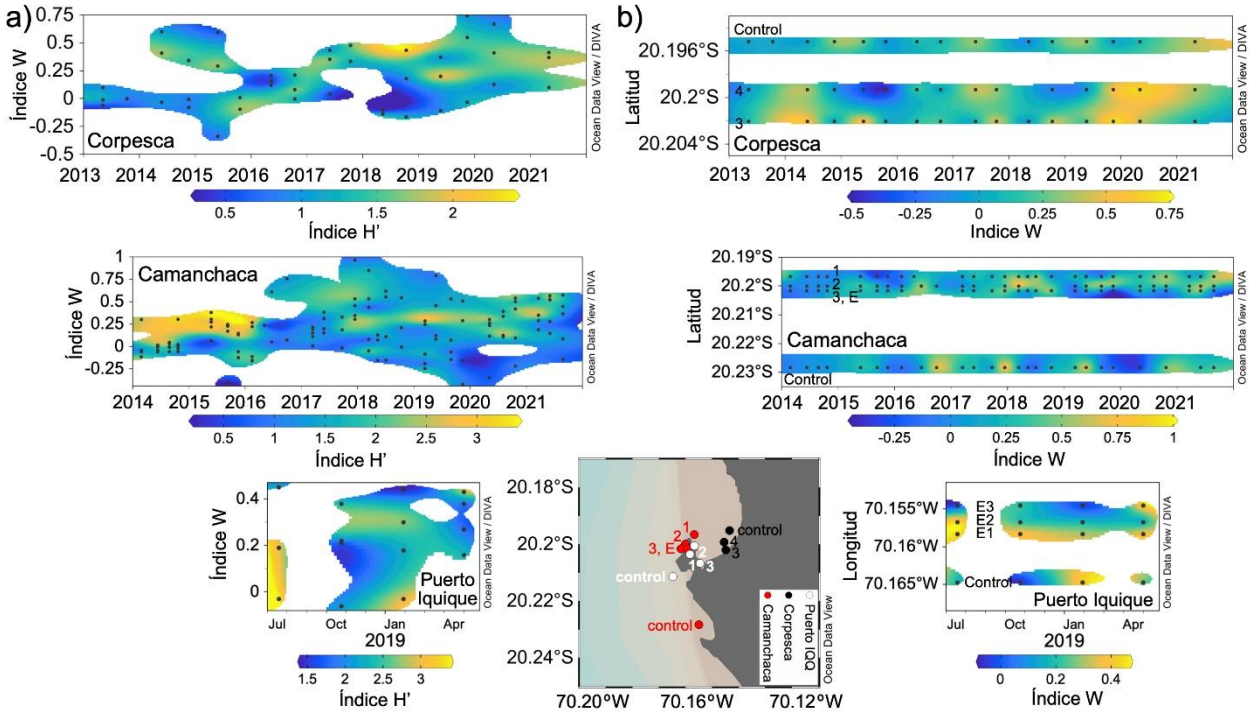


Figura 121 – Serie de tiempo 2013-2021 del índice W y su relación con índice H' (a) y posición geográfica de los sitios de referencia y control (b) asociados al Programa de Vigilancia Ambiental de las empresas Corpesca, Camanchaca, y Puerto de Iquique. Mapa y Data-Interpolation Variational Analysis (DIVA) fueron producidos con Ocean Data View (Schiltzer, 2018).

Fuente: Elaboración propia

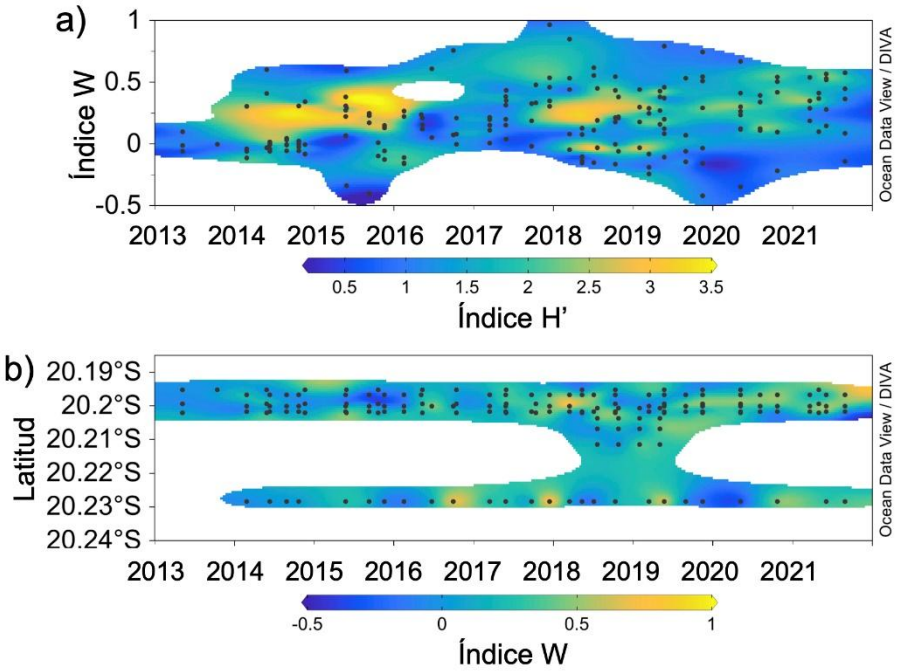


Figura 122 – Serie de tiempo 2013-2021 del índice W en relación con la diversidad macro-infaunal (a) y posición geográfica de los sitios de muestreo de las 3 unidades fiscalizables (Camanchaca, Corpesca y Puerto de Iquique). Data-Interpolation Variational Analysis (DIVA) fueron producidos con Ocean Data View (Schiltzer, 2018).

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Programa de Vigilancia Ambiental

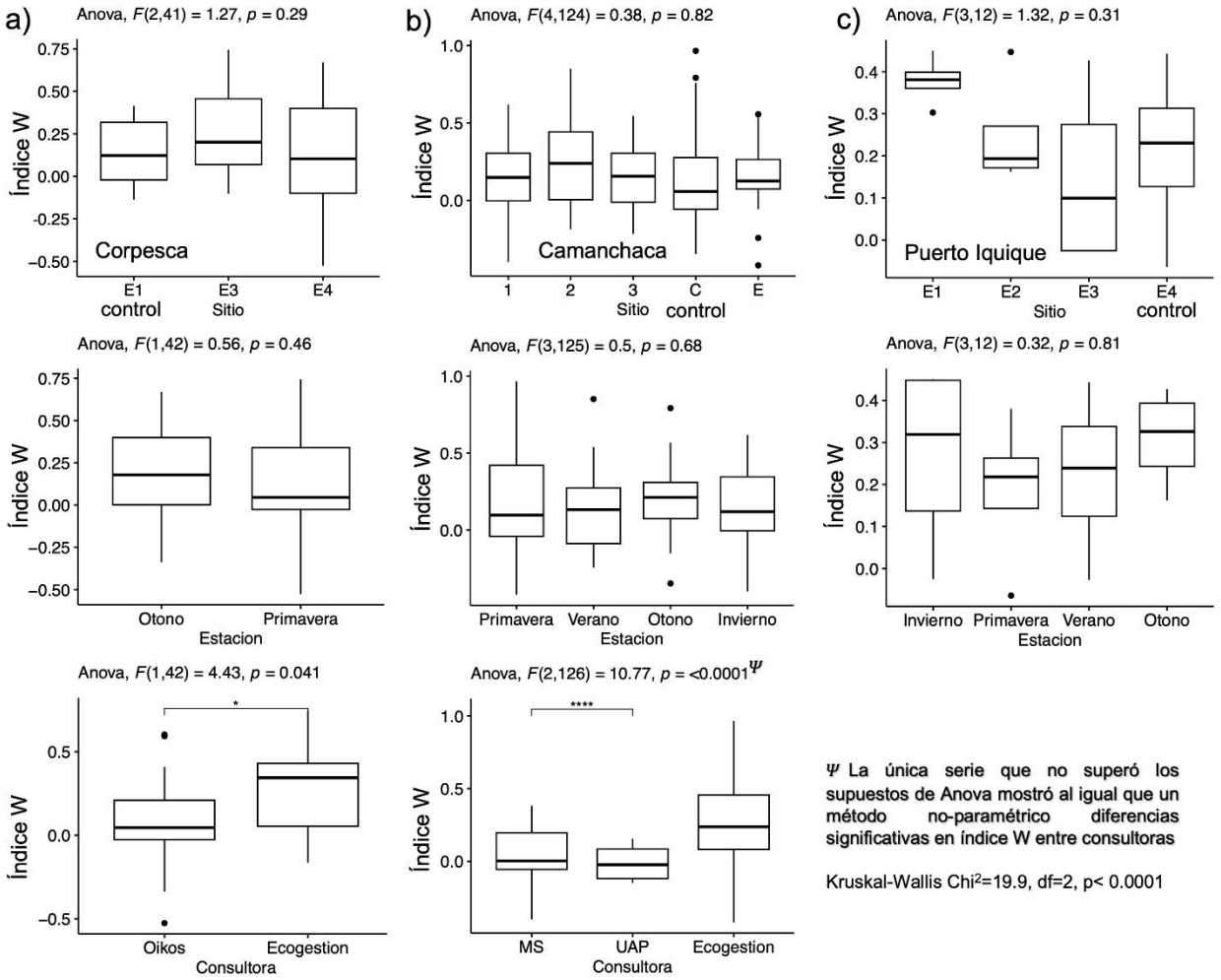


Figura 123 – Resultados del análisis de varianza de 1 vía y de Tukey buscando diferencias significativas en el índice W entre sitio(s) (referencia vs control) y estaciones de muestreo (otoño, invierno, primavera, verano) y consultoría asociada al Programa de Vigilancia Ambiental de Camanchaca a), Corpesca b) y el Puerto de Iquique c). Sobre cada serie el valor F y p son mostrados

Fuente: Elaboración propia.

4 Inventario detallado y estimación de la carga aportada por fuentes difusas y puntuales identificadas en la bahía de Iquique

4.1 Identificación de fuentes emisoras de residuos líquidos

A partir de la información disponible en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), y en el Sistema Nacional de Información Fiscalización Ambiental (SNIFA), se identificaron cuatro empresas que reportan descargas de residuos líquidos a las aguas marinas dentro del área de estudio de la presente consultoría. La ubicación de estas fuentes se indica en la Figura 124 siguiente. Estas cuatro fuentes corresponden a “Corpesca S.A.”, “Aguas del Altiplano S.A.”, “Compañía Pesquera Camanchaca S.A.” y la empresa “Servicios y Refinerías del Norte S.A”. Cabe destacar que la Compañía Eléctrica Tarapacá S.A. se encuentra ubicada a 60 km al sur de la Bahía de Iquique por lo que se encuentra fuera del área de estudio.

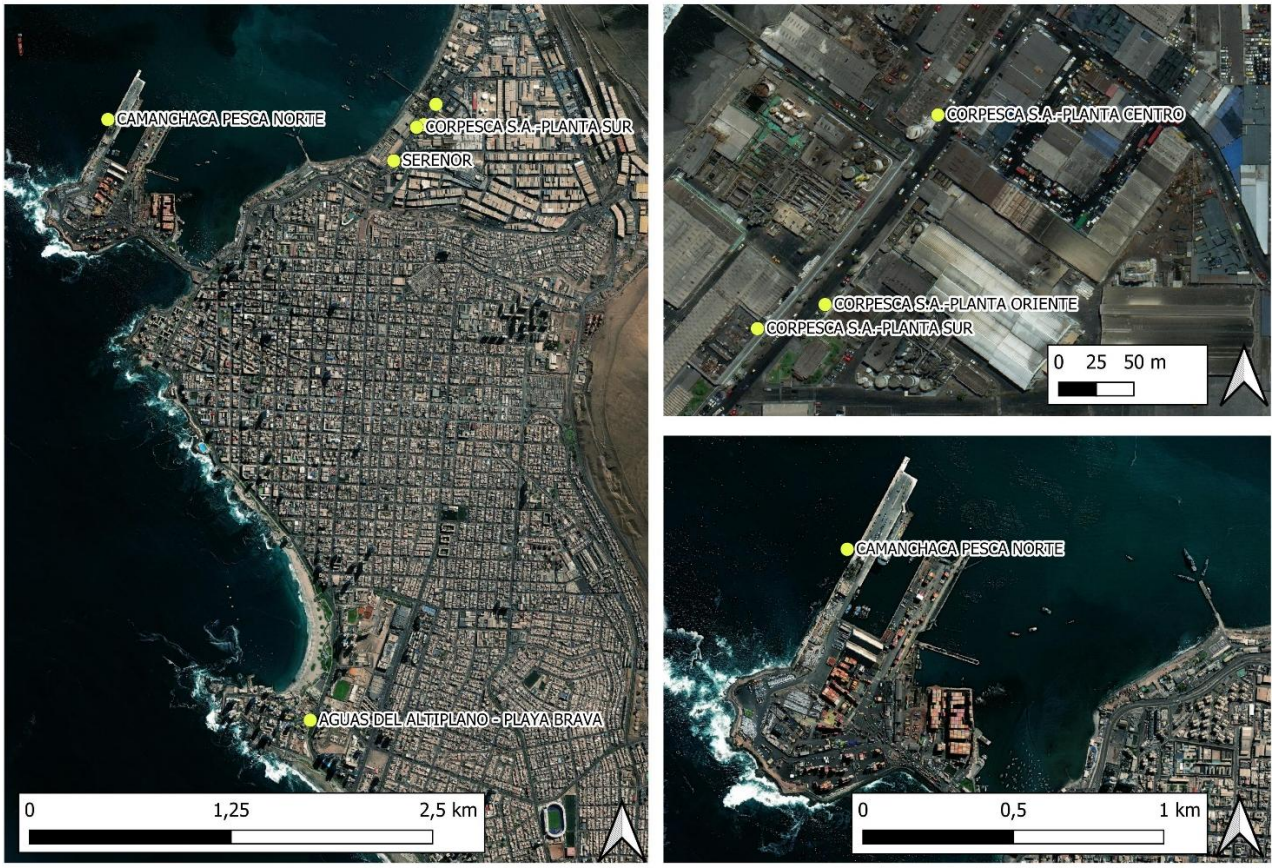


Figura 124 – Ubicación fuentes emisoras a cuerpos de agua marítimos en área del proyecto
Fuente: RETC y SNIFA

En las secciones a continuación se realiza una ficha de caracterización general de las cuatro empresas identificadas y que reportan emisiones al mar de la Bahía de Iquique. En cada una de las secciones se expone además la información recopilada sobre la calidad fisicoquímica de las emisiones líquidas vertidas al mar. En la sección posterior se incorpora un análisis en base a las emisiones reportadas por estas empresas entre los años 2006 y 2020 en el RETC.

4.1.1 CORPESCA S.A.

Se presenta a continuación la ficha de caracterización de la fuente emisora CORPESCA S.A.

Tabla 23 – Ficha de caracterización de CORPESCA S.A.

Nombre	CORPESCA	
Empresa	CORPESCA S.A.	
Código industrial Internacional Uniforme (CIIU4)	Pesca extractiva: y servicios relacionados	Elaboración y conservación de pescado y producto de pescado
Rubro RETC	Pesca	Otras industrias manufactureras
Años reportados en RETC	2007, 2008, 2012, 2014 al 2019 (En total 9 años)	
Plan de Vigilancia ambiental en SNIFA	Entre años 2013 y 2021	
Año de inicio de actividades	1999	
Descripción de las actividades	Empresa pesquera industrial que opera en el norte de Chile, con operaciones en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. Su principal objetivo es la explotación de la industria pesquera y sus derivados, elaboración y comercialización de harina y aceite de pescado, administración de activos pesqueros, mantención y reparación de naves pesqueras, acuicultura, servicios de depósitos, almacenamiento, pesaje y logística en despacho de graneles, refinar e hidrogenar aceite de pescado, entre otros[14]. En Iquique se encuentran las instalaciones para la elaboración de harina y aceite de pescado, y la planta conservadora. Se identifican cuatro grandes sectores de instalación Planta Centro, Planta Sur, Planta Oriente y Planta Conservadora. Además, posee 10 concesiones marítimas en la región.	
Otros antecedentes	En Iquique cuenta con una Planta de Tratamiento de Riles. Corpesca S.A produce el 82% de la harina de pescado de la zona norte de Chile y el 28% a nivel nacional. El año 2021 operó con 23 barcos pesqueros de alta mar con una bodega total de 9.555 m^3. Corpesca S.a. es propietaria de licencias para la captura de recursos de anchoveta, sardina española y jurel dentro de la unidad de pesquería de Arica y Parinacota hasta Antofagasta. Empresas filiales y coligadas: Centro de Investigación Aplicada del Mar S.A.; Astilleros Arica S.A.; Golden Omega S.A.; Comercial Anigsa Ltda.; Comunicaciones y Ediciones Ltda. El 1 de enero de 2021 se disolvió la sociedad Servicios de Refinerías del Norte S.A. filial de Corpesca S.A, pasando ésta a quedar fusionada con Corpesca S.A.	

[14] Memoria Anual de Corpesca año 2021.

Dentro de los registros del RETC presenta múltiples ubicaciones de sus plantas, las que se representan en la Figura 125. Considerando lo anterior, para el tratamiento de datos se representaron las plantas como una sola entidad identificada como CORPESCA S.A., que considera todas las emisiones reportadas para las diferentes plantas.

Figura 125 – Ubicación de plantas de CORPESCA S.A. en Iquique

4.1.2 Aguas del Altiplano S.A.

Se presenta a continuación la ficha de caracterización de la fuente emisora Aguas del Altiplano S.A.

Tabla 24 – Ficha de caracterización de Aguas del Altiplano S.A.

Nombre	Aguas del Altiplano	
Empresa	Aguas del Altiplano S.A.	
Código industrial Internacional Uniforme (CIIU4)	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	Captación, depuración y distribución de agua
Rubro RETC	Suministro y tratamiento de aguas	-
Años reportados en RETC	2006 al 2010, 2012 al 2019 (En total 13 años)	
Descripción de las actividades	Empresa encargada de servicios sanitarios, principalmente abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas. En la comuna de Iquique constan de dos emisarios submarinos, Emisario de Punta Negra (1340 metros mar adentro) y Emisario Playa Brava (1500 metros mar adentro).	

Plan de Vigilancia ambiental en SNIFA	Sin Plan de vigilancia Ambiental. Se identificó un plan de muestreo de efluentes para el Emisario de Punta Negra y una para el Emisario Playa Brava según lo reportado por la SISS en cumplimiento del DS 90, pero la información no se encuentra disponible en línea.
Otros antecedentes	Se han reportado roturas de los emisarios submarinos de Playa Brava en el año 2020.

Los reportes del RETC referentes a Aguas de Altiplano S.A. no identifican claramente los emisarios de descarga, y al igual que el caso anterior, se representarán todas las emisiones como solo una fuente de emisión dada la imposibilidad de separar las emisiones según emisarios. En la Figura 126 se muestra la ubicación del punto de descarga de los dos emisarios submarinos reportados como activos en la base de datos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios.

Figura 126 – Ubicación del punto de descarga de emisarios submarinos de Aguas del Altiplano en Iquique

4.1.3 Compañía Pesquera Camanchaca S.A.

Se presenta a continuación la ficha de caracterización de la fuente emisora Camanchaca S.A.

Tabla 25 – Ficha de caracterización de Camanchaca S.A.

Nombre	Camanchaca Pesca Norte	
Empresa	Compañía Pesquera Camanchaca S.A.	
Código industrial Internacional Uniforme (CIIU4)	Elaboración y conservación de pescado y producto de pescado	Elaboración y conservación de pescado, crustáceos y moluscos
Rubro RETC	Pesca	Otras industrias manufactureras
Años reportados en RETC	2006 al 2008, 2010, 2013 al 2019 (En total 11 años)	

Plan de Vigilancia ambiental en SNIFA	Entre años 2013 y 2022
Año de inicio de actividades	Compañía se inicia el año 1963. El año 1993 inicia operaciones en la zona norte con la construcción de una planta de harina de pescado en Iquique.
Descripción de las actividades	Es una empresa con más de 50 años de funcionamiento, actualmente se desarrolla en las áreas de cultivos de salmones, industria pesquera para consumo humano y cultivos de mejillones y abalones. En Iquique desarrolla la pesquería de anchoveta principalmente, poseyendo un 24% de las licencias para pesca de anchoveta, para luego la totalidad de este producto destinarlo a producción de aceite de consumo humano y producción de harina para el consumo animal y humano. Durante el año 2021 procesó en total 57 mil toneladas de anchoveta, 11 mil toneladas de jurel y 23 mil toneladas de caballa[15]
Instalaciones	En la comuna de Iquique cuenta con una planta de harina y aceite de pescado, parte del área de la empresa Camanchaca Pesca Norte. Se identifica un emisario submarino como parte de las instalaciones, donde el punto de descarga se encuentra a aproximadamente 500 metros del puerto. Este emisario submarino además cuenta con un sistema de pre tratamiento para separación de sólidos, recuperación de aceites y grasas.
Otros antecedentes	Durante 2021, la Corte Suprema dictaminó la prohibió de operación de la flota industrial dentro de las 5 millas desde la costa; producto de un recurso puesto por pescadores artesanales del sector. En el año 2020 se llegó a un acuerdo con la Empresa Portuaria de Iquique para extender las operaciones de Camanchaca hasta el año 2030 en el puerto.

En base a la información disponible en DIA se ubicó el punto de descarga del emisario submarino en el sector que se indica en la Figura 127.

[15] Memoria Anual Camanchaca S.A. año 2021.

Figura 127 – Ubicación del punto de descarga de Camanchaca Pesca Norte en Iquique

4.1.4 Servicios y Refinerías del Norte S.A. 2013 – 2019

Se presenta a continuación la ficha de caracterización de la fuente emisora Servicios y Refinerías del Norte S.A.

Tabla 26 – Ficha de caracterización de Servicios y Refinerías del Norte S.A.

Nombre	Servicios y Refinerías del Norte S.A.	
Empresa	Servicios y Refinerías del Norte S.A.	
Código industrial Internacional Uniforme (CIIU4)	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal	Pesca marítima
Rubro RETC	Pesca	Pesca y Acuicultura
Años reportados en RETC	2013 al 2019 (En total 7 años)	
Plan de Vigilancia ambiental en SNIFA	No posee Plan de Vigilancia Ambiental	
Año de inicio de actividades	Empresa constituida el 25 de junio de 1964.	
Descripción de las actividades	Empresa encargada de prestación de servicios de refinación, adquisición y venta de aceite de pescado. Prestación de servicios de control de calidad y análisis de harina y aceite de pescado.	
Instalaciones	Su principal planta productora se encuentra en Iquique (Figura 128)	
Otros antecedentes	El 1 de enero de 2021 se disolvió la sociedad Servicios de Refinerías del Norte S.A. filial de Corpesca S.A, pasando ésta a quedar fusionada con Corpesca S.A.	

Figura 128 – Ubicación según RETC de fuente emisora Servicios y Refinerías del Norte S.A

4.2 Caracterización química de fuentes emisoras de residuos líquidos

Mediante la información disponible en el RETC se detallará la caracterización principalmente química de las emisiones para cada una de las fuentes identificadas, en base a las emisiones anuales en toneladas para diferentes analitos reportados. Además, cada fuente será descrita en base a la información disponible en SNIFA, RETC y SEIA.

Algunos de los parámetros reportados por estas cuatro empresas en el RETC son: aceites y grasas, aluminio, arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo total, cromo hexavalente, estaño, fluoruros, hidrocarburos volátiles, manganeso, mercurio, nitrógeno total Kjeldahl, níquel, plomo, selenio, sulfuros, sustancias activas de azul de metileno, sólidos suspendidos totales, zinc, índice de fenol, cloruros, fósforo total, hidrocarburos fijos, hidrocarburos totales, hierro / hierro disuelto, molibdeno, sulfatos, tolueno, boro, nitritos más nitratos, pentaclorofenol, tetracloroeteno, triclorometano y xileno. Cabe destacar que no todas las empresas reportan cada uno de estos parámetros, ni tampoco lo realizan de forma constante a través de los años; siendo parte del análisis definir cuáles son significativos. La base de datos compilada de la información obtenida de RETC se encuentra en el Anexo 9.

4.2.1 CORPESCA S.A.

Para el caso de CORPESCA S.A ninguna de las seis Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) presentadas por la empresa abordaron temáticas de caracterización de emisiones en la Bahía de Iquique, fundamentadas en la no emisión de residuos líquidos o su correspondiente descarga como aguas servidas al alcantarillado. Debido a lo anterior no existe información relevante para la caracterización química en las

DIA. Se adjunta en la Tabla 27 el nombre de las DIA reportadas en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y su fecha de aprobación.

Tabla 27 – Declaraciones de Impacto Ambiental presentadas por CORPESCA en comuna de Iquique

Nombre Declaración de Impacto Ambiental	Fecha de aprobación
Instalación de un Centro de Cultivo en el Mar para la Engorda Comercial de Ostión del Norte en el Sector comprendido entre Farallones Torrecillas y Caleta Ciego Ernesto, Iquique - I Región	01 de diciembre de 2004
Instalación De Un Centro De Cultivo En El Mar Para La Engorda Comercial De Ostión Del Norte En Caleta Ciego Ernesto, Sector Sur De Pabellón De Pica, Iquique - I Región	14 de enero de 2005
Transporte y Almacenamiento Temporal de Aceite Residual Base Arica	17 de octubre de 2006
Suministro petróleo diésel naves de pesca desde lanchón Pelagos	18 de mayo de 2007
Transporte y Almacenamiento Temporal de Aceite Residual	12 de noviembre de 2013
Nuevos Tanques de Almacenamiento de Combustible Base Iquique	14 de julio de 2015

Por otro lado, mediante la información reportada en el RETC se puede caracterizar a grandes rasgos el tipo de emisiones que realiza CORPESCA S.A. En la Figura 129 se observa la suma histórica total de emisiones anuales reportadas en el RETC por Corpesca S.A, expresado en porcentaje respecto al total de toneladas. Mediante este análisis se puede identificar las características de las emisiones reportas. En este caso más del 60% de las toneladas emitidas corresponden a cloruros, seguido por un 23.9 % de sólidos suspendidos totales, 8.6% de sulfatos y 3.1% de aceites y grasas. Cabe destacar sí, que posiblemente la mayoría de (o todas) las emisiones de cloruros y sulfatos correspondan al agua de mar utilizada para los procesos.

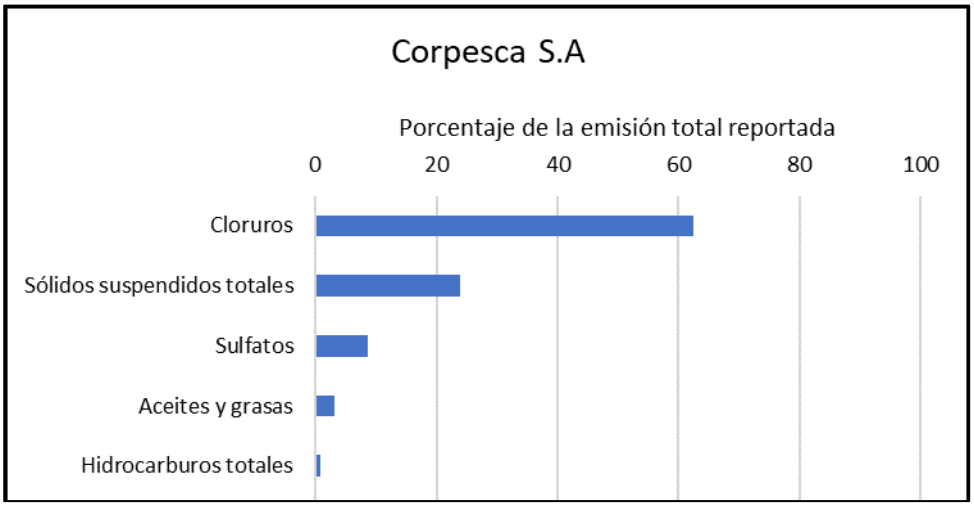


Figura 129 – Porcentaje de la Emisiones anuales total del periodo 2006 a 2020 para Corpesca S.A.
Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

Se presenta en la Figura 130 y Figura 131 las emisiones anuales entre el año 2006 y 2020 reportadas por Corpesca en RETC para analitos de interés. Se puede observar en primera instancia la falta de información entre los años 2009 y 2013. En cuanto a las toneladas anuales de aceites y grasas disminuyeron de un máximo de 634.5 toneladas en el año 2008 a 53.4 toneladas en el año 2020, observándose una tendencia

a la disminución; comportamiento similar al observado en sólidos suspendidos totales y zinc. Para el caso del cadmio se observa una emisión variable a lo largo del periodo. El cobre, hidrocarburos totales y plomo solo tienen reportes para los años 2007 y 2008 no reportándose sus emisiones actuales.

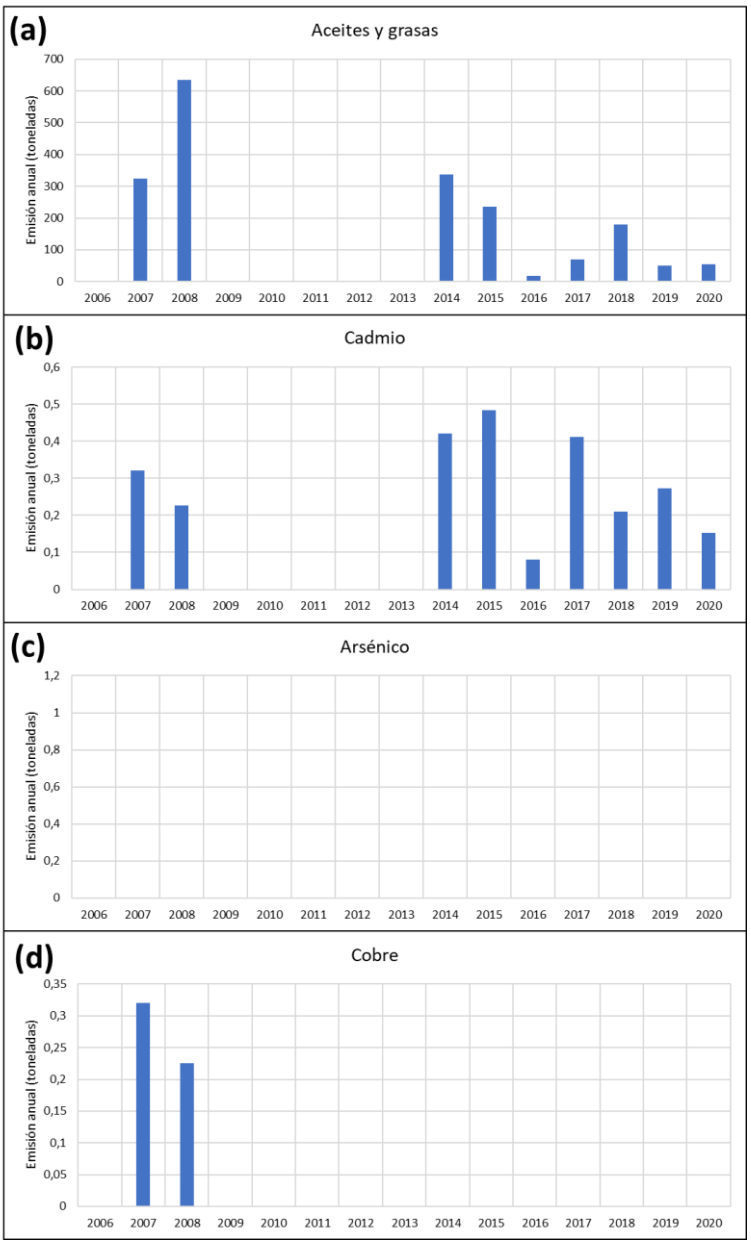


Figura 130 – Emisiones anuales de (a) aceites y grasas, (b) cadmio, (c) arsénico y (d) cobre para Corpesca
Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

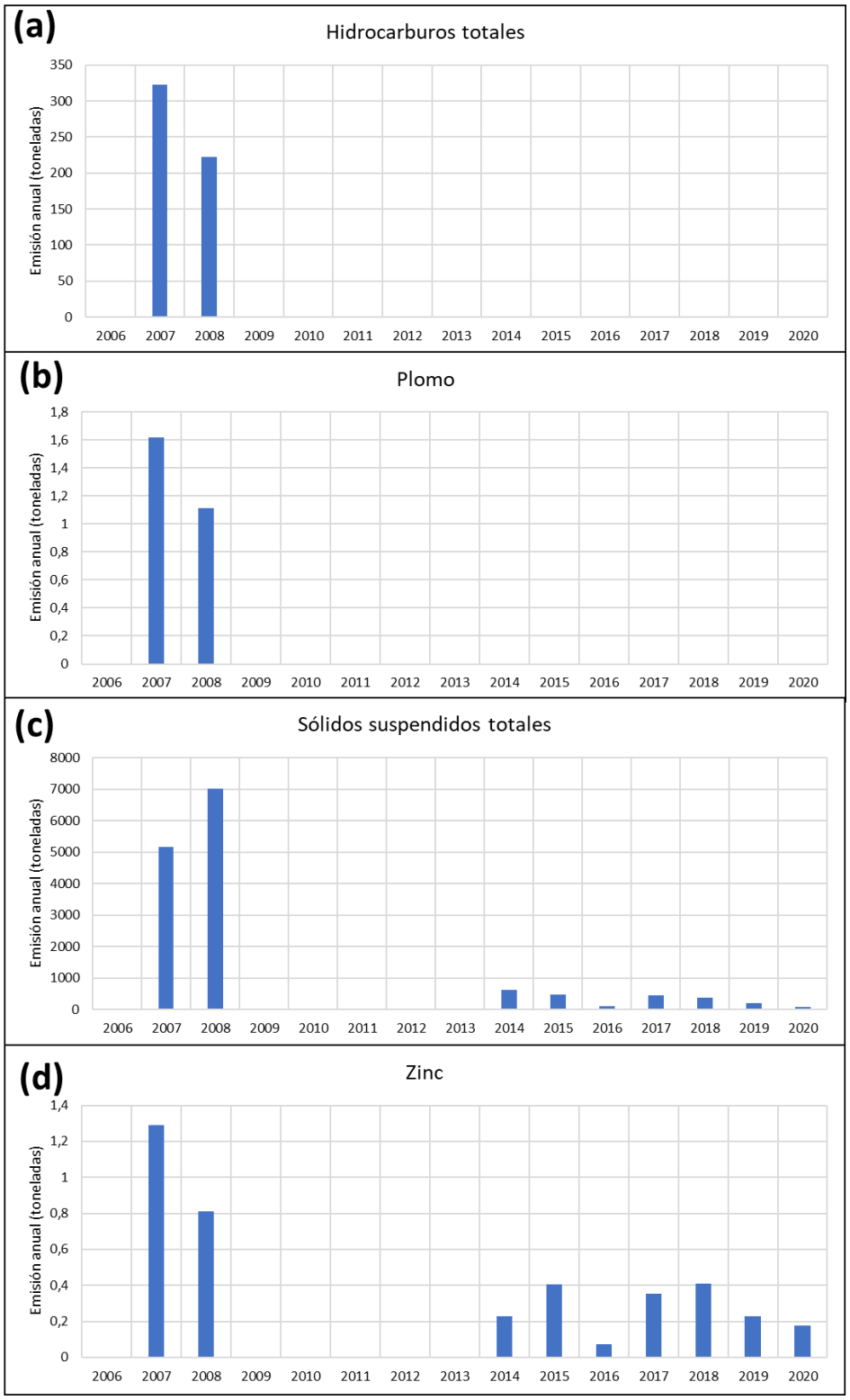


Figura 131 – Emisiones anuales de (a) hidrocarburos totales, (b) plomo, (c) sólidos suspendidos totales y (d) zinc para Corpesca S.A.

Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

4.2.2 Aguas del Altiplano S.A.

Para el caso de Aguas del Altiplano S.A de las seis DIA y Estudios de Impacto Ambiental (EIA) presentadas por la empresa, solo en la DIA "Cierre lagunas Plan Integral Alto Hospicio y modificación PTAS Playa Brava" se abordaron temáticas de caracterización de emisiones o de calidad de aguas en la Bahía de Iquique. Se adjunta en la Tabla 28 el nombre de las DIA y EIA reportados en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y su fecha de aprobación.

Tabla 28 – Declaraciones de Impacto Ambiental y Estudios de Impacto Ambiental presentados por Aguas del Altiplano S.A. en comuna de Iquique

Nombre DIA o EIA	Fecha de aprobación
Ampliación de Producción de Agua Potable de Iquique (EIA)	16 de septiembre de 1998
Modificación Alimentadora Sur de Iquique (DIA)	28 de julio de 1999
Ampliación de Modificación Alimentadora Sur de Iquique (DIA)	08 de octubre de 2001
Construcción Sistema de Alcantarillado de Alto Hospicio Iquique (DIA)	04 de marzo de 2002
Planta Elevadora Huayquique (DIA)	16 de septiembre de 2002
Cierre lagunas Plan Integral Alto Hospicio y modificación PTAS Playa Brava (DIA)	20 de junio de 2018

La DIA "Cierre lagunas Plan Integral Alto Hospicio y modificación PTAS Playa Brava" no presenta una caracterización química de los efluentes del emisario. Pero presenta dos modelaciones de la pluma de coliformes fecales para el Emisario de Playa Brava y el Emisario de Punta Negra, presentados en la Figura 132 y Figura 133, respectivamente. En ambas figuras se observa la isolínea blanca correspondiente a 1000 NPM/100 ml, correspondiente al nivel establecido en la NCh 1333 para aguas para actividades con contacto directo. Por otro lado, la pluma de coliformes fecales del emisario Playa Brava se observa sobre el punto de descarga a diferencia del emisario de Punta Negra que tiende a desplazarse hacia el norte de la bahía.

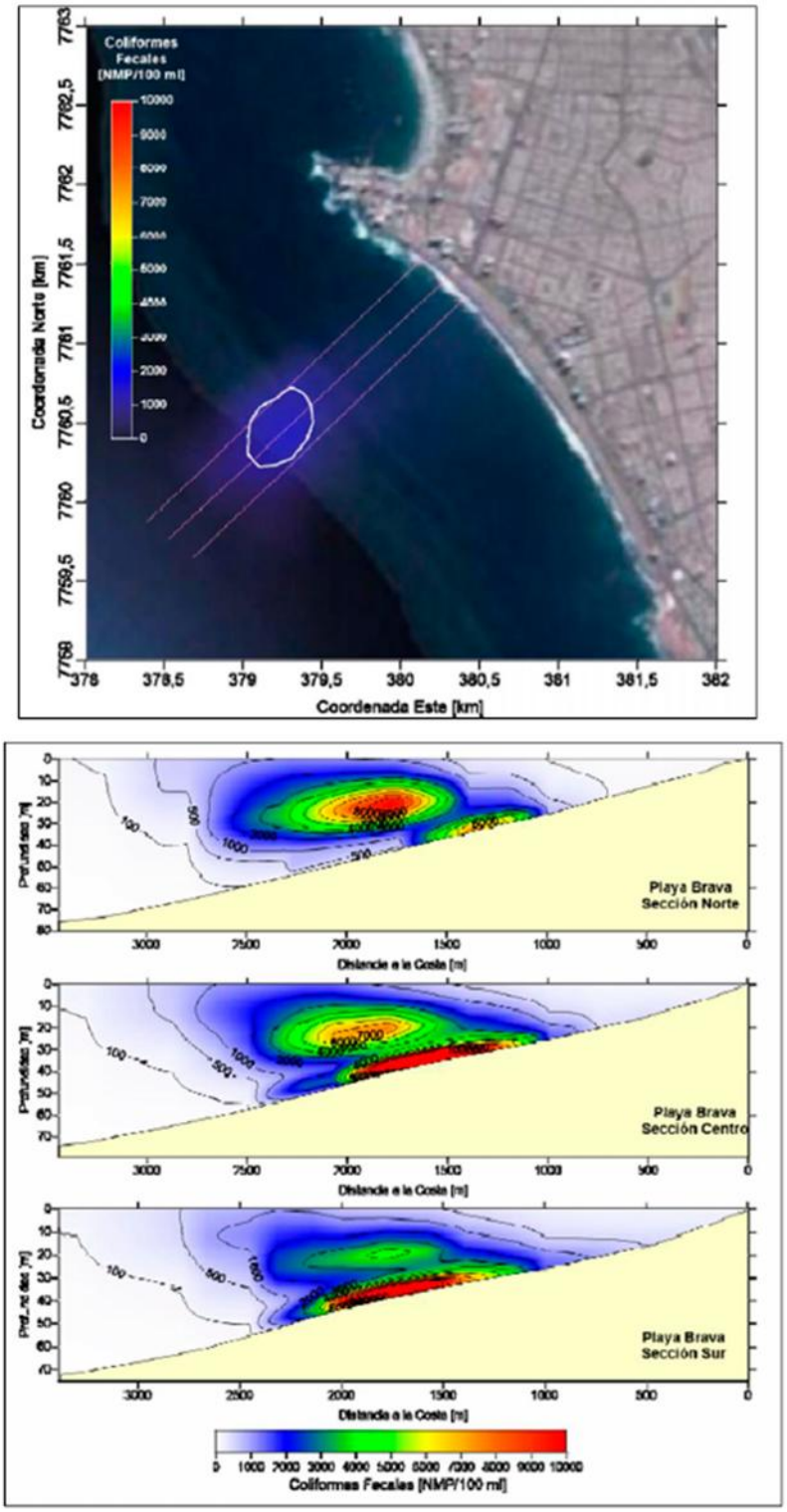


Figura 132 – Modelación de pluma de coliformes fecales en punto de descarga emisario Playa Brava
Fuente: DIA "Cierre lagunas Plan Integral Alto Hospicio y modificación PTAS Playa Brava".

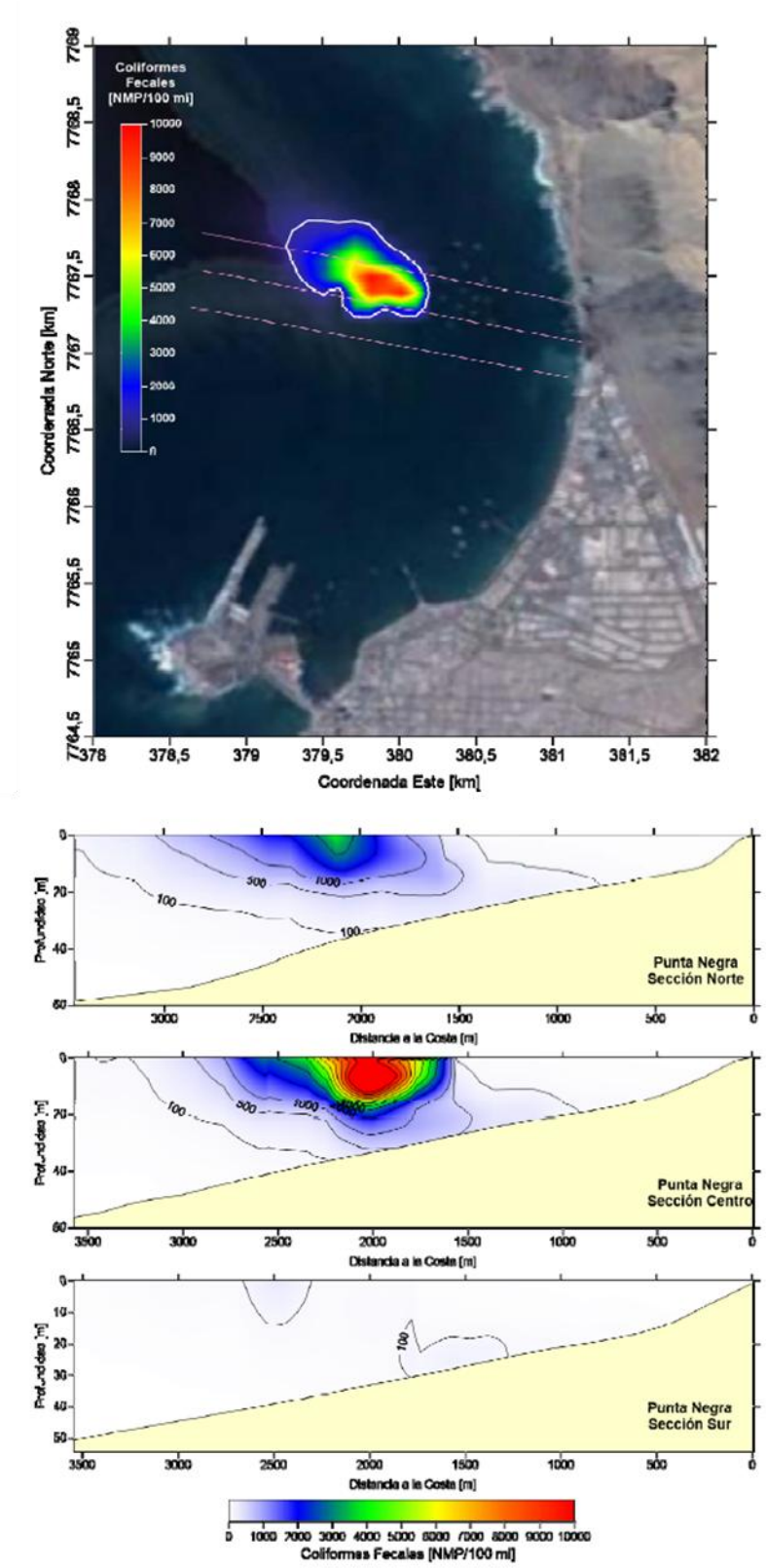


Figura 133 – Modelación de pluma de coliformes fecales en punto de descarga emisario Punta Negra
Fuente: DIA "Cierre lagunas Plan Integral Alto Hospicio y modificación PTAS Playa Brava".

Por otro lado, mediante la información reportada en el RETC se puede caracterizar a grandes rasgos el tipo de emisiones que realiza Aguas del Altiplano S.A. En la Figura 134 se observa la suma histórica total de emisiones anuales reportadas en el RETC por Aguas del Altiplano S.A., expresado en porcentaje respecto al total de toneladas. Mediante este análisis se puede identificar las características de las emisiones reportas, en este caso casi un 75% de las toneladas emitidas corresponden a sólidos suspendidos totales, seguido por un 14 % de aceites y grasas, 2.9% de hidrocarburos totales y 2.1% de sulfatos.

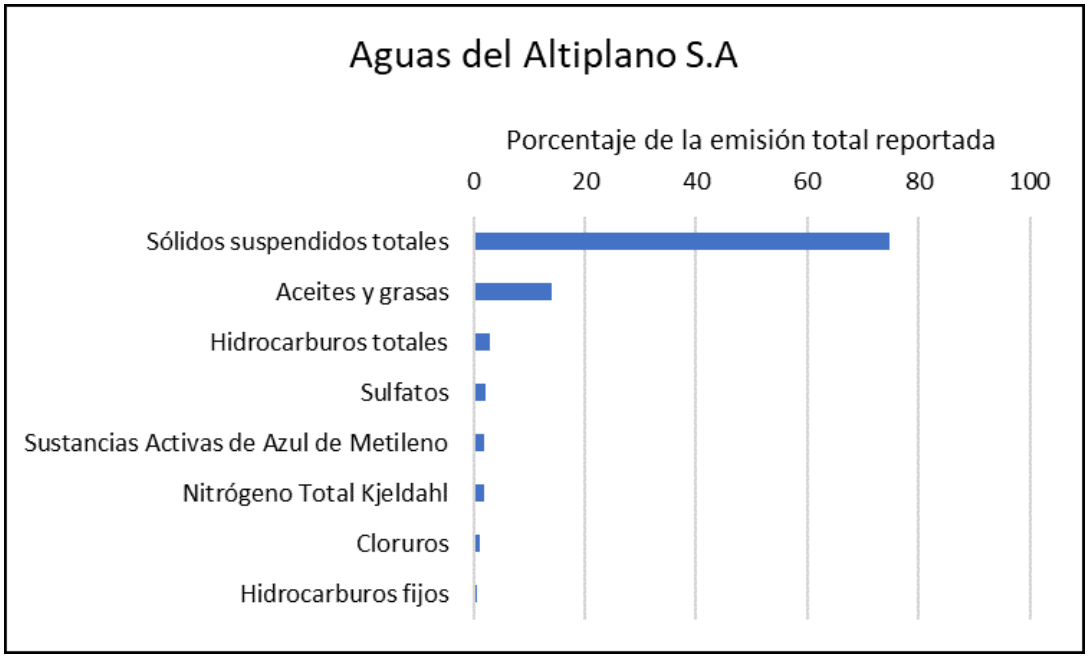


Figura 134 – Porcentaje de la Emisiones anuales total del periodo 2006 a 2020 para Aguas del Altiplano
Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

Se presenta en la Figura 135 y Figura 136 las emisiones anuales entre el año 2006 y 2020 reportadas por Aguas del Altiplano S.A. en el RETC para algunos analitos de interés. Se puede observar en primera instancia la falta de información para los años 2011 y 2020. En cuanto a las toneladas anuales de aceites y grasas se observa una variabilidad anual sin mostrar alguna tendencia. Situación similar para hidrocarburos totales, sólidos suspendidos totales y zinc. Para el caso del cadmio, plomo y cobre se observa una tendencia a la baja en las emisiones anuales, en especial a los registros de los años 2007 y 2008, para plomo y cadmio. El arsénico presenta un aumento considerable respecto a sus primeros registros en año 2009 con una emisión de 0,0004 toneladas para en el año 2019 alcanzar una emisión de 0,0554 toneladas; correspondiente a un aumento porcentual de más de 13000%.

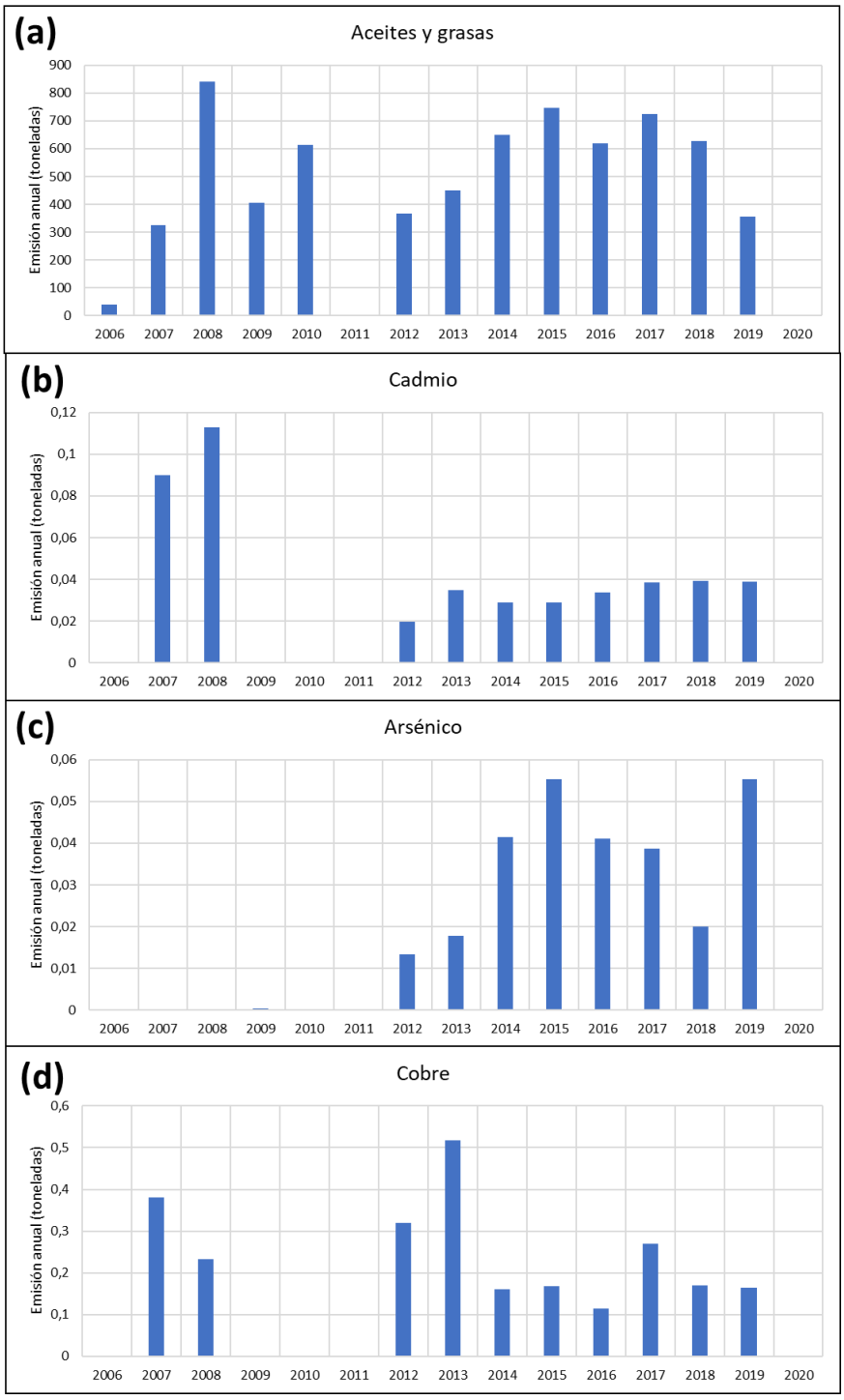


Figura 135 – Emisiones anuales de (a) aceites y grasas, (b) cadmio, (c) arsénico y (d) cobre para Aguas del Altiplano

Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

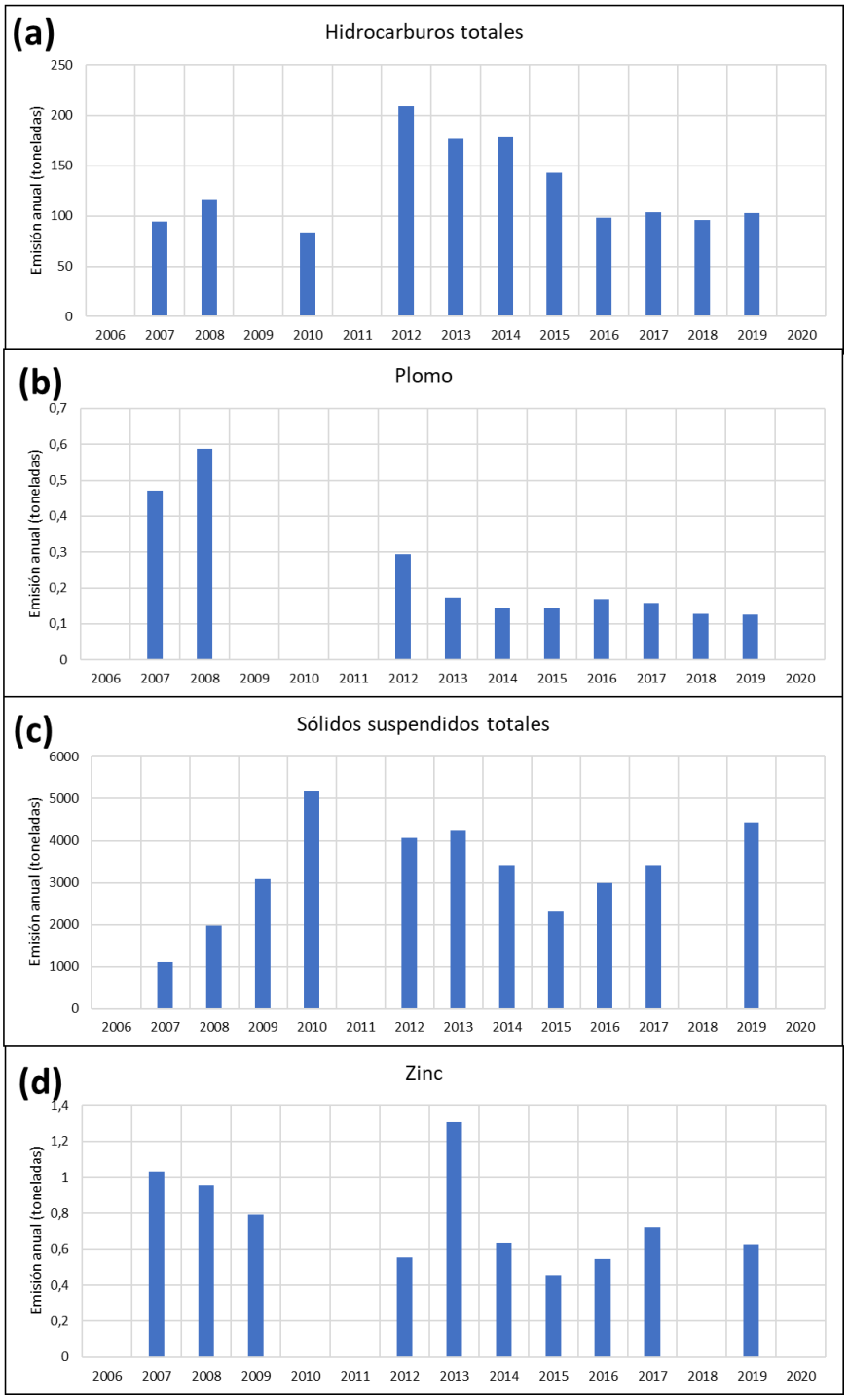


Figura 136 – Emisiones anuales de (a) hidrocarburos totales, (b) plomo, (c) sólidos suspendidos totales y (d) zinc para Aguas del Altiplano

Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

4.2.3 Compañía Pesquera Camanchaca S.A.

Se recopiló información de 7 DIA de las cuales solo "Planta Harina y Aceite de Pescado Camanchaca" y "Sistema de Almacenamiento Intermedio de Aceite Residual" no contenían referencias o información a caracterización de las descargas realizadas por el emisario submarino. En la Tabla 29 se presentan las DIA consultadas para la recopilación de información.

Tabla 29 – Declaraciones de Impacto Ambiental presentadas por Camanchaca en comuna de Iquique

Nombre DIA	Fecha de aprobación
Planta Harina Y Aceite De Pescado Camanchaca (Dia)	06 de septiembre de 2017
Modificación Al Sistema De Tratamiento Y Disposición Final De Riles (Dia)	10 de diciembre de 2013
Emisario Submarino Camanchaca Iquique (DIA – Desistida)	Desistida el 11 de enero de 2013
Sistema De Almacenamiento Intermedio De Aceite Residual (DIA)	07 de septiembre de 2006
Sistema De Tratamiento Y Disposición Final De Residuos Industriales Líquidos, Compañía Pesquera Camanchaca S.A. Iquique, I Región (DIA)	10 de mayo de 2006
Mejoramiento Sistema Emisario Submarino (DIA)	12 de noviembre de 2004
Emisario Submarino (DIA)	22 de marzo de 2001

La Declaración de Impacto Ambiental "Modificación al sistema de tratamiento y disposición final de Riles" presenta un análisis de serie de tiempo a partir del Programa de Vigilancia ambiental entre los años 1997 y 2012. Los principales resultados se presentan a continuación, con foco en la caracterización fisicoquímica de los efluentes del emisario submarino de Camanchaca. Como se muestra en la Figura 137, la tendencia de las concentraciones para todos los analitos es a la disminución a partir del año 2007, esto se explica en la puesta en marcha de los sistemas de pretratamiento, captura de grasas y otros realizado por la empresa (DIA Sistema de tratamiento y disposición final de RILES, 2006).

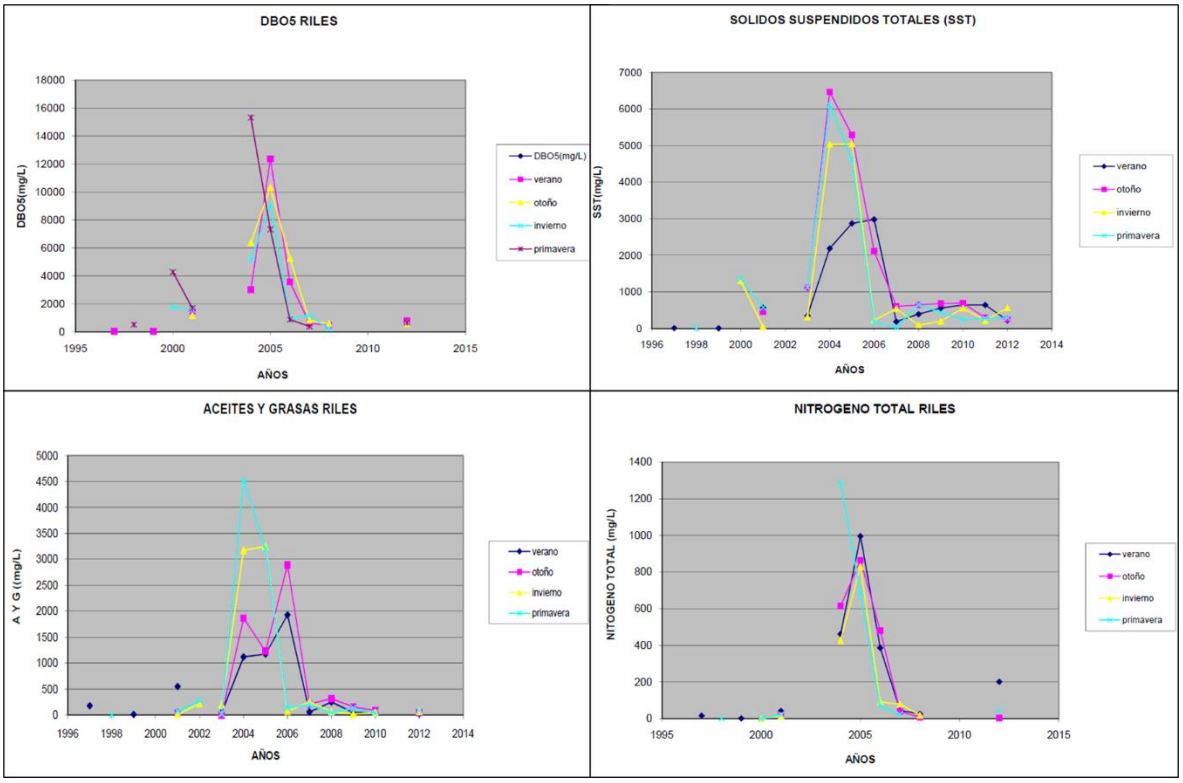


Figura 137 – Serie de tiempo del PVA entre año 1997 y 2012 para caracterización química de emisario submarino de Camanchaca S.A.

Fuente: Elaboración en base a DIA "Modificación al sistema de tratamiento y disposición final de Riles".

Además, se obtuvo la caracterización química de las emisiones del emisario submarino de Camanchaca en los Planes de Vigilancia Ambiental entre los años 2016 y 2021. Esta información permitió observar las series de tiempo para los analitos estudiados. En la Figura 138 y Figura 139 se presentan gráficos de series de tiempo para seis analitos de interés. Los aceites y grasas del efluente han mantenido niveles bajos desde octubre de 2019, se destaca en abril de 2019 un *peak* en la concentración de este analito. De forma similar los sólidos suspendidos totales se mantienen en niveles bajos con eventos de altas concentraciones eventuales como en marzo y abril de 2019. Por el contrario, el fluoruro mantiene sus concentraciones en torno al promedio de 0,74 mg/L. En cuanto al cadmio para los años 2017 y 2018 se observaron eventos de mayores concentraciones, pero en el año 2021 todos los valores medidos se encuentran bajo el límite de detección. El níquel presentó valores bajo el límite de detección para el 2019 y 2020 con un aumento considerable para la medición de septiembre de 2021. Por último, el zinc presenta alta variabilidad en las mediciones durante todo el período de registro.

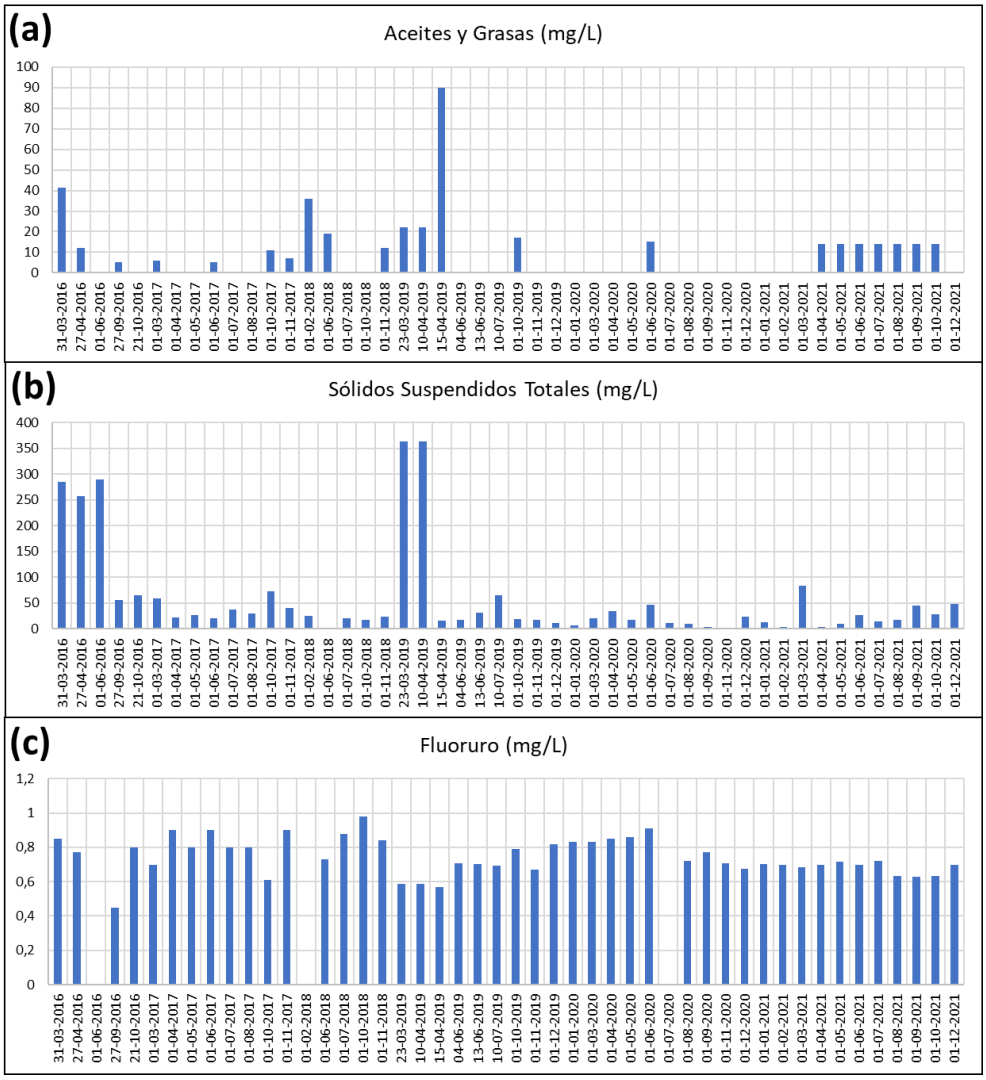


Figura 138 – Serie de tiempo para (a) aceites y grasas, (b) sólidos suspendidos totales y (c) fluoruro para caracterización química de emisario submarino de Camanchaca S.A.
Fuente: Elaboración propia en base a PVA Camanchaca.

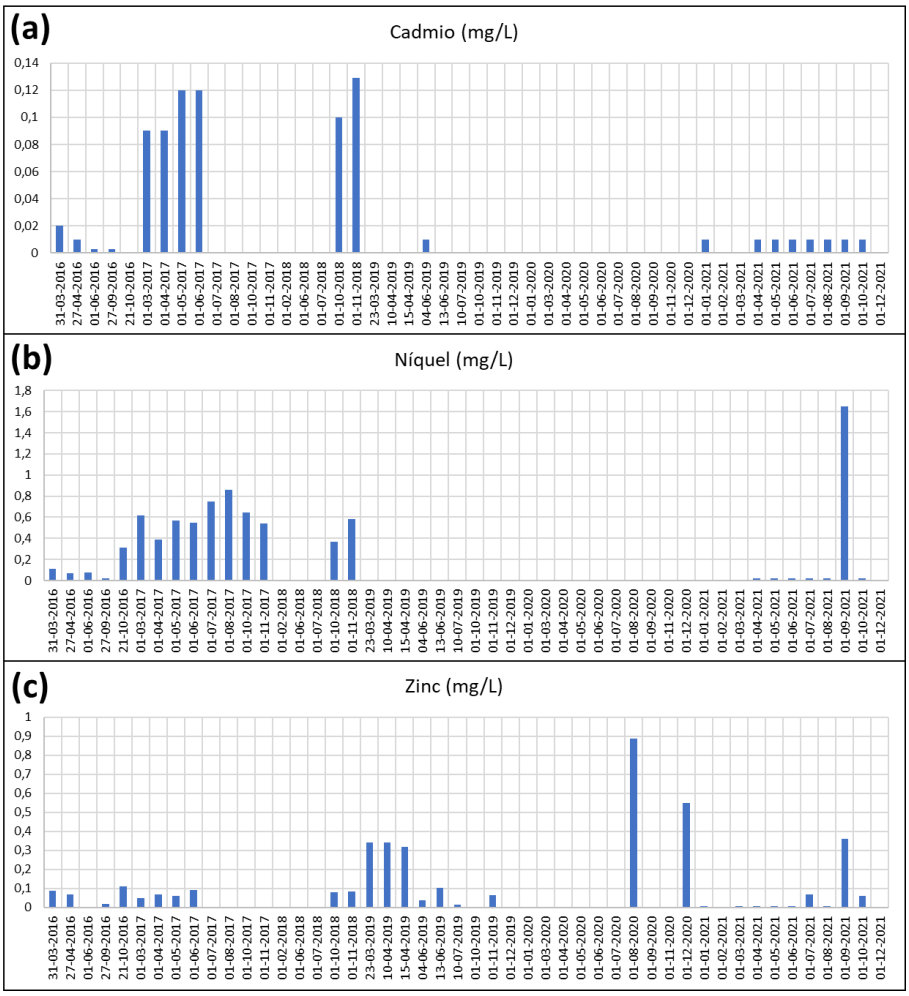


Figura 139 – Serie de tiempo para (a) cadmio, (b) níquel y (c) zinc para caracterización química de emisario submarino de Camanchaca S.A.

Fuente: Elaboración propia en base a PVA Camanchaca.

Por otro lado, mediante la información reportada en el RETC se puede caracterizar a grandes rasgos el tipo de emisiones que realiza Camanchaca S.A. En la Figura 140 se observa la suma histórica total de emisiones anuales reportadas en el RETC por Camanchaca S.A, expresado en porcentaje respecto al total de toneladas. Mediante este análisis se puede identificar las características de las emisiones reportas, en este caso un 40% de las toneladas emitidas corresponden sólidos suspendidos totales, seguido por un 32.7 % de cloruros, 15.3% de aceites y grasas, 10.8% de sulfatos y 0.8% de hidrocarburos totales. Cabe destacar sí, que posiblemente la mayoría de (o todas) las emisiones de cloruros y sulfatos correspondan al agua de mar utilizada para los procesos.

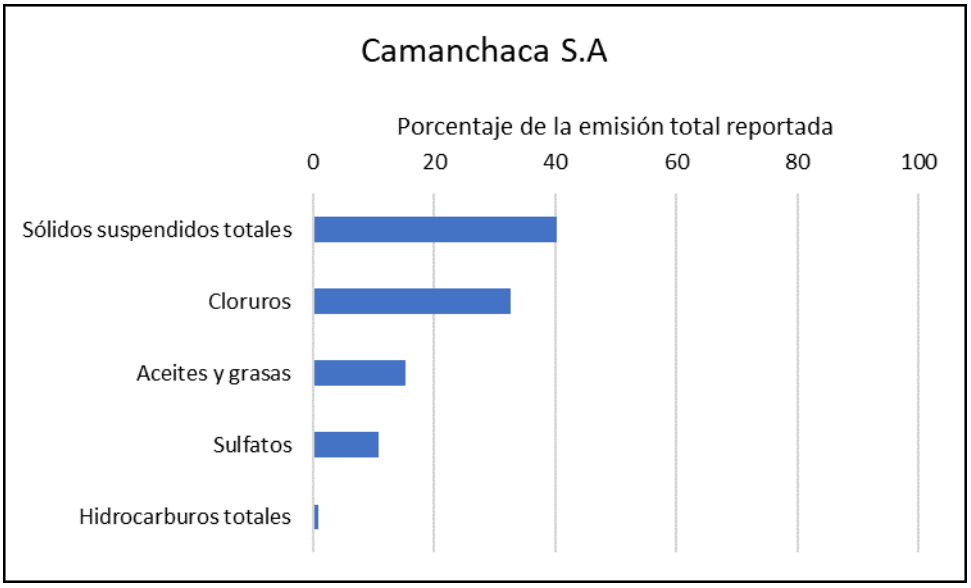


Figura 140 – Porcentaje de la Emisiones anuales total del periodo 2006 a 2020 para Camanchaca S.A.
Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

Se presenta en la Figura 141 y Figura 142 las emisiones anuales entre el año 2006 y 2020 reportadas por Camanchaca en el RETC para algunos analitos de interés. Se puede observar en primera instancia la falta de información en los años 2009, 2011 y 2012. Para los casos de las emisiones anuales de aceites y grasas, cadmio, cobre, hidrocarburos totales, plomo, sólidos suspendidos totales y zinc se observa una clara tendencia a la disminución de las emisiones llegando a valores bajos para los años 2019 y 2020. En cuanto al arsénico solo se observa un registro en el año 2010 con un valor bajo de emisión.

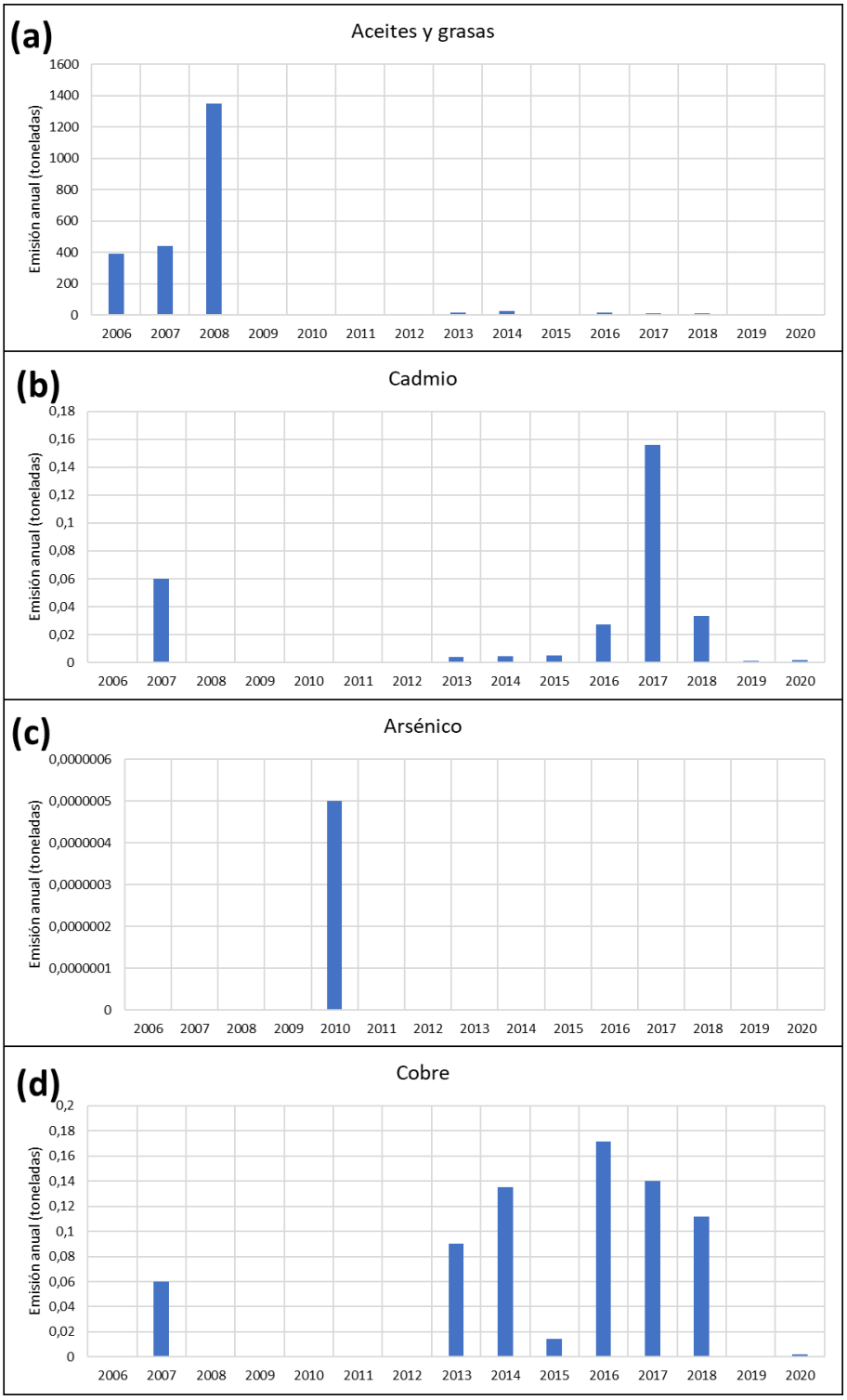


Figura 141 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Cadmio, (c) Arsénico y (d) Cobre para Camanchaca S.A.

Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

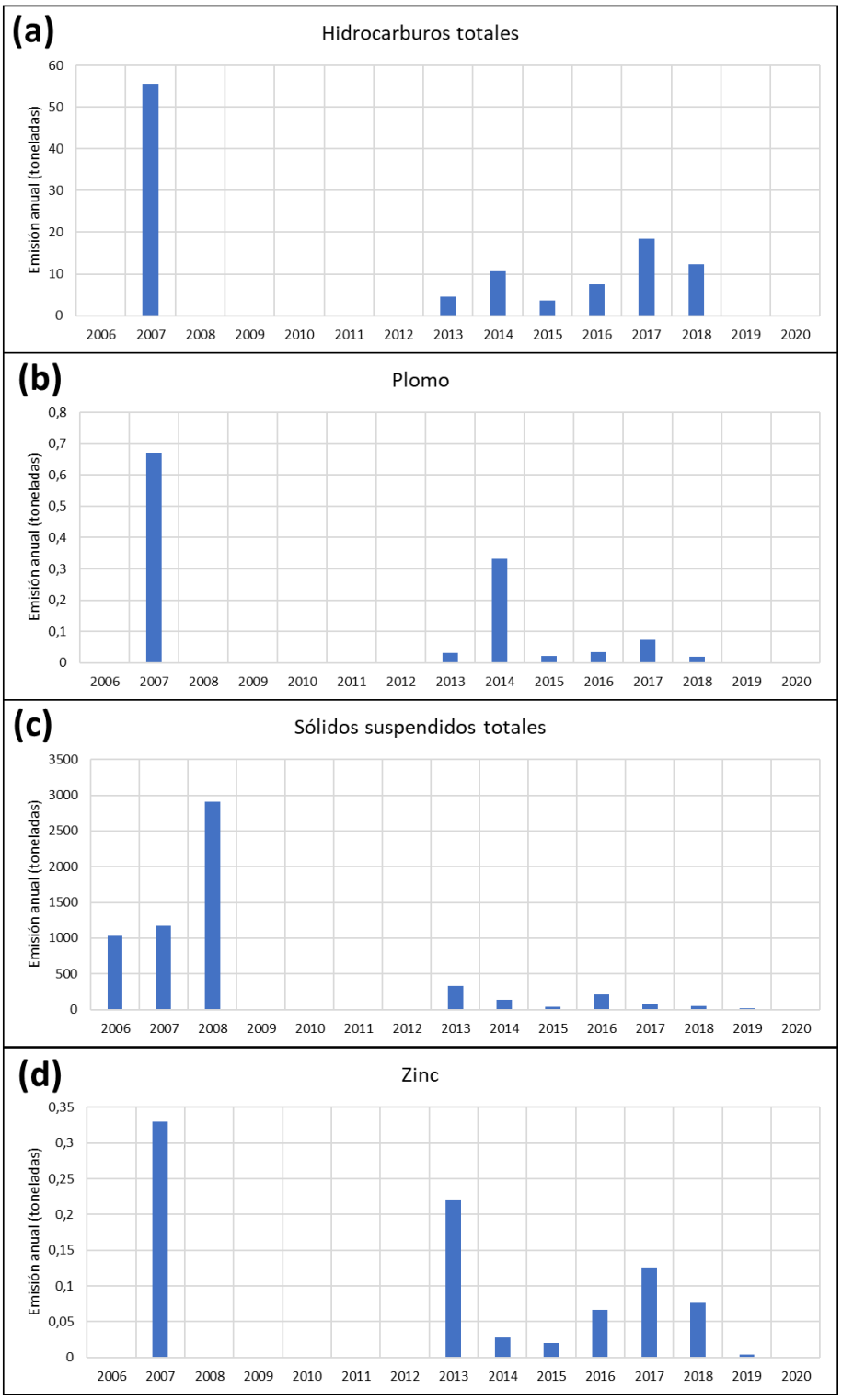


Figura 142 – Emisiones anuales de (a) Hidrocarburos Totales, (b) Plomo, (c) Sólidos Suspendidos Totales y (d) Zinc para Camanchaca S.A.

Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

4.2.4 Servicios y Refinerías del Norte S.A. 2013 – 2019

Para el caso de Servicios y Refinerías del Norte S.A. ninguna de las dos declaraciones de impacto ambiental (DIA) presentadas por la empresa abordaron temáticas de caracterización de emisiones en la Bahía de Iquique, fundamentadas en la no emisión de residuos líquidos o su correspondiente descarga como aguas servidas al alcantarillado. Debido a lo anterior no existe información relevante para la caracterización química en las DIA revisadas. Se adjunta en la Tabla 30 el nombre de las DIA reportadas en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y su fecha de aprobación.

Tabla 30 – Declaraciones de Impacto Ambiental presentadas por Servicios y Refinerías del Norte S.A. en comuna de Iquique

Nombre DIA	Fecha de aprobación
Recepción almacenamiento y despacho de sulfhidrato de sodio	28 de abril de 2003
Graneles líquidos Iquique	03 de septiembre 2010

Por otro lado, mediante la información reportada en el RETC se puede caracterizar a grandes rasgos el tipo de emisiones que realiza la fuente Servicios y Refinerías del Norte S.A. En la Figura 143 se observa la suma histórica total de emisiones anuales reportadas en el RETC por Servicios y Refinerías del Norte S.A., expresado en porcentaje respecto al total de toneladas. Mediante este análisis se puede identificar las características de las emisiones reportas, en este caso un 30% de las toneladas emitidas corresponden a sólidos suspendidos, un 25% a sólidos sedimentables, aproximadamente un 20% de aceites y grasas, 12% de nitrógeno total y 4.6% de hidrocarburos totales.

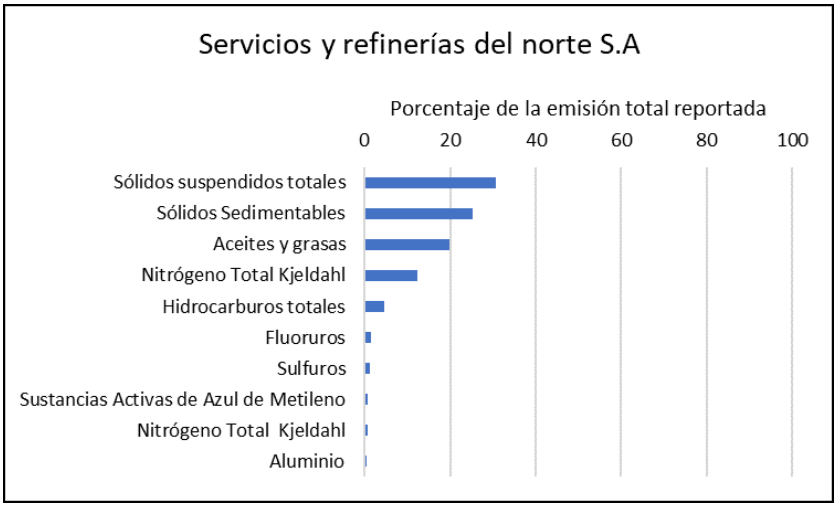


Figura 143 – Porcentaje de la Emisiones anuales total del periodo 2006 a 2020 para Servicios y refinerías del norte S.A.

Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

Se presenta en la Figura 144 y Figura 145 las emisiones anuales entre el año 2006 y 2020 reportadas por Servicios y Refinerías del norte S.A. en el RETC para algunos analitos de interés. Se puede observar en primera instancia que la información comienza a ser reportada a partir del año 2013. En cuanto a las toneladas anuales de aceites y grasas se observa una tendencia a la disminución posteriormente al año

2018, situación similar con el arsénico desde el año 2015, el cadmio a partir del año 2018, el plomo a partir del año 2016, para sólidos suspendidos totales a partir del año 2019 y para zinc a partir del año 2017. El caso del cobre se destaca por el aumento considerable de emisiones para el año 2016, que posteriormente se regulariza a partir del año 2017 con una tendencia a la baja. Los hidrocarburos totales presentan una baja en la emisión para el año 2020 pero no existe información suficiente para determinar una potencial tendencia.

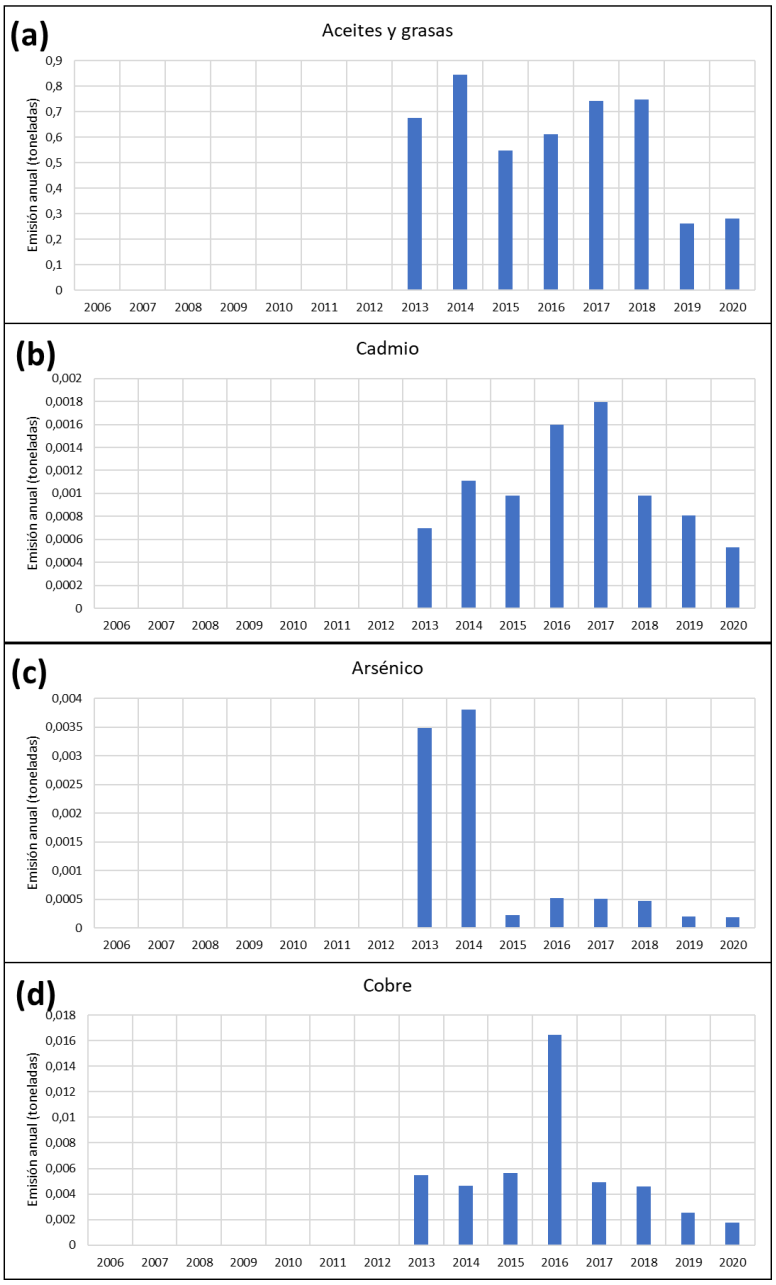


Figura 144 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Cadmio, (c) Arsénico y (d) Cobre para Servicios y Refinerías del Norte

Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

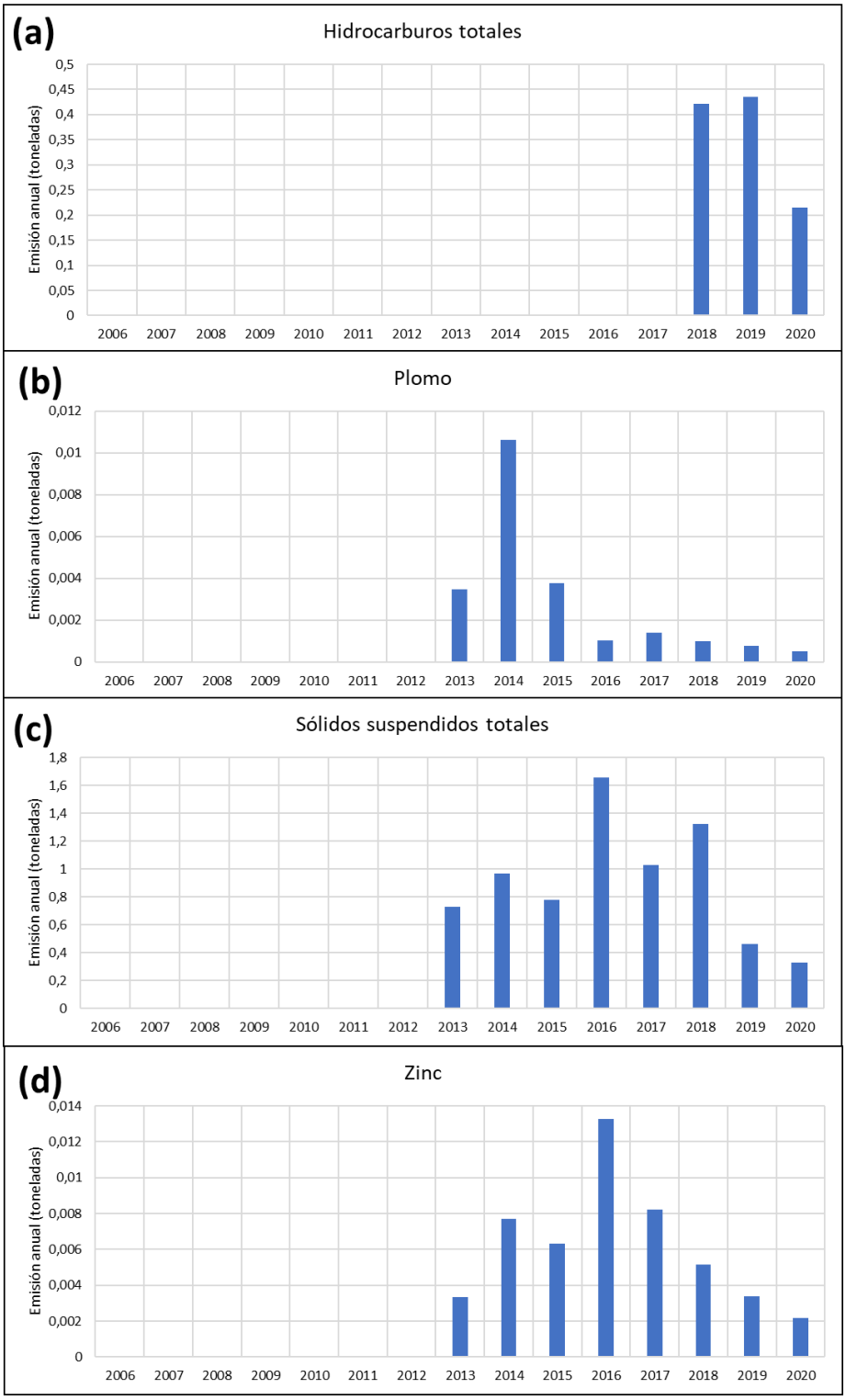


Figura 145 – Emisiones anuales de (a) Hidrocarburos Totales, (b) Plomo, (c) Sólidos Suspendidos Totales y (d) Zinc para Servicios y Refinerías del Norte

Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

4.3 Comparación de emisiones anuales entre las fuentes de residuos líquidos caracterizadas

En la Figura 146 y Figura 147 se presenta la comparación de las emisiones reportadas en el RETC por cuatro fuentes identificadas.

Para el analito de aceites y grasas se destaca las altas emisiones de Camanchaca S.A. que luego posteriormente al año 2008 pasan a ser despreciables frente a las emisiones de Aguas del Altiplano S.A. De forma similar Corpesca S.A. disminuyó sus emisiones de aceites y grasas manteniendo las mismas emisiones hasta el año 2020. En el caso de Servicios y Refinerías del Norte S.A. sus emisiones de este analito son despreciables durante todo el periodo reportado.

En el caso del cadmio, se observa que Corpesca S.A. posee las mayores emisiones en todo el período reportado. Por otro lado, las emisiones de Aguas del Altiplano S.A. se mantienen constantes a través de los años. Nuevamente Servicios y Refinerías del Norte S.A. presenta emisiones despreciables frente al resto de las fuentes emisoras.

El arsénico es principalmente emitido por Aguas del Altiplano, con pequeños aportes de Servicios y Refinerías del Norte S.A.

Para el cobre las emisiones de Aguas del Altiplano S.A. presentan una disminución a lo largo del tiempo alcanzando niveles similares a las de Camanchaca S.A. Las emisiones de cobre de Servicios y Refinerías del Norte S.A. son bajas y constantes en los años reportados.

Las emisiones de hidrocarburos totales se originan principalmente en Aguas del Altiplano S.A., a pesar de esto los años 2007 y 2008 Corpesca S.A. tuvo la mayor cantidad de emisiones de hidrocarburos totales. En este caso las emisiones de Camanchaca S.A. y Servicios y Refinerías del Norte S.A. son bajas respecto a las otras fuentes emisoras.

Las emisiones de plomo para los años 2007 y 2008 fueron altas en comparación al resto del periodo reportado, donde las emisiones de todas las fuentes disminuyeron respecto a los primeros años reportados. En el caso específico de Servicios y Refinerías del Norte S.A. sus emisiones de plomo no son relevantes respecto al total emitido.

Los sólidos suspendidos totales emitidos por Camanchaca S.A. y Corpesca S.A. disminuyeron considerablemente respecto a los años 2007 y 2008, siendo valores bajos respecto a las emisiones de Aguas del Altiplano S.A. que se han mantenido constantes e incluso aumentado a través de los años. La fuente Servicios y Refinerías del Norte S.A posee emisiones despreciables de sólidos suspendidos totales respecto a las otras fuentes emisoras.

Por último, el zinc emitido por Corpesca S.A. muestra una clara tendencia a la disminución, similar a las emisiones de Camanchaca S.A. Por el contrario, Aguas del Altiplano S.A. presenta las mayores emisiones de zinc desde el año 2012 al 2019 sin observarse algún tipo de tendencia. La fuente Servicios y Refinerías del Norte S.A posee emisiones despreciables de zinc respecto a las otras fuentes emisoras.

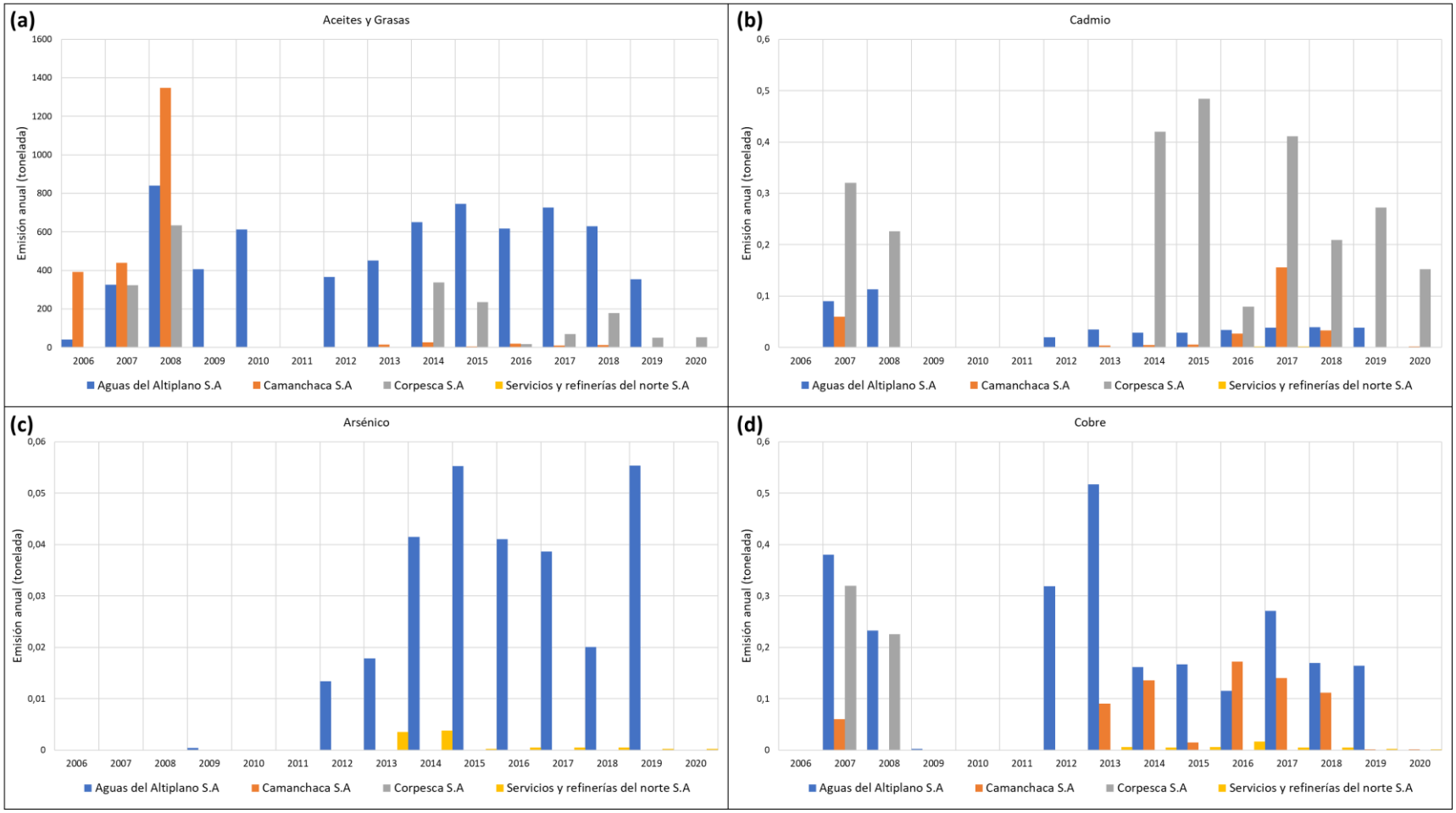


Figura 146 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Cadmio, (c) Arsénico y (d) Cobre para las cuatro fuentes descritas
Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

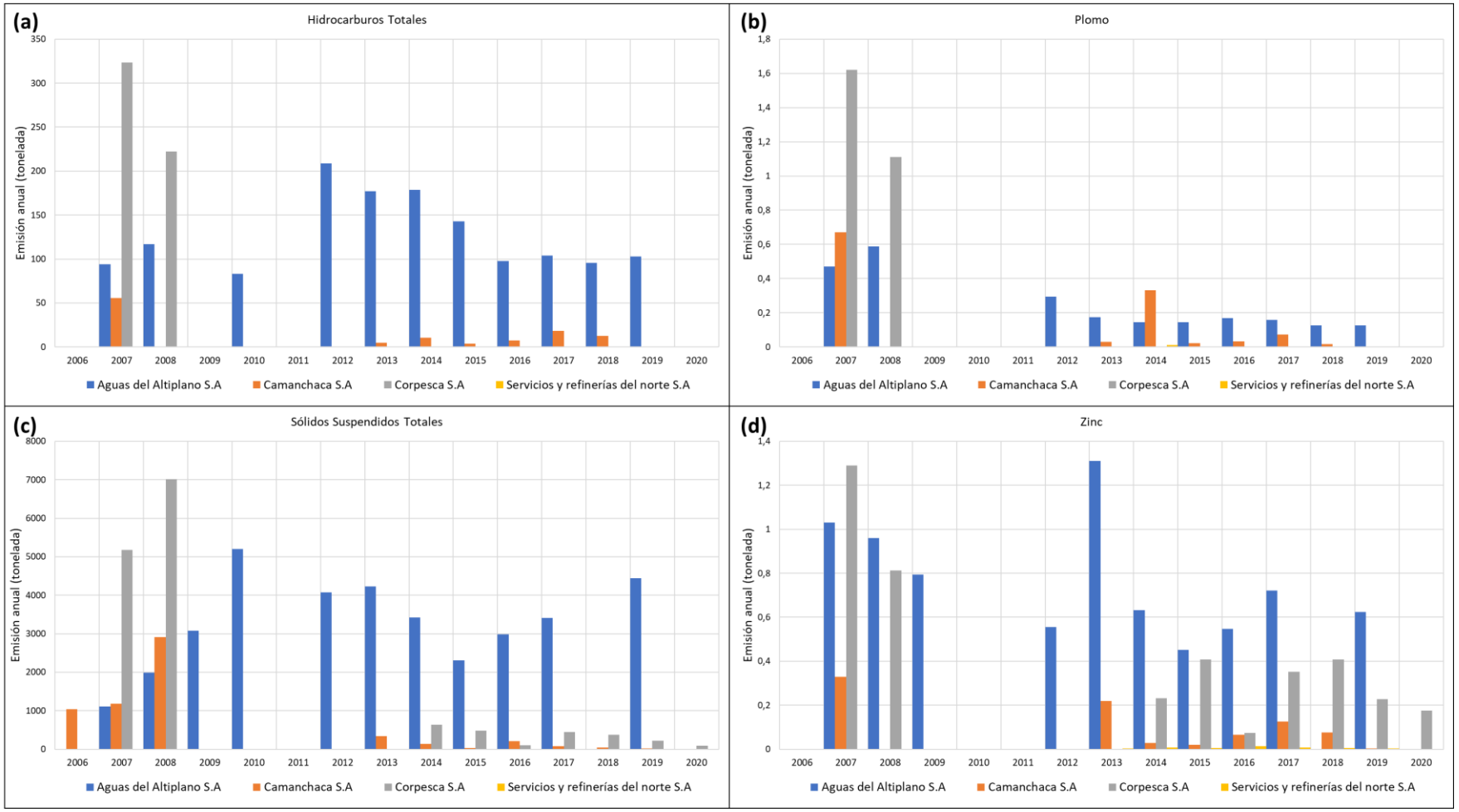


Figura 147 – Emisiones anuales de (a) hidrocarburos totales, (b) plomo, (c) sólidos suspendidos totales y (d) zinc para las cuatro fuentes descritas
Fuente: Elaboración propia en base a RETC de fuentes en Bahía de Iquique.

4.4 Evaluación de la dispersión de partículas

Con la finalidad de evaluar la dispersión de partículas del vertimiento de contaminantes hacia el medio marino, se simuló la liberación de partículas pasivas desde la zona de influencia del suministro de petróleo desde Lanchón Pelagos de Corpesca, y desde el emisario de residuos líquidos industriales de Camanchaca. La trayectoria promedio anual de esas partículas forzada por la dinámica oceanográfica de largo plazo nos permitió estimar el riesgo potencial del vertimiento de contaminantes hacia el medio marino a escala regional y de cuenca del Pacífico SE.

4.4.1 Modelo climatológico hidrodinámico

Para las condiciones de borde del modelo de dispersión de partículas se utilizó una climatología elaborada a partir de 20 años (1993-2013) del reanálisis GLORYS12, el primer reanálisis global con resolución de remolinos (1/12°). Este es producido y distribuido por Mercator Ocean International[16]. GLORYS12 está desarrollado sobre el modelo NEMO (Madec et al., 2016) y cuenta con una grilla horizontal cuasi-isotrópica con una resolución de 1/12° (9,25 km en el ecuador y ~4,5 km en latitudes subpolares) y 50 niveles verticales, con una distancia que aumenta con la profundidad (22 niveles están dentro de los primeros 100 m). GLORYS12 es forzado en superficie por el reanálisis atmosférico ERA-Interim del Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Medio Plazo (ECMWF, por sus siglas en inglés; Dee et al., 2011). Se utilizaron datos atmosféricos cada 3 h para reproducir bien el ciclo diurno. Debido a los sesgos ampliamente conocidos en los valores de precipitación y los flujos radiativos en superficie, se aplica una corrección a gran escala basada a partir de datos satelitales (Garric et al., 2018). Se utiliza un filtro de Kalman multivariante de orden reducido para asimilar diferentes tipos de observaciones en un ciclo de asimilación de 7 días (Lellouche et al., 2018). Trayectorias de remolinos (Pujol et al., 2016), temperatura de la superficie del mar satelital AVHRR de la NOAA, concentración de hielo marino de Ifremer/CERSAT (Ezraty et al., 2007), y perfiles verticales de temperatura y salinidad in situ de CORA (Cabanes et al., 2013; Szekely et al., 2016) son las bases de datos utilizados durante el proceso de asimilación. Se utilizó, además, una topografía dinámica media (MDT) "híbrida" como referencia para la asimilación de datos altimétricos. En paralelo con el filtro Kalman multivariado de orden reducido, GLORYS12 emplea un esquema 3D-VAR, que proporciona una corrección para los sesgos a gran escala que evolucionan lentamente con la temperatura y salinidad. El re-análisis de GLORYS12 proporciona, entre otros parámetros, campos 3D diarios de temperatura, salinidad y velocidad de corrientes, complementados con la altura de nivel del mar, la profundidad de la capa de mezcla y los parámetros del hielo marino.

4.4.2 Seguimiento de partículas lagrangianas con densidad específica

Para evaluar las trayectorias de las partículas se utilizó el modelo Ichthyop v 3.3.3[17] (Lett et al., 2008). Para esto partículas lagrangianas fueron liberadas desde 2 puntos: la zona de influencia del Lanchón Pelagos operado por Corpesca y el emisario de residuos líquidos industriales de Camanchaca. Se evaluó la retención, trayectorias y las zonas de acumulación en subregiones de 0.1º x 0.1º frente al Norte de Chile. En estas mismas subregiones se determinó la profundidad promedio de las partículas que pasaron por esta, como también el tiempo de viaje promedio desde su origen. En este caso Ichthyop fue acoplado a la climatología GLORYS12 tomando de este las velocidades de las corrientes zonales y meridionales (en m/s), además de la temperatura (en °C) y salinidad. El paso de tiempo utilizado fue de 720 segundos con registro de las variables de manera diaria. Desde ambos puntos se liberaron 100 partículas diarias por 365 días. Estás partículas fueron seguidas por 1 año climatológico. Para las partículas liberadas desde la operación de Corpesca se

[16] https://www.mercator-ocean.fr/es/
[17] https://ichthyop.org

utilizó una densidad de 900 kg/m^3 (densidad del petróleo) y para el Ril de Camanchaca 1030 kg/m^3 (densidad de residuos industriales). En el caso de Corpesca las partículas fueron liberadas a 2 metros de profundidad, y para Camanchaca estas fueron liberadas a 20 metros.

4.4.3 Resultados

En el caso de las partículas liberadas desde el emisario de Camanchaca, se observa un claro acoplamiento dentro de los 100 km desde la costa y con su flujo en dirección sur, siendo muy bajo el número de partículas trasladadas hacía el norte comparado con las partículas liberadas desde Corpesca (Figura 148). Este acoplamiento costero podría estar dado por 2 factores: 1) la mayor densidad de las partículas liberadas en Camanchaca respecto a la densidad del agua de mar, y 2) la profundidad a la que fueron liberadas (20 m). En la Figura 149 es posible observar que el viaje de estos trazadores acoplados a la costa viajaría a ~150 metros de profundidad, de este modo la corriente subsuperficial Perú-Chile (Strub et al. 1998) sería la encargada de transportar estas partículas. La dispersión de partículas liberadas desde la zona de influencia de Corpesca muestra un comportamiento bastante similar, pero con una pluma en dirección noroeste en los primeros ~200 km, trasladándose luego en mar abierto de forma perpendicular a la costa. Al contar con una densidad menor a la del agua, el flujo de estas partículas estaría regulado por la corriente Chile-Perú y la influencia de los vientos sobre la circulación promedio del océano (Shaffer et al., 1999).

En cuanto a la profundidad de traslado de esas partículas pasivas, las liberadas desde Camanchaca que resultan desprendidas del flujo principal atrapado a la costa viajarían sólo dentro de los primeros 100 metros (Figura 150a). Sin embargo, estas partículas, antes de viajar por mar abierto, quedan atrapadas en la banda de los primeros 300 km por periodos entre días a 4 meses (Figura 150a-c). De este modo las partículas que llegan a zonas oceánicas serían partículas viajando > 9 meses desde su origen. Es interesante la acumulación y deposición que experimentan estas partículas entre los 25º y 27ºS por debajo de los 700 metros (Figura 150a), lo que podría ser resultado de la retención y acumulación de partículas en el sector y el bajo efecto de las corrientes en cuanto a la disipación horizontal a esas profundidades. Con respecto a la profundidad y tiempo de las trayectorias de las partículas liberadas desde Corpesca (Figura 149a), estas se desprenderían de la costa y superarían la valla de los 300 km en menos de 2 meses (Figura 149c). Sin embargo, es notorio un flujo de recirculación hacia la costa entre los 21º y 23ºS. Como se puede observar en Figura 149a, está recirculación podría estar asociada a la profundización que sufren las partículas en esa zona por debajo de los 20 m lo que sugiere que estos flujos estarías gobernados por corrientes de orientación norte-sur, y por esto el mayor acoplamiento de partículas desde Camanchaca se desarrolla hacia el sur y en periodos menores a ~2 meses.

Como aspecto metodológico mencionar que el presente análisis, usando modelos de dispersión de partículas forzadas por climatologías de procesos oceanográficos de sub- y meso-escala, resulta promisorio para predecir dispersión de contaminantes por la actividad industrial en la zona costera, sin embargo, para establecer causalidad y/o diseñar un plan de monitoreo se debe obtener una resolución < 1 km en la dispersión de los contaminantes, lo cual, requiere mayor poder de cómputo y almacenamiento sumado a estudios de corrientes y parámetros oceanográficos que permitan validar las simulaciones.

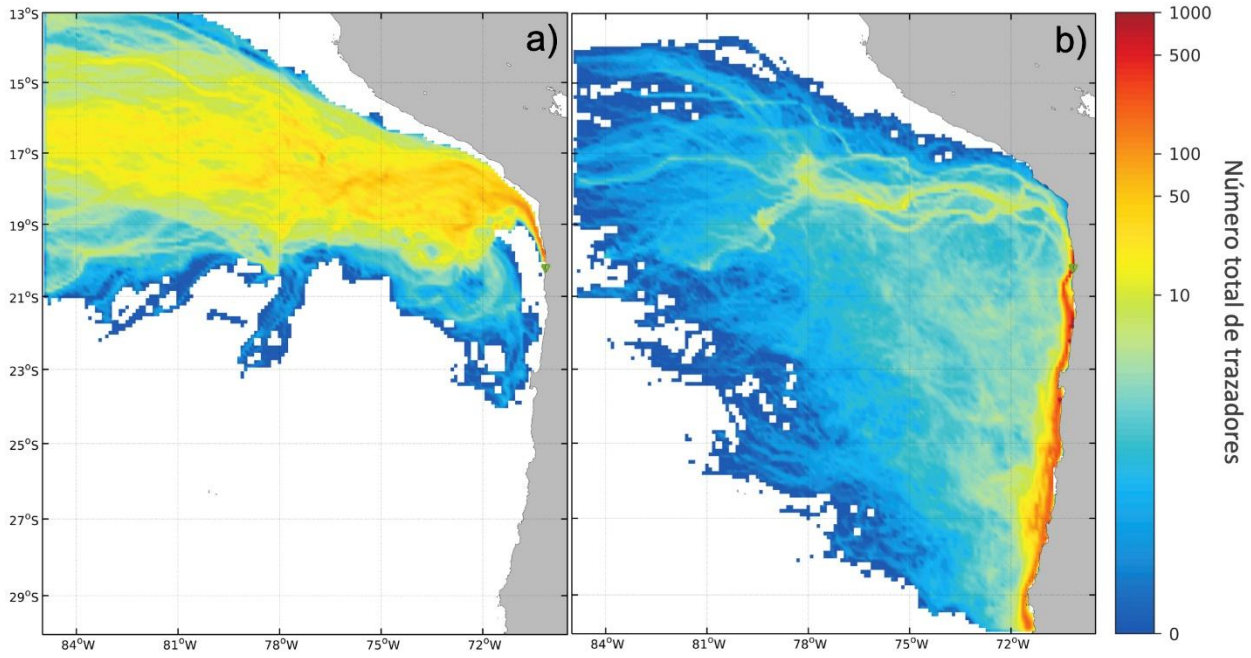


Figura 148 – Resultado de la simulación de liberación de partículas pasivas desde la zona de influencia del suministro de petróleo desde Lanchón Pelagos de Corpesca (a) y emisario submarino de Camanchaca (b). Las partículas pasivas poseen la densidad específica del petróleo (Corpesca) y relave industrial (Camanchaca) y con un forzamiento desde un modelo climatológico hidrodinámico. El punto de liberación de las partículas es denotado por un triángulo verde (~20º S)

Fuente: Elaboración propia

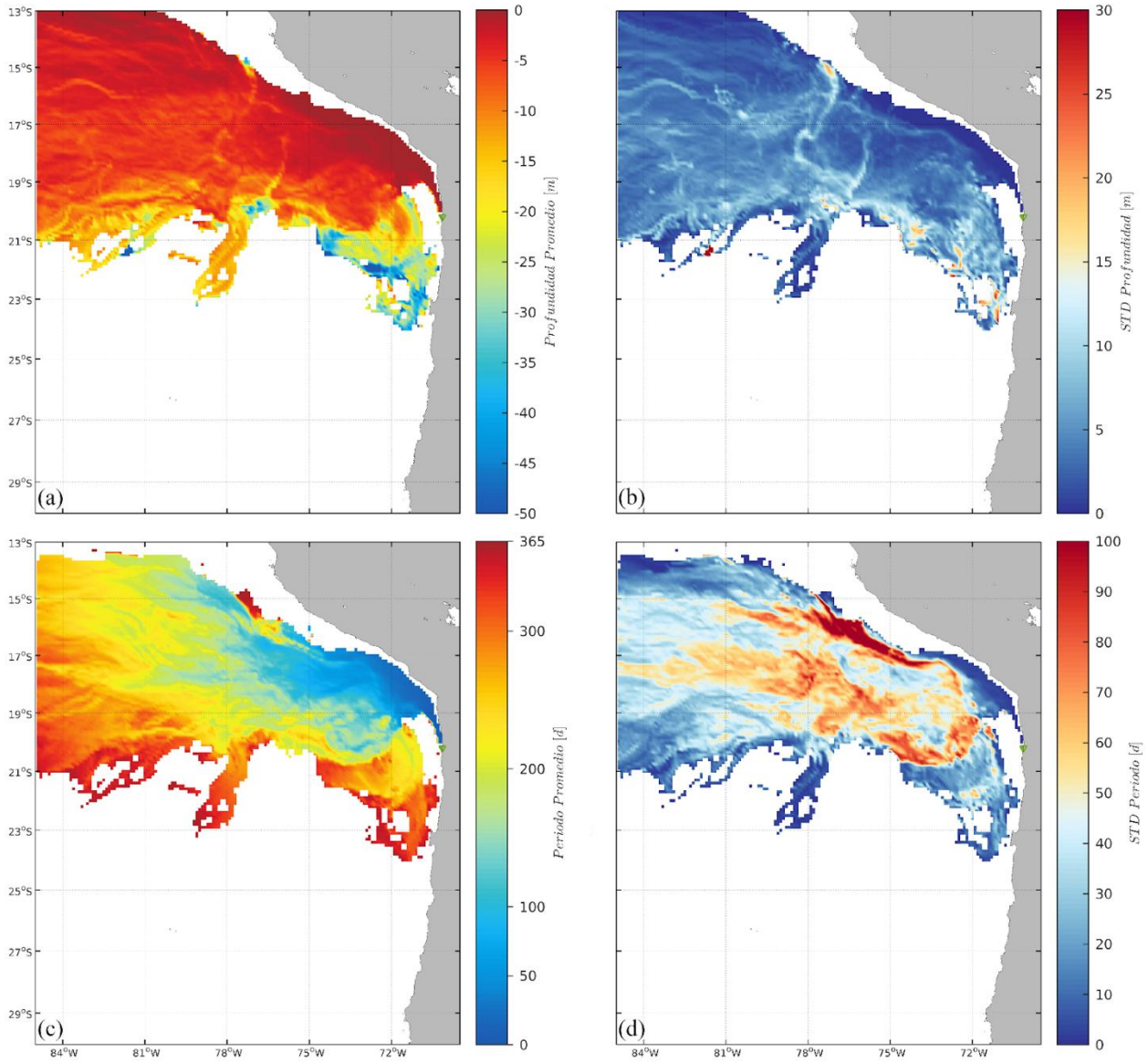


Figura 149 – Profundidad promedio y tiempo promedio transcurrido desde la liberación de partículas desde la zona de influencia de Corpesca. (a) Profundidad promedio, (b) desviación estándar de la profundidad, (c) tiempo promedio de viaje y (d) desviación estándar del tiempo de viaje. El punto de liberación de las partículas es denotado por un triángulo verde (~20º S)

Fuente: Elaboración propia

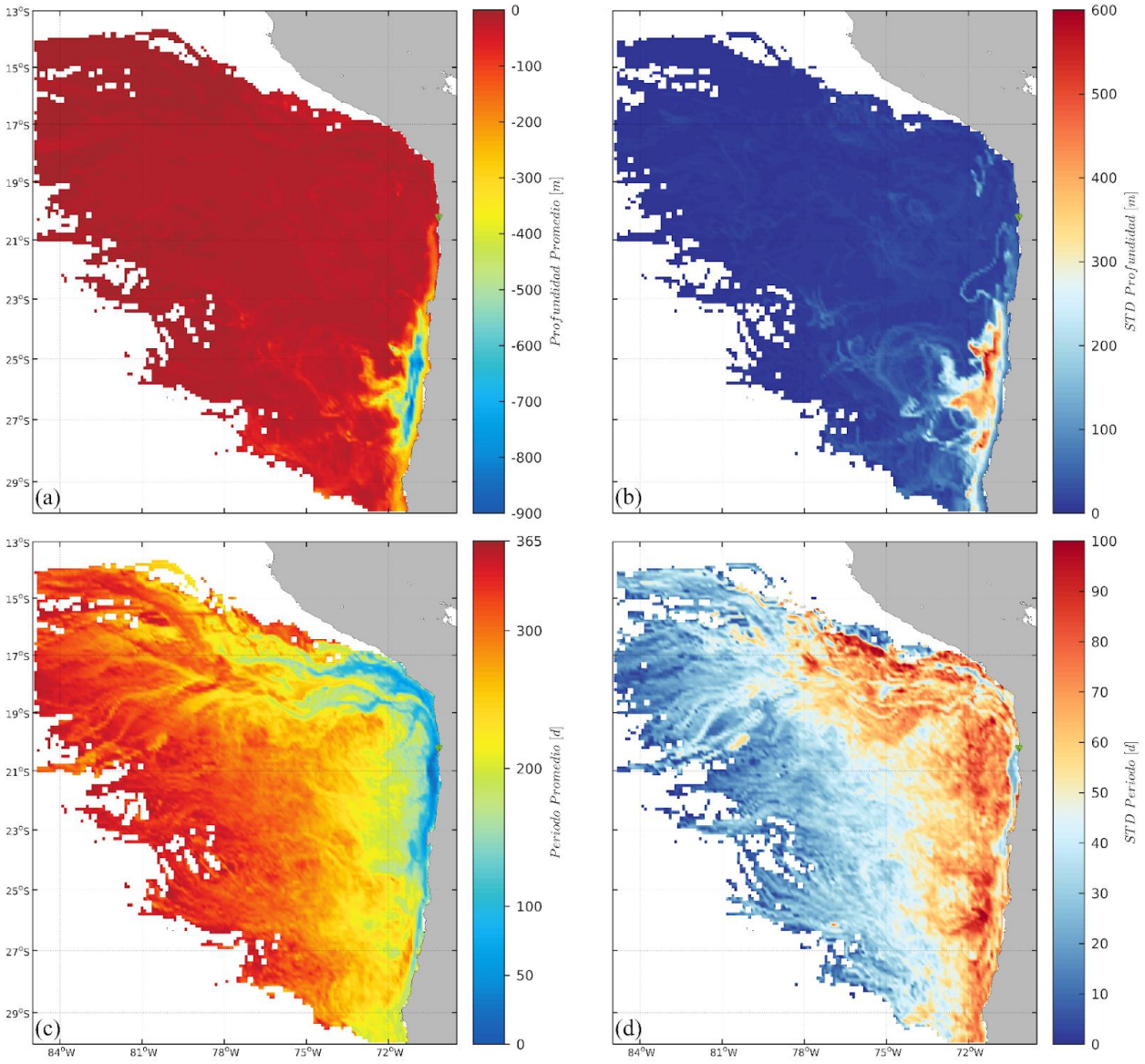


Figura 150 – Profundidad promedio y tiempo promedio transcurrido desde la liberación de partículas desde el emisario de Camanchaca. (a) Profundidad promedio, (b) desviación estándar de la profundidad, (c) tiempo promedio de viaje y (d) desviación estándar del tiempo de viaje. El punto de liberación de las partículas es denotado por un triángulo verde (~20º S).

Fuente: Elaboración propia

4.5 Emisiones atmosféricas

Respecto emisiones al aire, en RETC se pueden encontrar las emisiones asociadas a la reportabilidad del D.S. N° 138/2005, MINSAL "Establece obligación de declarar emisiones que indica" también conocida como Formulario 138. Así también, cada año se cargan estimaciones de emisión asociadas al transporte realizados en base a modelos de transporte urbano del SECTRA y estimaciones de emisiones difusas como combustión

residencial, quemas agrícolas y otros tipos de fuentes que, por su naturaleza, hace compleja su georreferenciación puntual.

4.5.1 Fuentes puntuales

Para el año 2020, se registran 59 razones sociales que consolidan 1.077 fuentes emisoras puntuales registradas en la comuna de Iquique. A continuación, se adjunta gráfica con su distribución, según tipo de fuente y tipo de combustible en lo que es posible observar que el mayor tipo de fuente puntual corresponde a grupos electrógenos que, según la Figura 151 se abastecerían principalmente en Petróleo N°2 también conocido como Petróleo Diesel, así también, sería el combustible más utilizado entre las fuentes puntuales registradas para 2020.

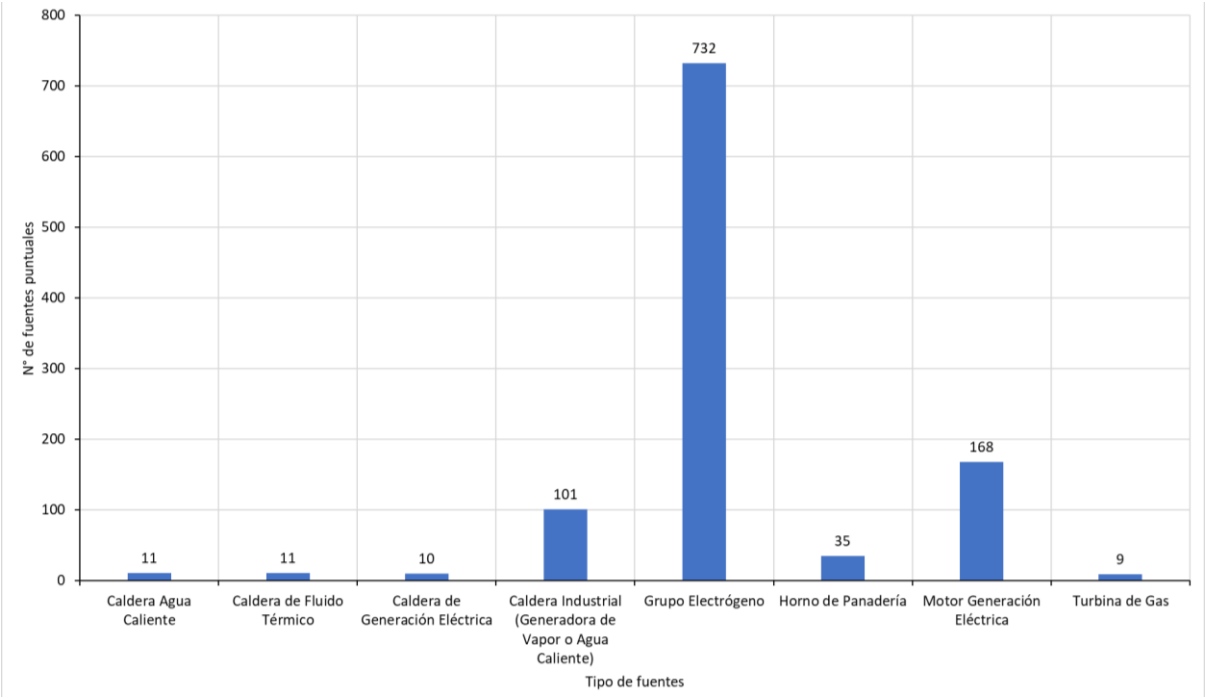


Figura 151 – Frecuencia de tipos de fuentes puntuales en la comuna de Iquique, año 2020.
Fuente: Elaboración propia a partir de RETC (2020).

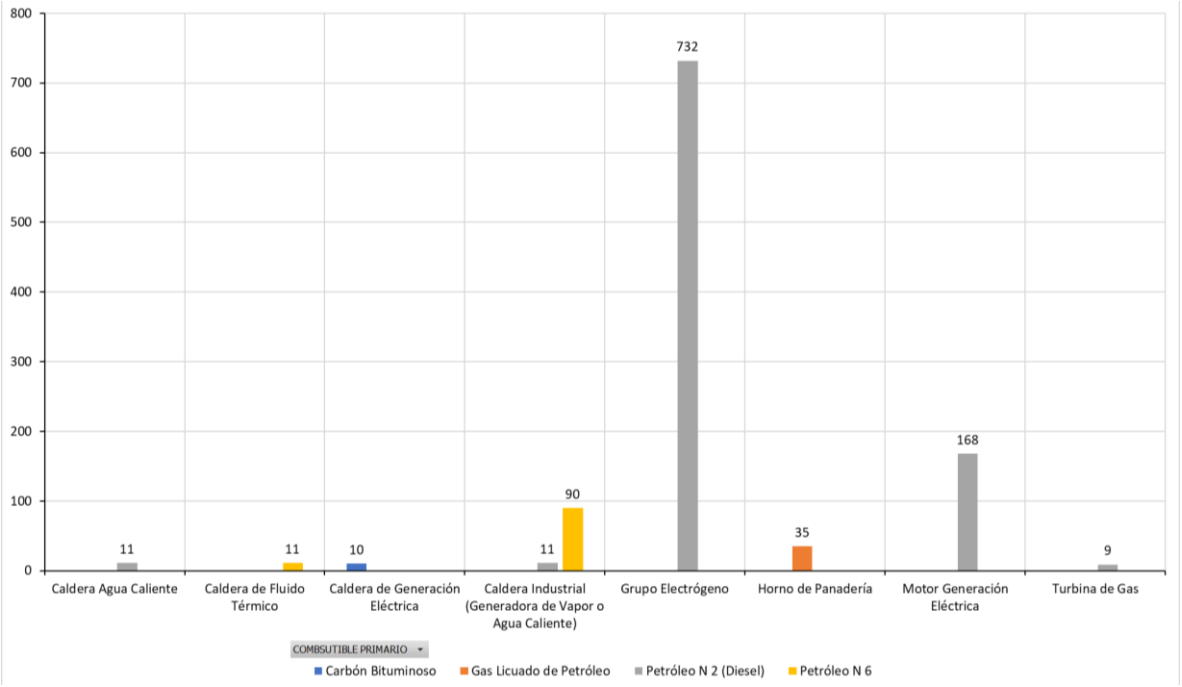


Figura 152 – Frecuencia de tipos de fuentes puntuales según combustible utilizado en la comuna de Iquique, año 2020.

Fuente: Elaboración propia a partir de RETC (2020).

Respecto las emisiones registradas desde fuentes puntuales en la comuna de Iquique para el año 2020:

- De las fracciones de material particulada estimadas (material particulado respirable y material particulado respirable fino), dicho contaminante sería emitido desde calderas de agua caliente, de fluido térmico, calderas industriales y hornos de panadería, siendo significativamente mayor la emisión desde calderas industriales que desde las otras fuentes, lo que se condice con la cantidad de calderas industriales registradas (101 calderas industriales) si se compara con las demás fuentes emisoras.
- En la Tabla 32 se disponen la distribución de emisiones de los compuestos orgánicos volátiles, benceno y tolueno en el que los mayores aportantes corresponderían a los motores de generación eléctrica, seguido de los grupos electrógenos y las calderas industriales. Sin embargo, se debe tener en consideración la orden de magnitud de dichas emisiones que en el mayor de sus emisiones alcanza las 1,84 E-2 t de benceno y 0,0061 t de tolueno.
- De los compuestos nitrogenados incluidos en la estimación de emisiones publicada en RETC, hay cantidades estimadas de amoniaco (NH_3) y óxidos de nitrógeno (NO_X) en las que predomina el último contaminante mencionado, específicamente, en las emisiones de motores de generación eléctrica, grupos electrógeno y calderas industriales.
- En cuanto a contaminantes inorgánicos como el arsénico, plomo y mercurio, las estimaciones de arsénico y plomo dan valores más altos en comparación al mercurio. Estos contaminantes fueron estimados en Calderas de Agua Caliente, Calderas Industriales y Turbinas de Gas.
- Respecto dióxido de carbono (CO_2), este se estima y registra desde una mayor cantidad de fuentes puntuales, siendo el mayor aportante las calderas industriales que, en su mayoría, utilizan petróleo N°6. Misma tendencia se registra con el Anhidrido sulfuroso (SO_2) pero los órdenes de magnitud son muchos más bajos.

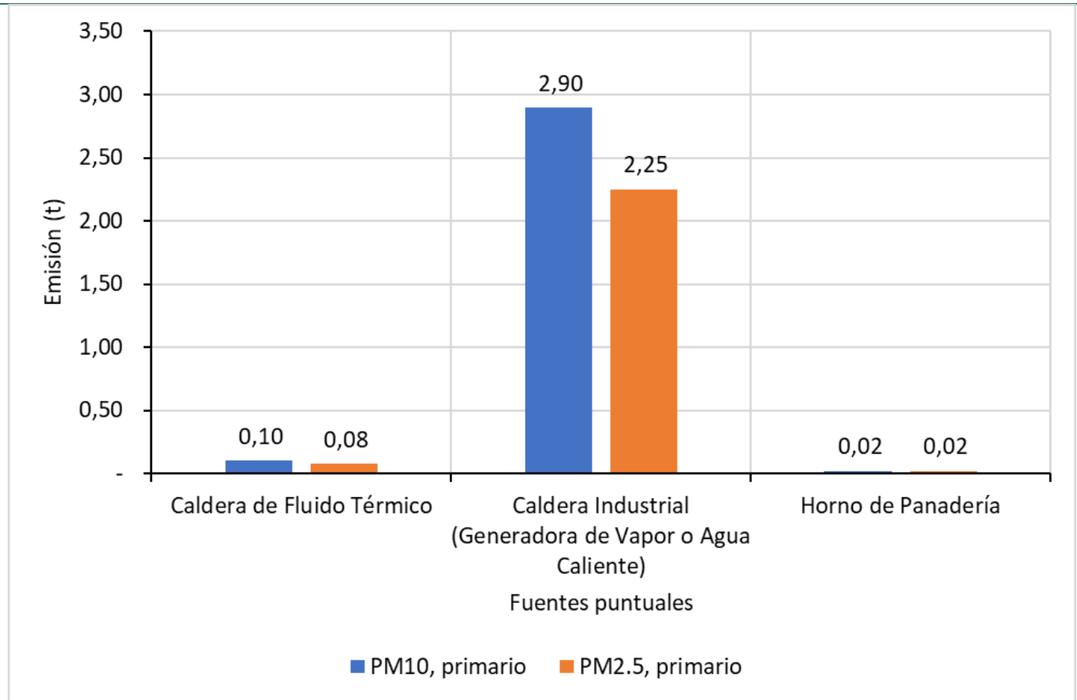
Tabla 31 – Emisión de fuentes puntuales en la comuna de Iquique

Tipo de fuente	EMISIÓN TOTAL, Año 2020 (t)													
	Amoniaco (NH_3)	Arsénico	Benceno	Dióxido de carbono (CO_2)	Monóxido de carbono (CO)	Plomo (Pb)	Mercurio	Óxidos de nitrógeno (NO_X)	Dibenzofuranos policlorados	MP_{10}, primario	$MP_{2,5}$, primario	Anhídrido sulfuroso (SO_2)	Tolueno	Compuestos orgánicos Volátiles (COV)
Caldera Agua Caliente	0,002	1,51 E-06	7,53E-06	64,86	0,014	3,39E-06	-	0,07		0,01	0,01	0,0001	-	-
Caldera de Fluido Térmico	0,020		2,72E-05	663,76	0,124	-	-	1,16	4,88E-10	0,10	0,08	0,0012	0,0002	-
Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	0,563	7,71E-06	7,59E-04	18.842,17	3,520	1,74E-05	-	32,76	1,36 E-08	2,90	2,25	0,03	0,0061	-
Grupo Electrógeno	-	-	6,37E-03	1.121,65	6,452	-	-	29,98	-				0,0028	-
Horno de Panadería	-	-		306,01	0,044	-	-	0,31	-	0,02	0,02	0,00003		-
Motor Generación Eléctrica	-	-	1,84E-02	3.386,57	18,576	-	-	86,31	-	-	-		0,0055	-
Turbina de Gas	-	2,48E-06	1,24E-05	35,45	0,001	3,16E-06	2,71E-07	0,20	-	-	-	0,001		9,26 E-05
Total general	**0,59**	**1,17E-05**	**2,56E-02**	**24.420,49**	**28,73**	**2,39E-05**	**2,71E-07**	**150,79**	**1,41E-08**	**3,03**	**2,36**	**0,04**	**0,0146**	**9,26 E-05**

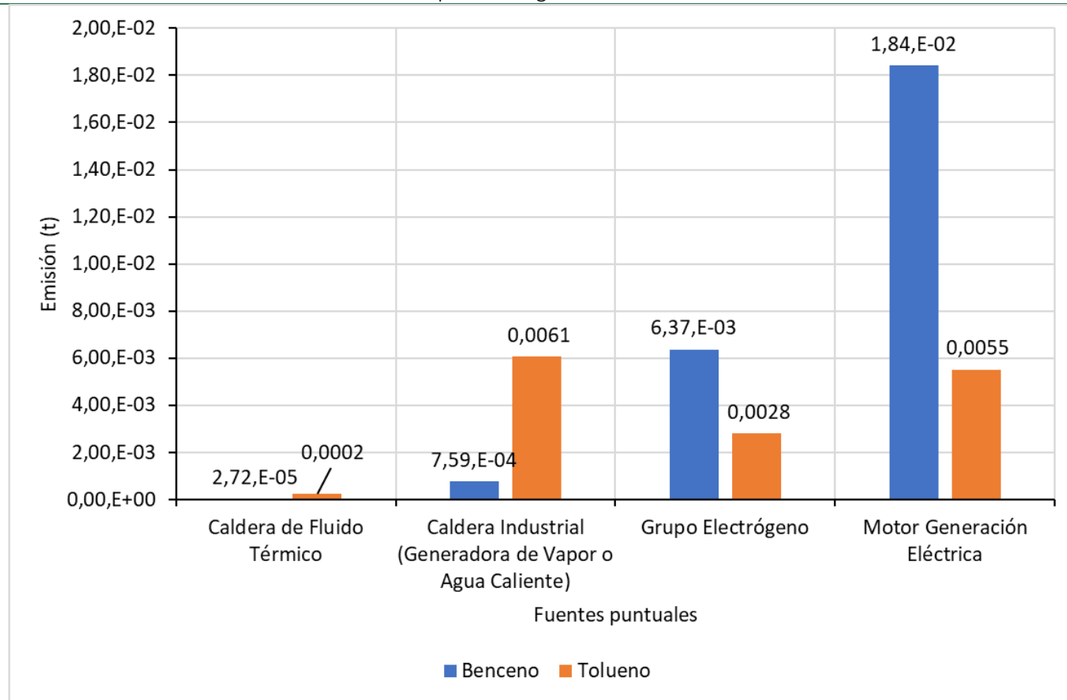
Fuente: Elaboración propia a partir de RETC (2020).

Tabla 32 – Emisión proveniente de fuentes puntuales en la comuna de Iquique, Año 2020.

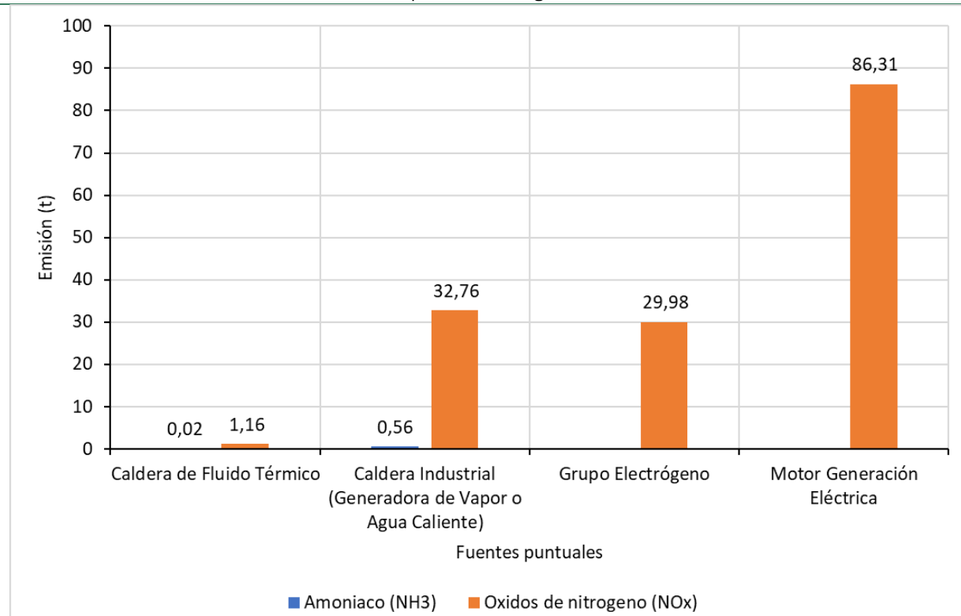
Material Particulado



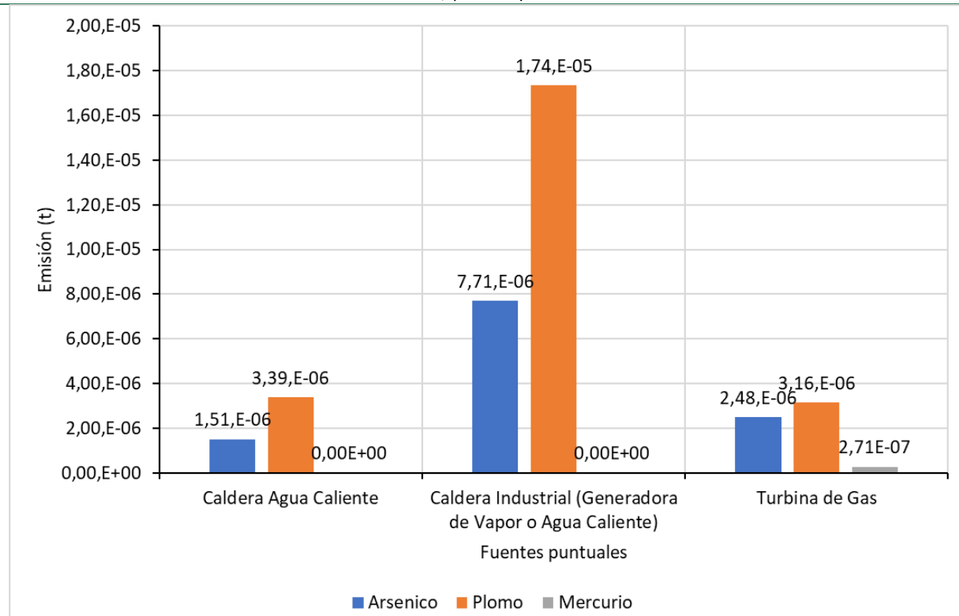
Compuestos orgánicos volátiles



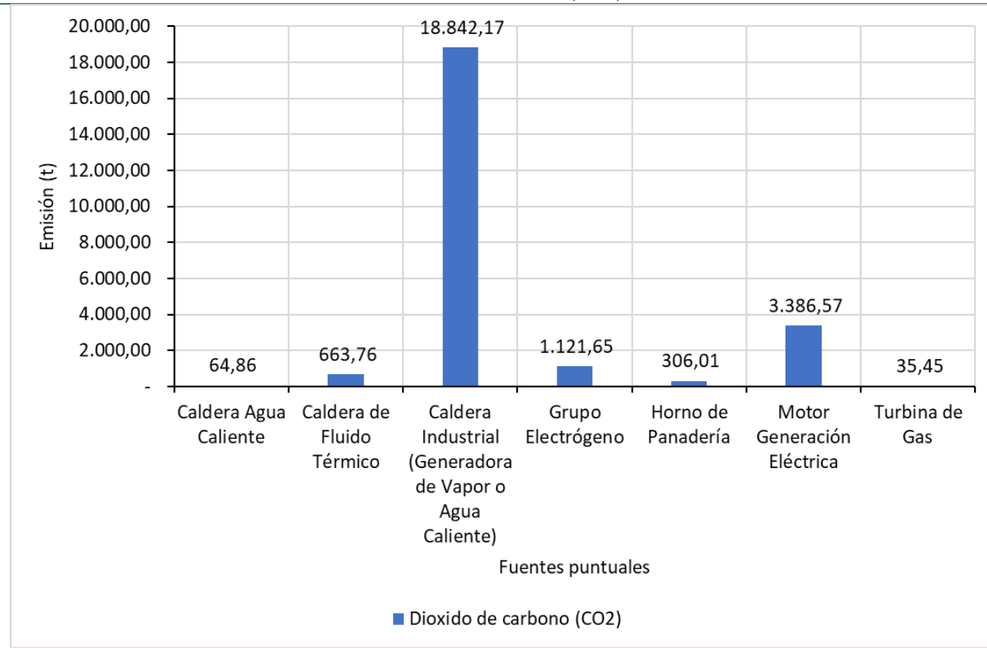
Compuestos nitrogenados



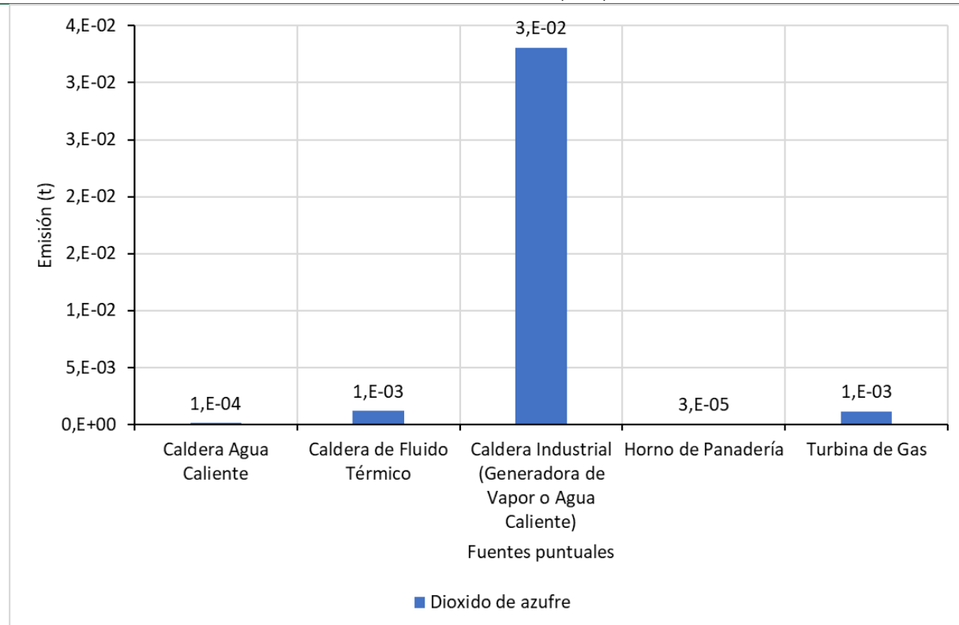
Arsénico, plomo y mercurio



Dióxido de carbono (CO2)



Anhídrido sulfuroso (SO2)



Fuente: RETC, 2020.

4.5.2 Fuentes en ruta

Como se menciona al inicio de la Sección 4.5, de las emisiones publicadas en RETC también se incluyen las emisiones producto del transporte que son estimadas mediante modelos de transporte utilizados por el SECTRA. Dichos modelos permiten estimar emisiones de COVs, SO_2, CO_2, CH_4, CO, MP_{10}, $MP_{2,5}$, NH_3, NO_X, NO_2 y Pb desde las siguientes fuentes emisoras asociadas a actividades de transporte:

- Desgaste de frenos y desgaste de neumáticos: Emisión de partículas producto de la interacción entre frenos y neumáticos y la fuerza requerida para la desaceleración de los vehículos. Otro mecanismo mediante el que se produce este tipo de emisión corresponde a las diferencias de temperatura entre las piezas mencionadas y las superficies en las que está en contacto (Ntziacrhistos & Boulter, 2019).
- Detenciones en Caliente y Partidas en frío: Las emisiones del tubo de escape se ven afectadas de forma importante durante la operación transitoria térmica del motor (partidas en frío) y durante su operación térmica estabilizada (detenciones en caliente).
- Evaporativas durante el día y durante el recorrido: Emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de los sistemas de combustible de los vehículos (estanque, sistemas de inyección y líneas de combustible). Las emisiones de este tipo ocurren principalmente como perdidas evaporativas del estanque durante la conducción y estacionado de los vehículos debido a la variación térmica diaria y la otra forma corresponde a fugas y permeabilidad del combustible a través de los compuestos por donde es transmitido al motor (Mellios. & Ntziacrhistos, 2019).
- Polvo natural: De forma similar a la emisión producto del desgaste de frenos y desgaste de neumáticos, este tipo de emisión se da por la interacción directa entre el neumático y la superficie correspondiente al camino y queda en función del flujo vehicular y la cantidad de polvo suficientemente fino como para resuspenderse producto del movimiento del vehículo.
- Tubo de escape: Combinación de las emisiones por detención en caliente, partidas en frío y en parte de las evaporativas y de la propia operación del vehículo.

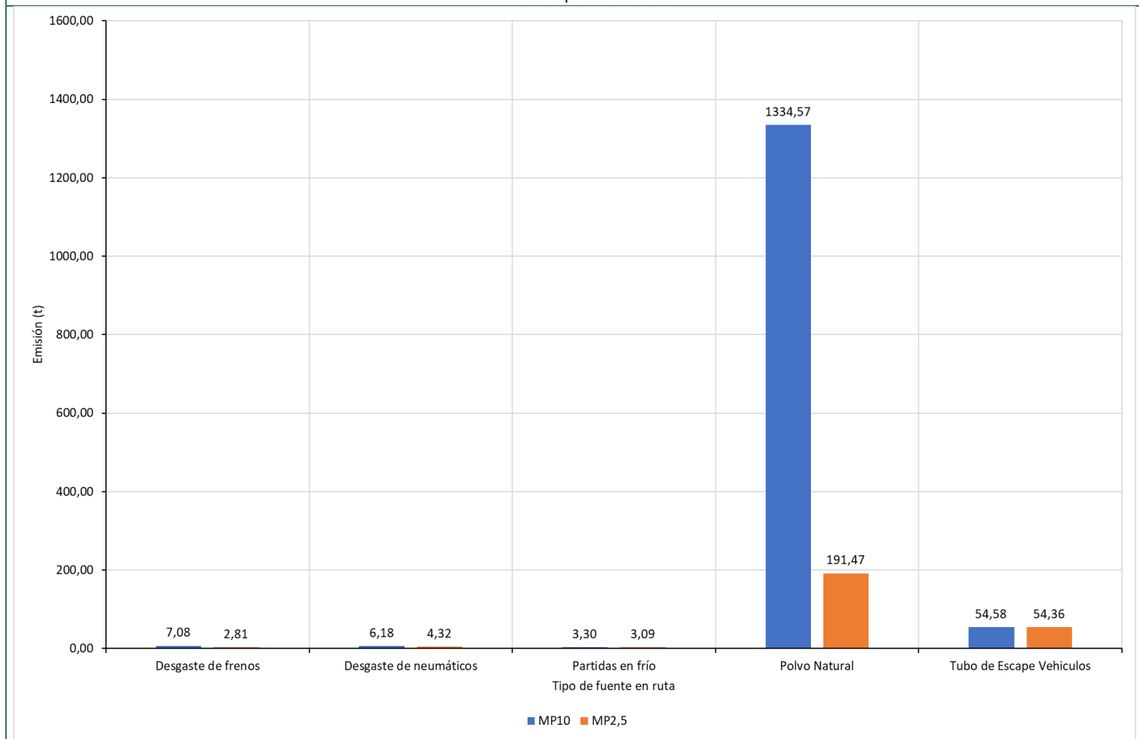
Tabla 33 – Emisiones en ruta en la comuna de Iquique, año 2020

Tipo de fuente en ruta	Emisión (t)										
	Compuestos Orgánicos Volátiles	Dióxido de azufre (SO_2)	Dióxido de carbono (CO_2)	Metano (CH_4)	Monóxido de carbono (CO)	MP_{10}	$MP_{2,5}$	Nitrógeno amoniacal (o NH_3)	óxidos de nitrógeno (NOx)	Óxido Nitroso (NO_2)	Plomo (Pb)
Desgaste de frenos	-	-	-	-	-	7,08	2,81	-	-	-	7,20
Desgaste de neumáticos	-	-	-	-	-	6,18	4,32	-	-	-	10,30
Detenciones en Caliente	25,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Evaporativas durante el día	17,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Evaporativas durante el Recorrido	10,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Partidas en frío	25,14	-	-	-	168,61	3,30	3,09	-	33,57	-	3,30
Polvo Natural	-	-	-	-	-	1.334,57	191,47	-	-	-	6.963,00
Tubo de Escape Vehículos	203,73	2,23	212.502,41	10,54	1.453,04	54,58	54,36	22,61	663,99	26,92	54,60
Total general	**281,93**	**2,23**	**212.502,41**	**10,54**	**1.621,65**	**1.405,71**	**256,06**	**22,61**	**697,57**	**26,92**	**7.038,39**

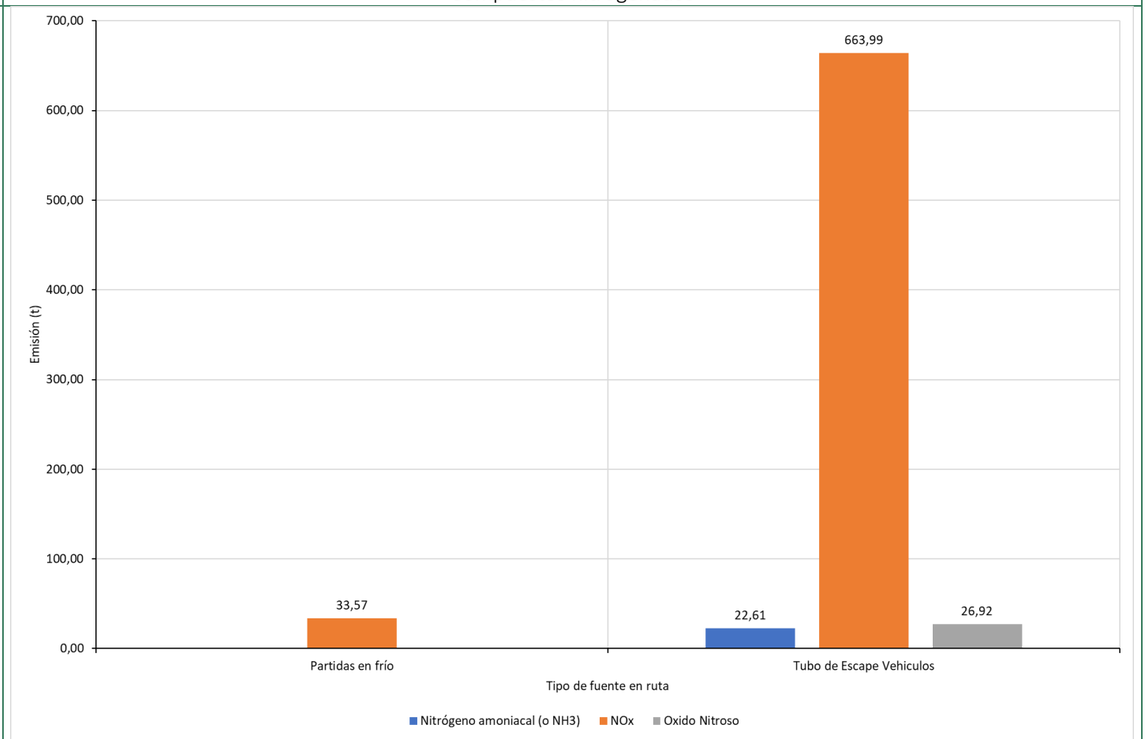
Fuente: Elaboración propia a partir de RETC (2020).

Tabla 34 – Distribución de emisiones en ruta según tipo de fuente y contaminante emitido

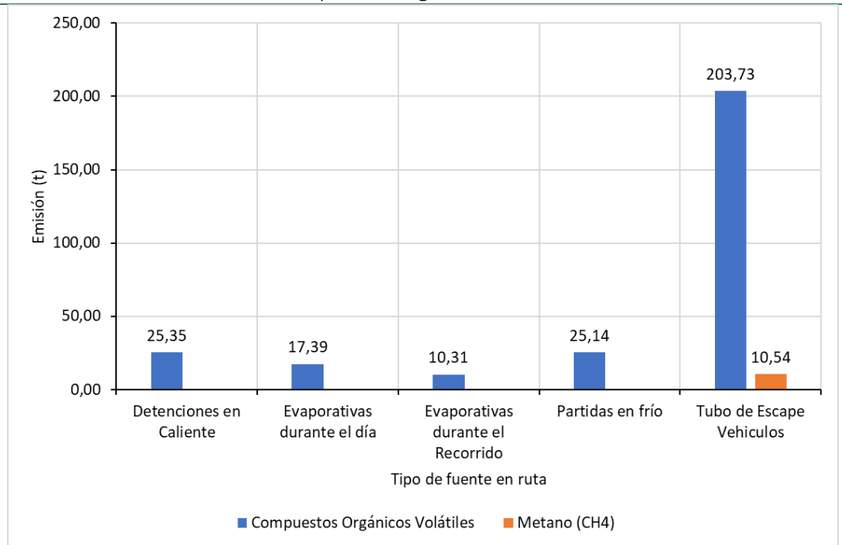
Material particulado



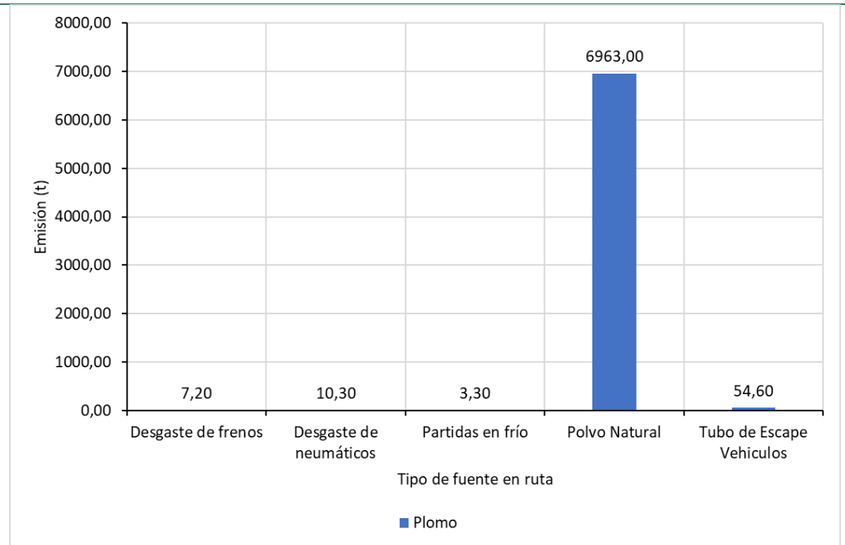
Compuestos nitrogenados



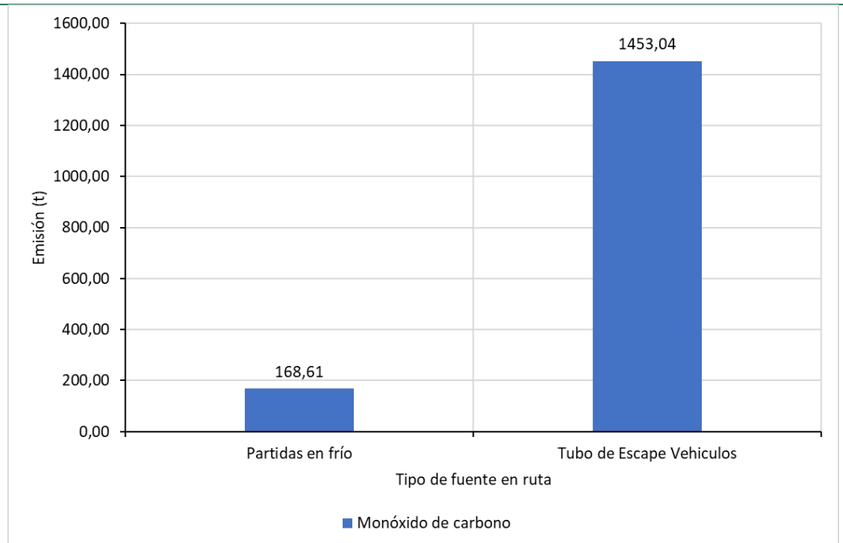
Compuestos orgánicos volátiles



Plomo



Monóxido de carbono



Fuente: Elaboración propia a partir de RETC (2020)

4.5.3 Fuentes difusas

En el caso de las fuentes difusas de contaminantes a la atmósfera consideradas y publicadas en RETC, para el año 2020 en la comuna de Iquique se estimaron emisiones provenientes de incendios urbanos, combustión de leña residencial en sectores urbanos y rurales. En cuanto a los contaminantes, se considera arsénico, carbono negro, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de azufre, dióxido de carbono, material particulado 10 y 2,5, mercurio, metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxido nitroso y plomo.

De los resultados publicados en RETC para el año 2020 en la comuna de Iquique:

- Las mayores emisiones de material particulado respirable grueso y fino se concentran en la combustión a leña en zonas rurales y los incendios urbanos, en ordenes de magnitud similares.
- Respecto los compuestos orgánicos volátiles, compuestos nitrogenados (óxidos de nitrógeno y NO_2), dióxido de azufre y dióxido de carbono estimados, la mayor fuente emisora en 2020 seguía siendo la combustión de leña residencial en zona rural.
- Contaminantes como el arsénico, mercurio y plomo fueron solo estimados para incendios urbanos, siendo la mayor emisión correspondiente a arsénico, seguido de mercurio y plomo.

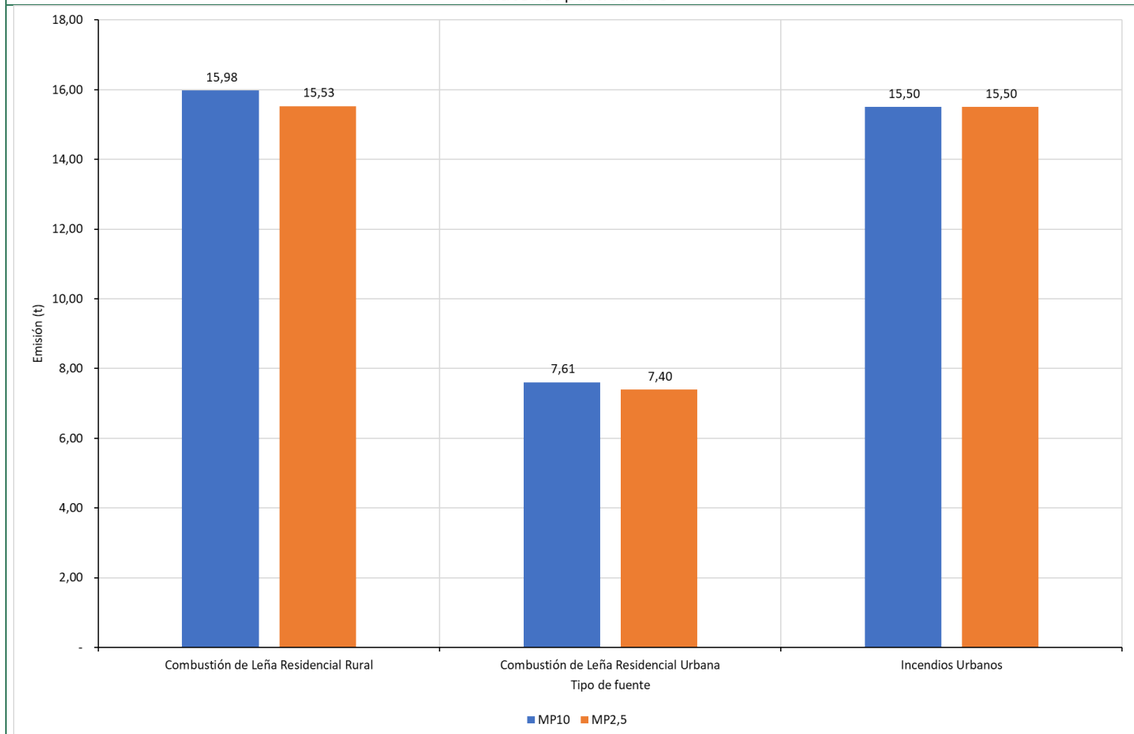
Tabla 35 – Emisiones difusas en la comuna de Iquique, año 2020

Tipo de fuente	Arsénico	Carbono Negro	Compuestos Orgánicos Volátiles	Dióxido de azufre (SO_2)	Dióxido de carbono (CO_2)	Material particulado	Mercurio	Metano (CH_4)	Monóxido de carbono	MP_{10}	$MP_{2,5}$	NO_x	Óxido Nitroso	Plomo
Combustión de Leña Residencial Rural	-	1,55	164,80	0,08	1.668,46	16,68	-	18,23	298,48	15,98	15,53	2,40	0,17	-
Combustión de Leña Residencial Urbana	-	0,74	78,50	0,04	794,75	7,94	-	8,69	142,18	7,61	7,40	1,14	0,08	-
Incendios Urbanos	1,45E-04	-	0,62	-	1.446,16	15,50	9,17E-05	-	3,37	15,50	15,50	0,08	-	4,52E-05
Total	**1,45E-04**	**2,29**	**243,92**	**0,12**	**3.909,38**	**40,13**	**9,17E-05**	**26,92**	**444,03**	**39,09**	**38,43**	**3,62**	**0,25**	**4,52E-05**

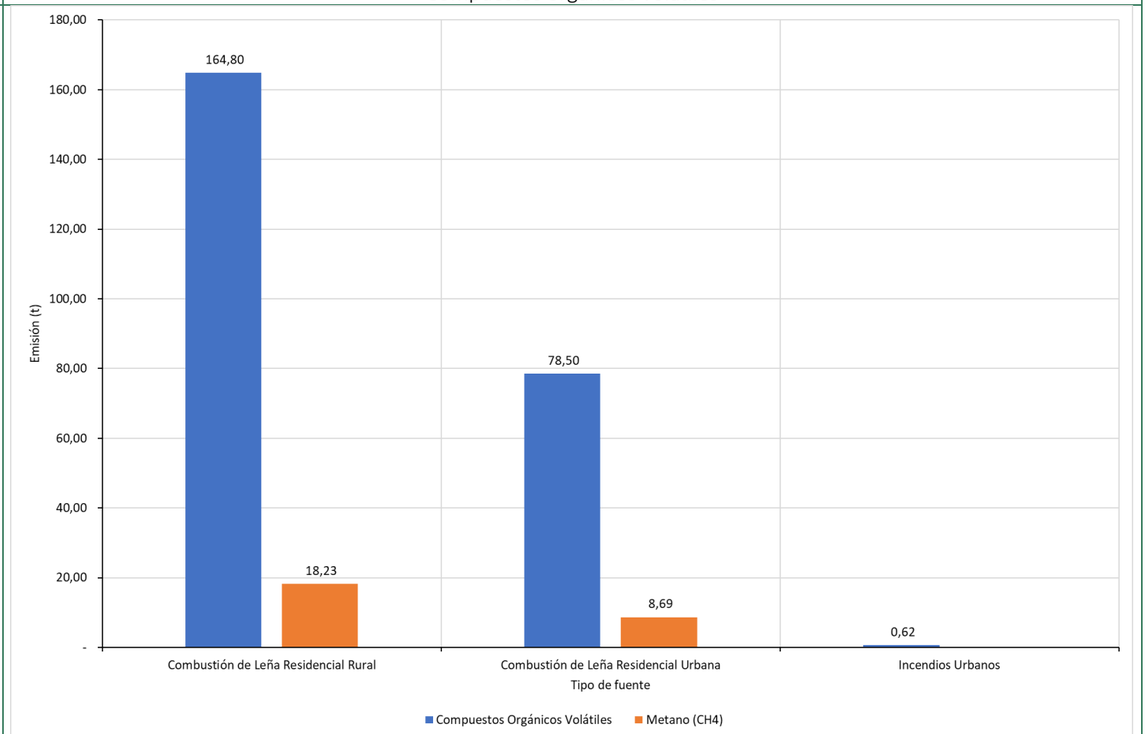
Fuente: Elaboración propia a partir de RETC (2020)

Tabla 36 – Distribución de emisión de contaminantes provenientes de fuentes difusas en la comuna de Iquique en 2020

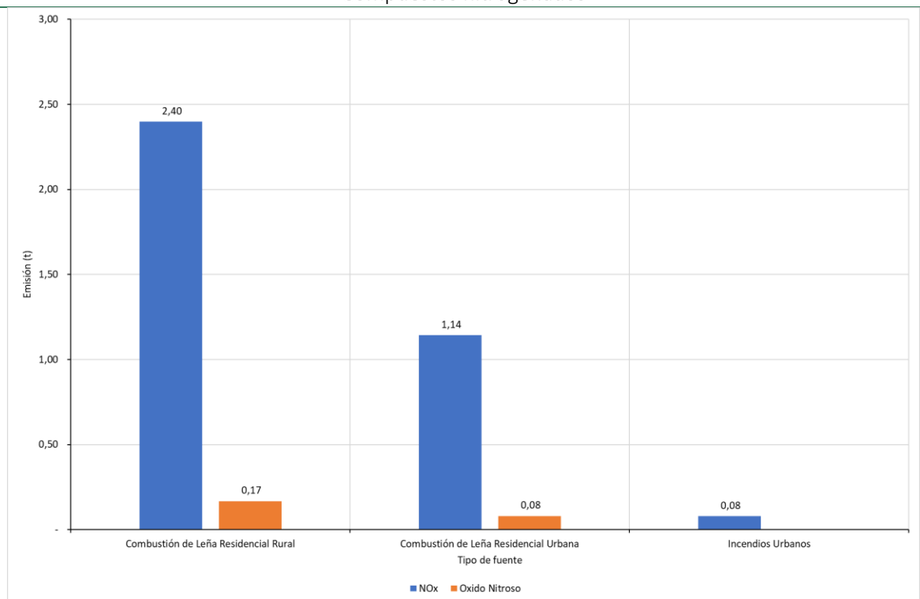
Material particulado



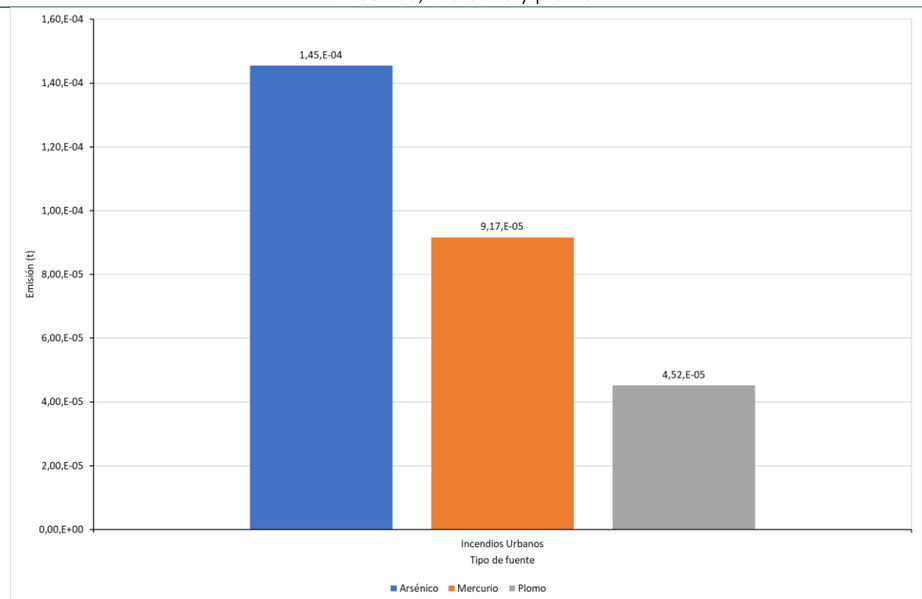
Compuestos orgánicos volátiles



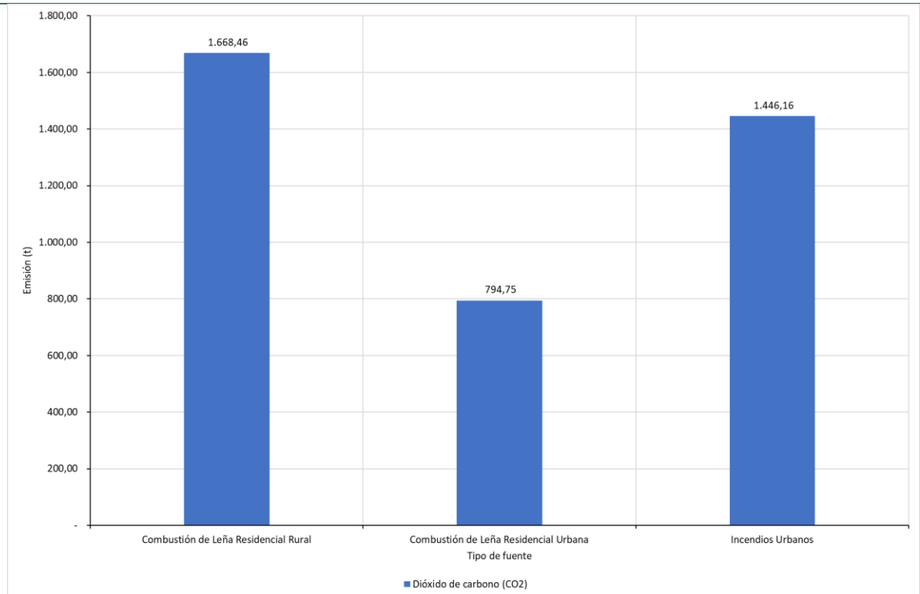
Compuestos nitrogenados



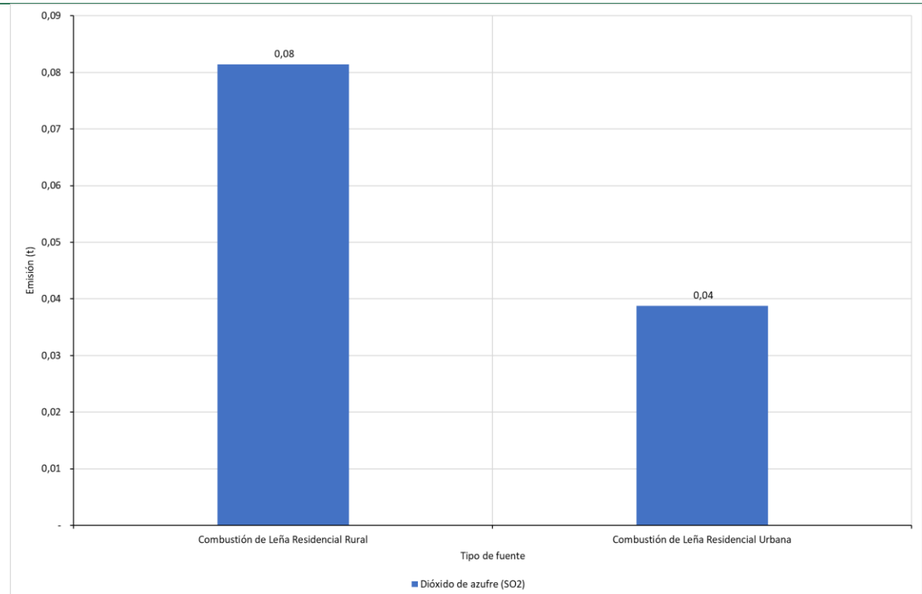
Arsénico, mercurio y plomo



Dióxido de carbono



Dióxido de azufre



Fuente: Elaboración propia a partir de RETC (2020)

4.5.4 Clima y meteorología

En cuanto el clima y meteorología del sitio, la bahía de Iquique se ubica en una zona de clima desértico cálido, BWh y, a nivel de cuenca, se incluye también la clasificación clima desértico frío, BWk. Ambas categorías acordes a la clasificación climática de Köppen y la capa *shapefile* "Zonas climáticas de Chile según Köppen-Geiger escala 1:1.500.000" del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile (2021).

A continuación, se adjunta detalle descriptivo de cada símbolo de las zonas climáticas de Köppen identificadas:

Tabla 37 – Clasificación climática, bahía de Iquique

Símbolos			Descripción	Criterio
1°	2°	3°		
B			Seco	$P < 10 \times P_{umbral}$
	W		- Desértico	$P < 5 \times P_{umbral}$
		h	- Caliente	$T \geq 18$
		k	- Frio	$T < 18$

P: Precipitación media anual (cm).
P_{umbral}: Umbral de precipitación mínima necesaria para contrarrestar evaporación debida a la temperatura.
T: Temperatura media anual (°C)

Fuente: M. C. Peel *et al*. (2007)

Para un análisis más sitio especifico, se compiló información meteorológica de las siguientes estaciones:

- Estación SINCA Alto Hospicio
- Estación DGAC Diego Aracena Iquique Ap.

Se adjunta información de utilidad respecto la estación, los parámetros medidos y utilizados en el presente informe, periodo considerado y su completitud.

Tabla 38 – Información estaciones con datos meteorológicos

Estación	Coordenadas UTM WGS84 H19S (m)	Parámetro	Periodo (Años)	Completitud (%)
SINCA Alto Hospicio	385.118 E 7.755.989 N	Temperatura (°C)	2018 - 2022	96
		Humedad relativa (%)	2017 - 2022	96
		Dirección del viento (°)	2017 - 2022	96
		Velocidad del viento (m/s)	2017 - 2022	96

Estación	Coordenadas UTM WGS84 H19S (m)	Parámetro	Periodo (Años)	Completitud (%)
DGAC Diego Aracena Iquique Ap.	376877 E 7727300 N	Temperatura (°C)	1981 - 2022	99
		Agua caída (mm)	1991 - 2018	99
		Humedad relativa (%)	1981 - 2022	99
		Dirección (°) y velocidad del viento (m/s)	1981 - 2022	

Fuente: SINCA y DGAC, 2023

A continuación, se adjunta análisis segregado por parámetro meteorológico.

4.5.4.1 Temperatura

Respecto los valores de temperatura medidos, los estadígrafos principales no muestran diferencias significativas entre estaciones.

Mediante interpretación de la mediana y promedio, se subentiende que las mediciones de temperatura se concentran cercanas a los 15°C en la estación Alto Hospicio y a los 18°C en la estación Diego Aracena Iquique Ap. A su vez, dicha interpretación se condice con los gráficos de variación diaria en la que la tendencia de valores entre los días de la semana se concentra en entre los 15,50°C y 15,55°C en Alto Hospicio y 18,60°C – 18,55°C en la estación Diego Aracena Iquique Ap.

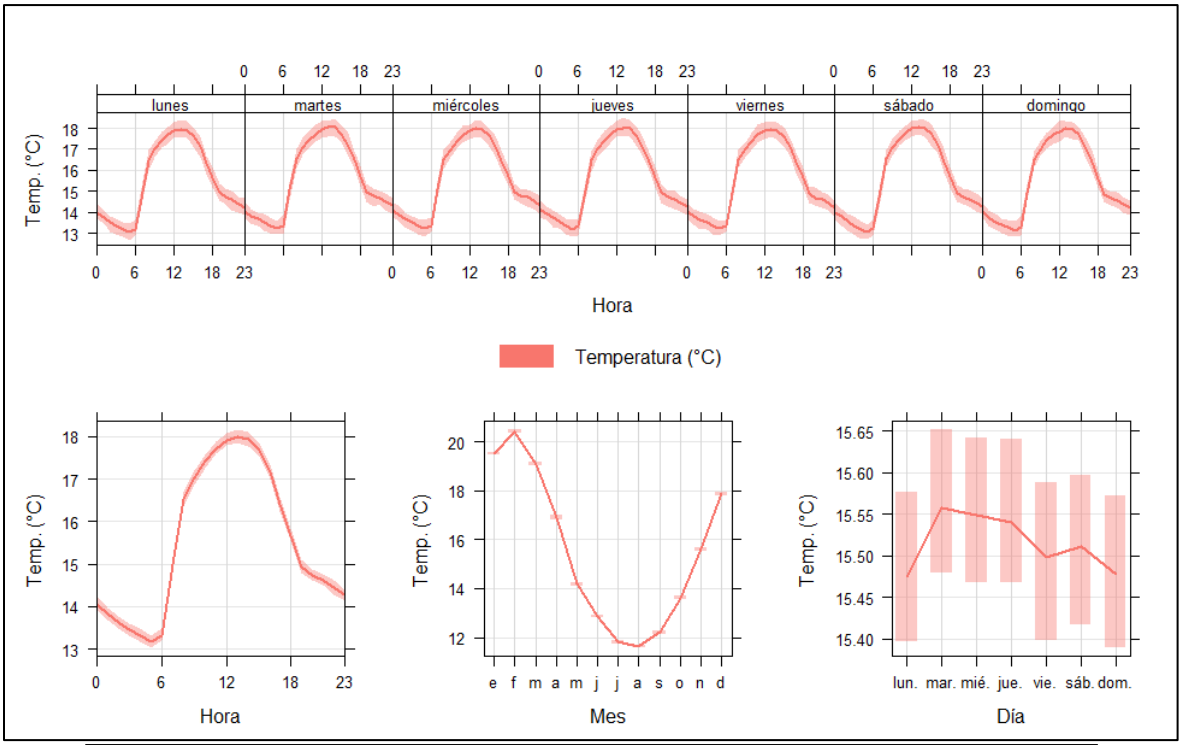
De la variación entre meses, ambas estaciones muestran una estacionalidad marcada, con mínimos de temperatura registradas entre julio-agosto y máximas en el mes de febrero, con una oscilación térmica entre los 20°C y 10°C.

Los detalles indicados en los párrafos anteriores se pueden ver en detalle en la Tabla 39, Figura 153 y Figura 154

Tabla 39 – Resumen de estadígrafos, Temperatura (°C)

Estadígrafos	SINCA Alto Hospicio	DGAC Diego Aracena Iquique Ap.
Mínimo	9,88	12,40
Mediana	15,17	18,28
Promedio	15,51	18,56
Máximo	23,75	26,73

Fuente: SINCA y DGAC, 2023



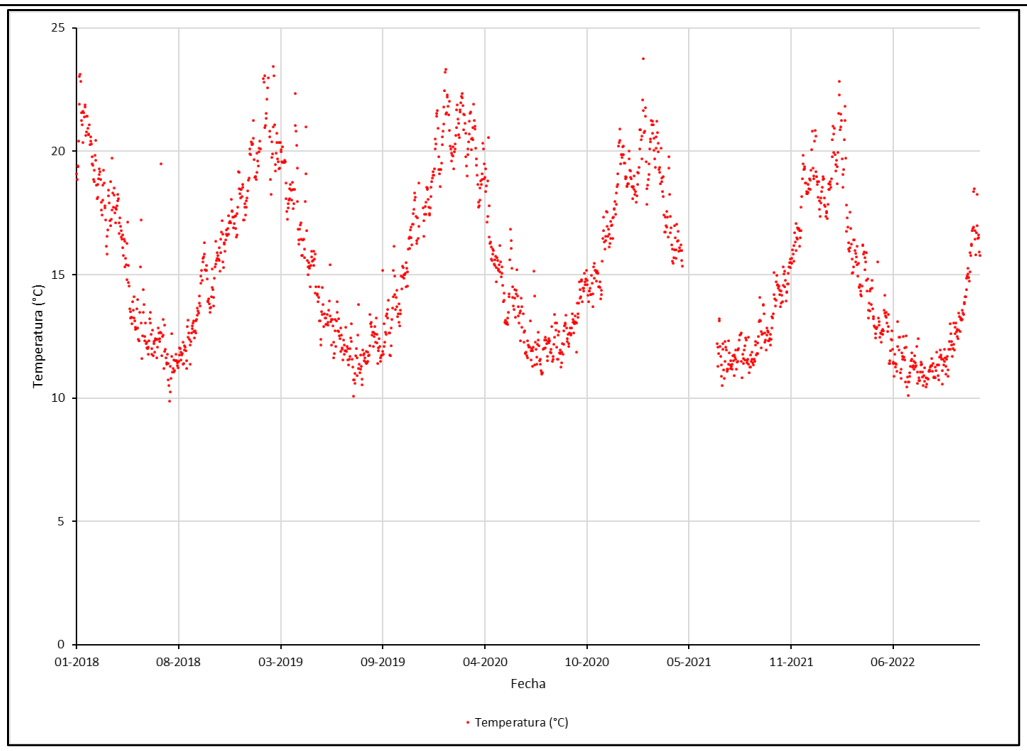
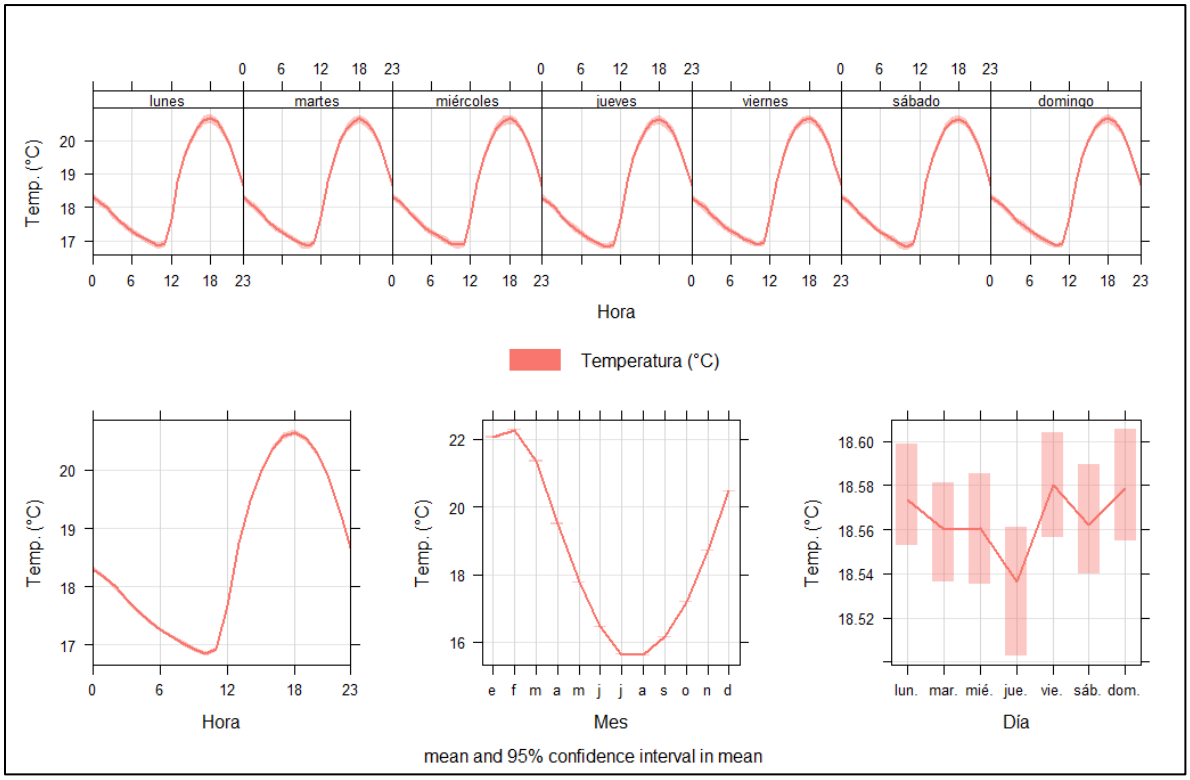


Figura 153 – Series de tiempo – Temperatura, Estación SINCA Alto Hospicio
Fuente: Elaboración en base a datos de la estación SINCA Alto Hospicio, 2023.



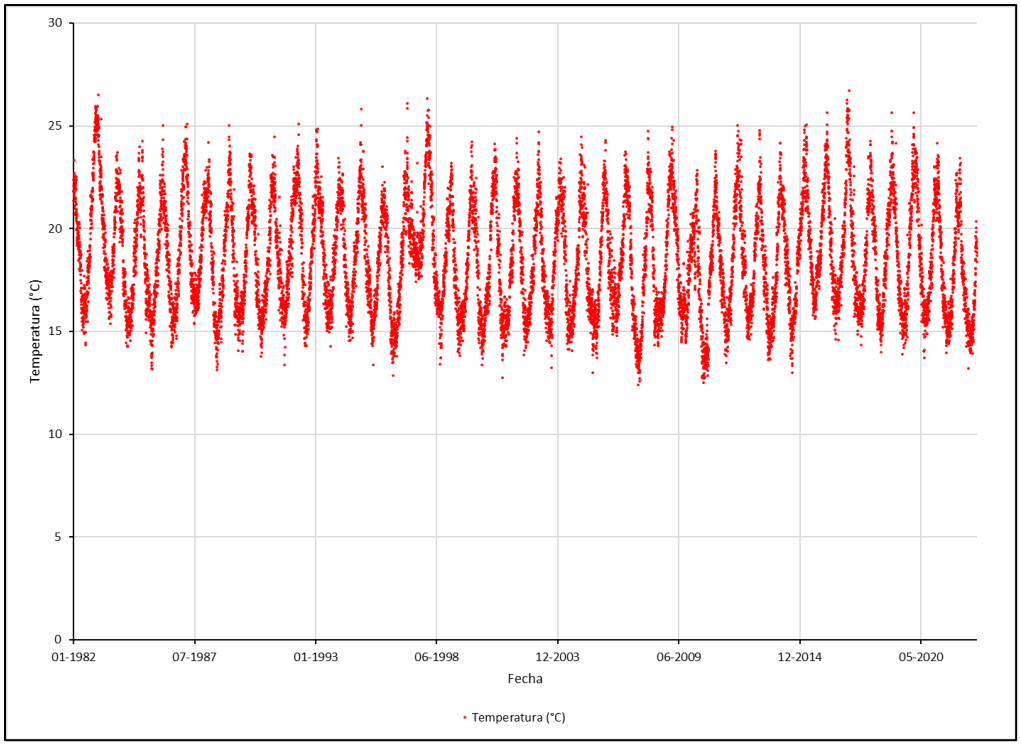


Figura 154 – Series de tiempo – Temperatura, Estación DGAC Diego Aracena Ap.
Fuente: Elaboración en base a datos de la estación DGAC Diego Aracena Ap., 2023.

4.5.4.2 Humedad relativa

Respecto los valores de humedad relativa medida, los estadígrafos principales no muestran diferencias significativas entre estaciones. De igual forma que con la temperatura, la interpretación de mediana y promedio permite discernir que los valores medidos se concentran entre los 76%-77% para la estación Alto Hospicio y los 69,50% para la estación Diego Aracena Iquique Ap.

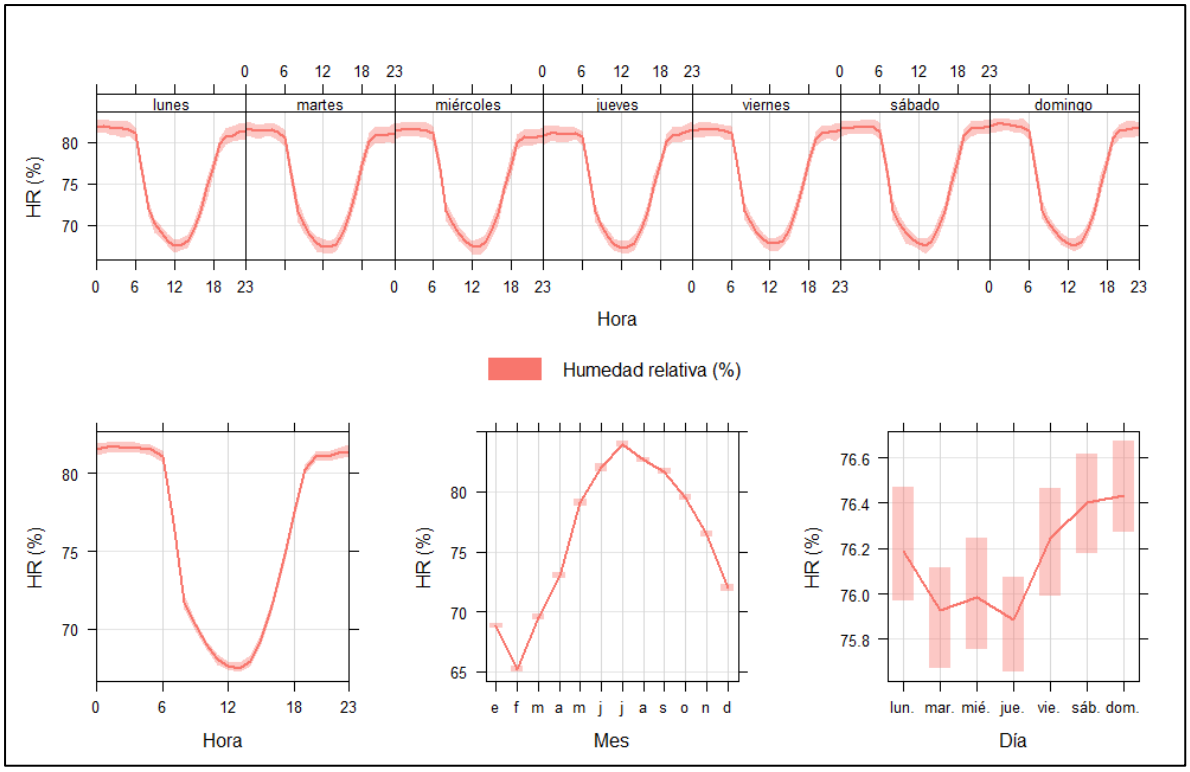
Se observa de las series de tiempo el efecto por la estacionalidad, pero la variación cuantitativa no es significativa, manteniéndose cercana al 70% y llegando hasta un 80% en los meses invernales según los registros de la estación SINCA Alto Hospicio. Respecto el comportamiento diario, la variación también es baja y los horarios de menor humedad son distintos entre estaciones; con SINCA Alto Hospicio alcanzando mínimas de alrededor de 75% a mediodía y DGAC Diego Aracena Ap. mostrando mínimas por debajo del 65% a las 18:00 horas.

Para mayor detalle del análisis realizado anteriormente, ver Tabla 40, Figura 155 y Figura 156.

Tabla 40 – Resumen de estadígrafos, Humedad relativa (%)

Estadígrafos	SINCA Alto Hospicio	DGAC Diego Aracena Iquique Ap.
Mínimo	45,29	47,46
Mediana	77,06	69,50
Promedio	76,15	69,52
Máximo	94,47	94,00

Fuente: SINCA y DGAC, 2023.



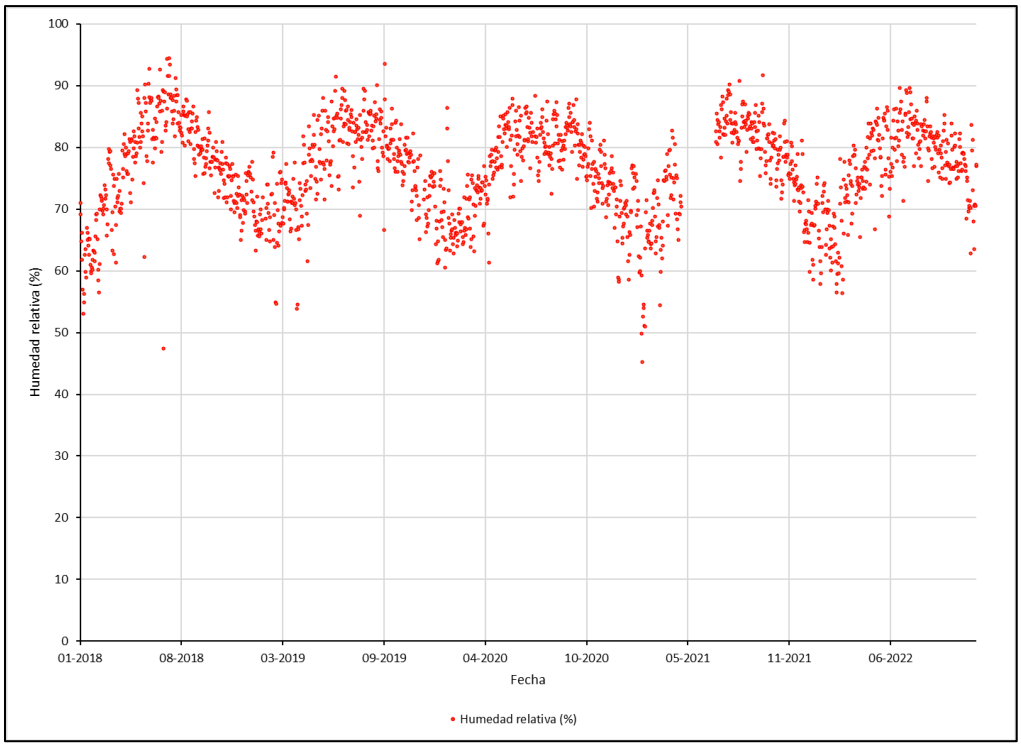


Figura 155 – Series de tiempo – Humedad relativa, Estación SINCA Alto Hospicio
Fuente: Elaboración en base a datos de la estación SINCA Alto Hospicio, 2023.

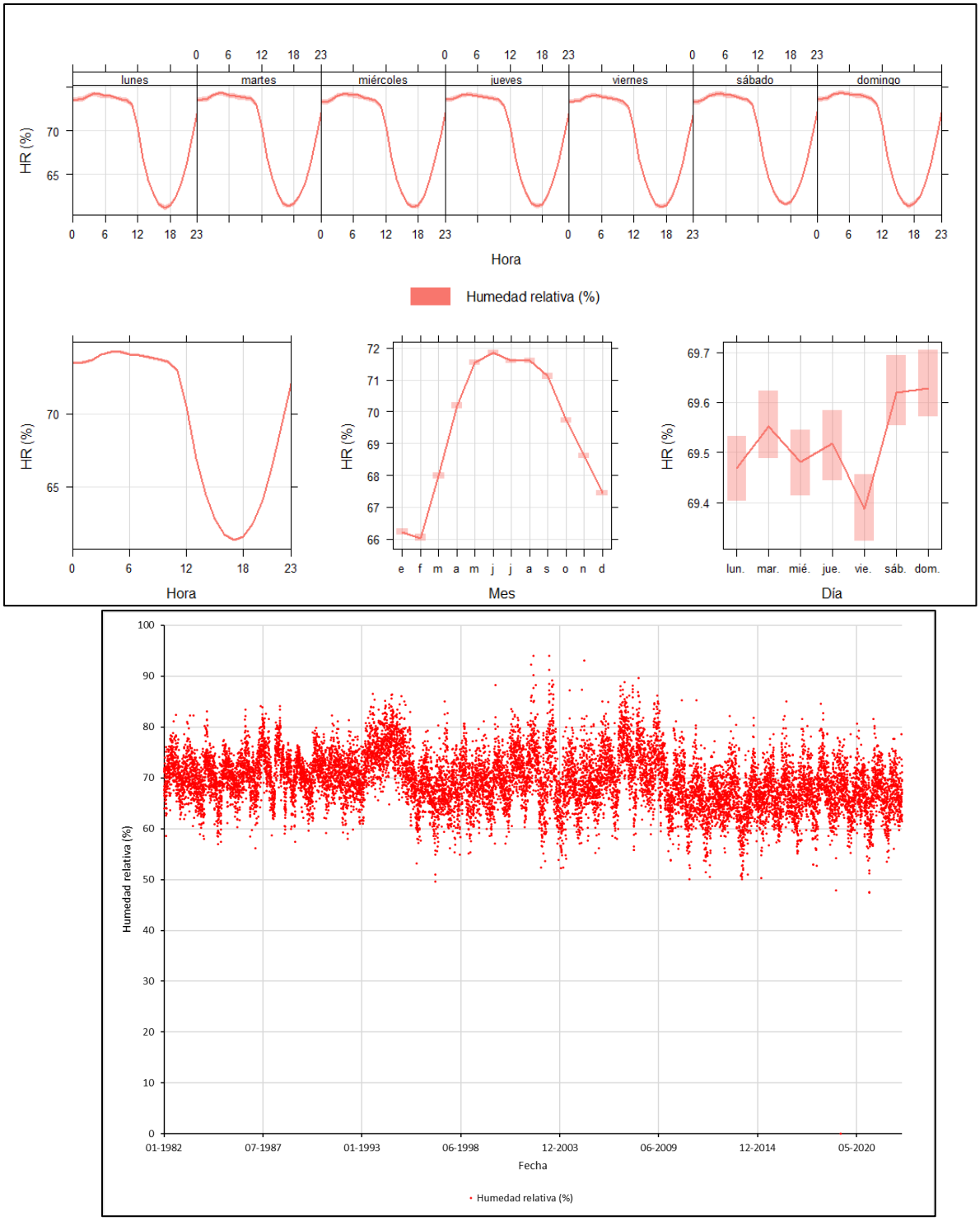


Figura 156 – Series de tiempo – Humedad relativa, DGAC Diego Aracena Ap.
Fuente: Elaboración en base a datos de la estación DGAC Diego Aracena Ap, 2023.

4.5.4.3 Precipitación

Propio de la zona climática, los promedios y mediana de precipitación apuntan hacia una zona que registra bajas precipitaciones. De hecho, de los 9.939 registros de precipitación diaria entre 1991 y 2019 hechos por la estación Diego Aracena Ap., solo se registran 15 observaciones con valores distintos a 0. Las observaciones con alta precipitación, según la medición de la estación, se puede relacionar a periodos invernales, registrando algunos eventos de lluvias cercanas a la máxima de precipitación en el periodo estival.

Tabla 41 – Resumen de estadígrafos, Precipitación (mm)

Estadígrafos	DGAC Diego Aracena Iquique Ap.
Mínimo	0,10
Mediana	0,00
Promedio	0,003
Máximo	7,90

Fuente: Elaboración en base a datos de la estación DGAC Diego Aracena Ap, 2023.

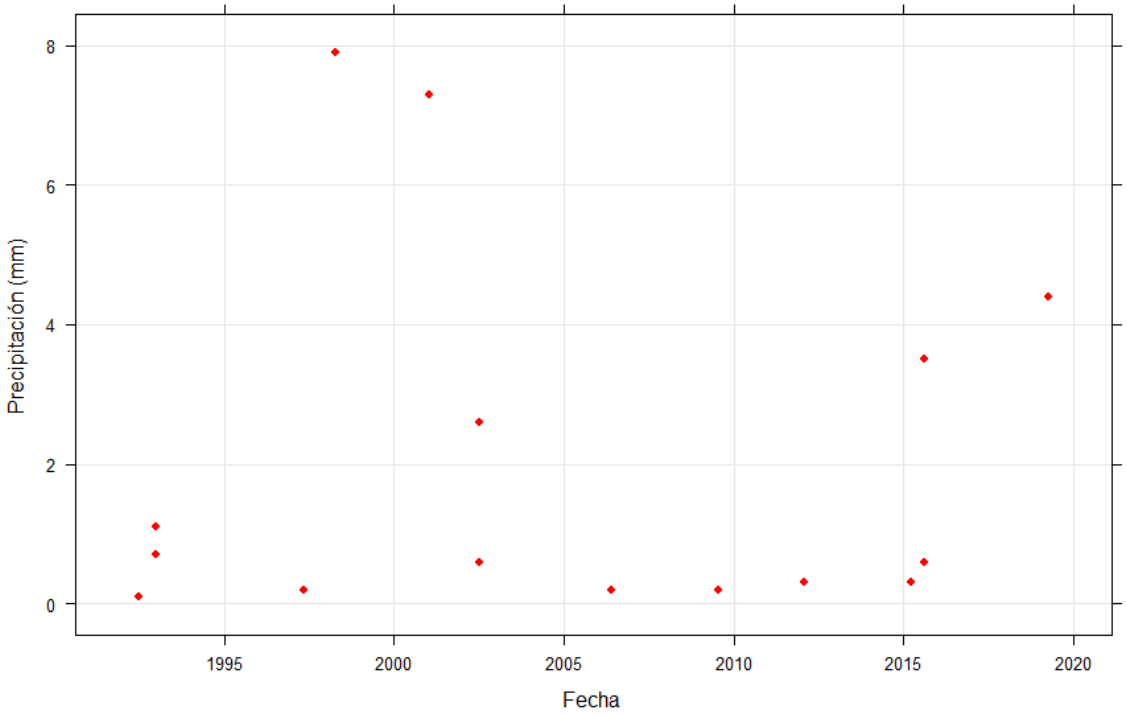


Figura 157 – Series de tiempo – Precipitación, DGAC Diego Aracena Ap.
Fuente: Elaboración en base a datos de la estación DGAC Diego Aracena Ap, 2023.

4.5.4.4 Dirección y velocidad del viento

De los datos obtenidos respecto dirección y velocidad de viento, la estación Diego Aracena Iquique Ap. Tiene registro de mayores velocidades de viento que la estación SINCA Alto Hospicio, probablemente debido a la cercanía a la costa (estación SINCA está más hacia al interior del continente). Respecto las direcciones de viento, en los estadígrafos no se ve reflejada variabilidad significativa entre promedio y mediana de la estación DGAC, al contrario de la estación SINCA, que permite denotar un poco más de dispersión de los registros de dirección hacia los extremos.

Las rosas de viento grafican de mejor forma lo anteriormente descrito. En cuanto a la estación SINCA Alto Hospicio, predominan intervalos de velocidad más bajos, específicamente el intervalo entre 2-4 m/s desde dirección Oeste y el intervalo de velocidad que le precede (0-2 m/s) se distribuye de forma casi homogénea en todas direcciones, con mayor frecuencia en dirección ENE y ONO. Respecto los datos procesados de la estación DGAC Diego Aracena Iquique Ap., denota mayor distribución en los distintos intervalos de velocidad dispuestos en el gráfico, distribuyendo los intervalos desde los 2 a los 18 m/s en proporciones similares. Las mayores velocidades se registran desde dirección SSO, S y OSO.

Tabla 42 – Resumen de estadígrafos, dirección (°) y velocidad (m/s) del viento

Estadígrafos	Dirección del viento (°)		Velocidad del viento (m/s)	
	SINCA Alto Hospicio	DGAC Diego Aracena Iquique Ap.	SINCA Alto Hospicio	DGAC Diego Aracena Iquique Ap.
Mínimo	0	0	0,84	1,07
Mediana	262	200	1,49	3,60
Promedio	204	184	1,73	3,88
Máximo	360	360	5,90	18,00

Fuente: SINCA y DGAC, 2023

.

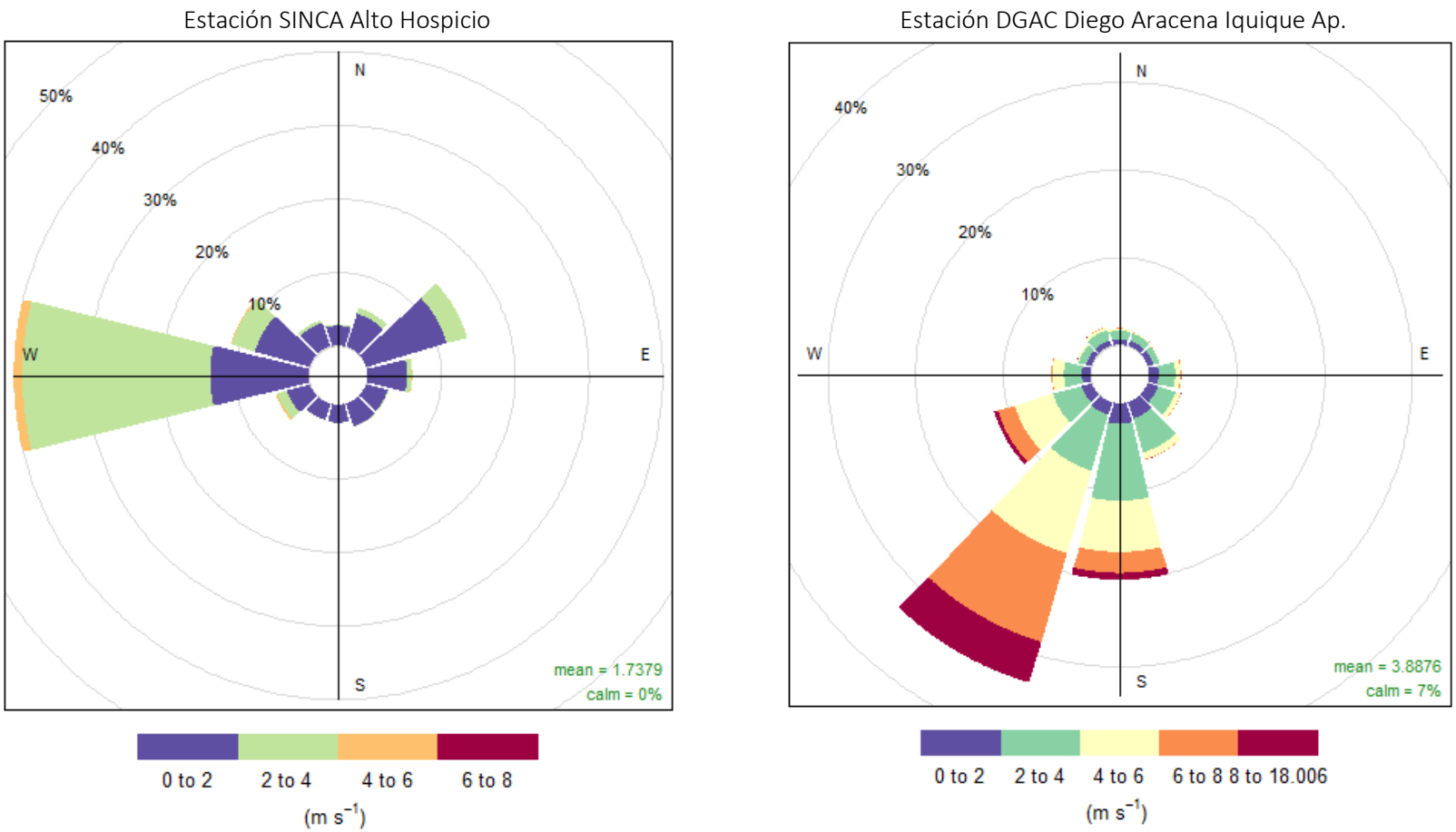


Figura 158 – Rosas de viento, estación SINCA Alto Hospicio y DGAC Diego Aracena Iquique Ap.
Fuente: SINCA y DGAC, 2023.

4.5.5 Calidad del aire

Según el informe "Diagnóstico y Seguimiento Calidad del Aire Arica-Iquique-Alto Hospicio" desarrollado por SETEC en 2006, se registraron valores máximos de concentraciones promedio de 24 horas entre los 280 y 360 µg/m^{3}N. Para dicho periodo, se recomienda el desarrollo de un programa de seguimiento con monitoreo continuo de material particulado respirable grueso y fino junto con el seguimiento de variables meteorológicas básicas (dirección y velocidad del viento, temperatura y radiación solar) ya que algunas mediciones sobrepasan los límites considerados como normativa de referencia.

En el marco de mismo estudio, se hizo una especiación de los filtros utilizados para el monitoreo verificando las concentraciones de plomo y cadmio en las muestras de material particulado. Para ambos elementos, las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado en dicho estudio.

Como parte de las conclusiones del "Diagnóstico y Propuestas de Acción de los Problemas Ambientales de la Región de Tarapacá" respecto la calidad del aire en Iquique, de la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos, no se identifica superación de MP_{10}, SO_2 y NO_2 para sus límites de concentración diaria ni CO para su límite de concentración horario y promedio de 8 horas. Sin perjuicio de lo anterior, se establece que los mayores aportantes de los contaminantes anteriormente mencionados para el periodo de dicho estudio corresponden al crecimiento de la actividad industrial y el tránsito vehicular.

Para un análisis bibliográfico más actualizado de las condiciones de calidad del aire del área de estudio, se consideró la data presentada como parte de la Línea de Base de Calidad del Aire del Estudio de Impacto Ambiental "Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi" presentada a evaluación ambiental en diciembre de 2018 y aprobado mediante la Res. Ex. N° 20219900112 de diciembre de 2021. Para dicho proyecto, las estaciones más cercanas al área de la bahía de Iquique son las siguientes:

Tabla 43 – Coordenadas de estación más cercanas a bahía de Iquique

Estación	Coordenada UTM, Datum WGS 84 Huso 19 S (m)		Variable
	Este	Norte	
Caleta Cañamo	376.810	7.699.690	MP_{10}, $MP_{2,5}$
Chanavayita	376.100	7.709.970	MP_{10}, $MP_{2,5}$
Salinas Punta Lobos	377.221	7.706.012	SO_2, NO_2, CO
Punto Máximo Impacto	352.524	7.236.146	SO_2, NO_2, CO

Fuente: Arcadis (2018)

A continuación, se disponen las tablas resumen con las concentraciones obtenidas como línea de base en las estaciones más cercanas a la bahía de Iquique y su relación con las normativas de calidad del aire existentes.

Tabla 44 – Resumen de concentración de MP_{10} de las estaciones de calidad del aire cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°11/21.

Estadígrafo	Estación	Periodo	Línea de Base	Norma	Unidad	% de la Norma
P98 24 hrs	Caleta Cáñamo	2013	49	130	µg/m³N	38%
		2014	116			89%
		2015	51			39%
		2016	43			33%

Estadígrafo	Estación	Periodo	Línea de Base	Norma	Unidad	% de la Norma
		2017	49			38%
	Chanavayita	2013	54			42%
		2014	95			73%
		2015	64			49%
		2016	64			49%
		2017	85			65%
Promedio Anual	Caleta Cáñamo	2013	27	50	µg/m³N	54%
		2014	35			70%
		2015	24			48%
		2016	24			48%
		2017	30			60%
	Chanavayita	2013	27			54%
		2014	32			64%
		2015	30			60%
		2016	29			58%
		2017	37			74%

Fuente: Arcadis (2018)

Según lo dispuesto en la tabla anterior, adaptada con el límite diario nuevo establecido en el D.S. N°11/21, entre 2013 y 2017 no se registran superación del límite de concentración diaria ni del límite de concentración anual entre los años 2013 a 2017. Misma situación, se da con las concentraciones de $MP_{2,5}$ en el mismo rango de años.

Tabla 45 – Resumen de concentración de $MP_{2,5}$ de las estaciones de calidad del aire, cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°12/11.

Estadígrafo	Estación	Periodo	Línea de Base	Norma	Unidad	% de la Norma
P98 24 hrs	Caleta Cáñamo	2013	21	50	µg/m³	42%
		2014	35			70%
		2015	23			46%
		2016	22			44%
		2017	21			42%
	Chanavayita	2013	26			52%
		2014	26			52%
		2015	37			74%
		2016	27			54%
		2017	24			48%
Promedio Anual	Caleta Cáñamo	2013	12	20	µg/m³	60%
		2014	14			70%
		2015	12			60%
		2016	13			65%
		2017	12			60%
	Chanavayita	2013	14			70%
		2014	14			70%
		2015	14			70%

Estadígrafo	Estación	Periodo	Línea de Base	Norma	Unidad	% de la Norma
		2016	13			65%
		2017	12			60%

Fuente: Arcadis (2018)

Como se muestra en la Tabla 46, Tabla 47 y Tabla 48, no hay superación normativa de gases en las estaciones utilizadas para el desarrollo de la Línea de base anteriormente citada. Es importante destacar que, en el marco del presente estudio, se actualizaron los límites de concentración de SO_2 por las normativas primarias y secundarias vigentes manteniendo la condición de cumplimiento.

Tabla 46 - Resumen de concentración de NO_2 de las estaciones de calidad del aire, cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°114/03.

Estadígrafo	Estación	Periodo	Línea de Base	Norma µg/m³N	% de la Norma
P99 Máx. 1 hrs	Salinas Punta Lobos	2013	51	400	13%
		2014	118		30%
		2015	136		34%
		2016	186		47%
		2017	56		14%
	Punto Máximo Impacto	2013	50		12%
		2014	100		25%
		2015	115		29%
		2016	67		17%
		2017	32		8%
Promedio Anual	Salinas Punta Lobos	2013	8	100	8%
		2014	-		-
		2015	18		18%
		2016	-		-
		2017	-		-
	Punto Máximo Impacto	2013	5		5%
		2014	-		-
		2015	14		14%
		2016	8		8%
		2017	-		-

Fuente: Arcadis (2018)

Tabla 47 - Resumen de concentración de SO_2 de las estaciones de calidad del aire, cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°114/19 y D.S. N°22/09.

Estadígrafo	Estación	Periodo	Línea de Base	Norma primaria	% de la Norma primaria	Norma secundaria	% de la Norma secundaria
P99 24 hrs	Salinas Punta Lobos	2013	128	150	85%	365	35%
		2014	114		76%		31%
		2015	65		43%		18%
		2016	23		15%		6%
		2017	6		4%		2%
	Punto Máximo Impacto	2013	66		44%		18%
		2014	74		49%		20%
		2015	94		63%		26%
		2016	132		88%		36%
		2017	5		3%		1%
Promedio Anual	Salinas Punta Lobos	2013	23	60	38%	-	-
		2014	-		-		-
		2015	16		27%		-
		2016	-		-		-
		2017	-		-		-
	Punto Máximo Impacto	2013	13		22%		-
		2014	-		-		-
		2015	41		68%		-
		2016	20		33%		-
		2017	-		-		-

Fuente: Arcadis (2018)

Tabla 48 - Resumen de concentración de CO de las estaciones de calidad del aire, cercanas a la bahía de Iquique - D.S. N°115/02.

Estadígrafo	Estación	Periodo	Línea de Base	Norma (µg/m³N)	% de la Norma
P99 1 hrs	Salinas Punta Lobos	2013	963	30000	3%
		2014	-		-
		2015	3.454		12%
		2016	1.644		5%
		2017	610		2%
	Punto Máximo Impacto	2013	269		1%
		2014	-		-
		2015	-		-
		2016	1.544		5%
		2017	660		2%
P99 8 hrs	Salinas Punta Lobos	2013	641	10000	6%
		2014	-		-
		2015	1.425		14%
		2016	943		9%
		2017	570		6%
	Punto Máximo Impacto	2013	228		2%
		2014	-		-
		2015	-		-
		2016	894		9%
		2017	660		7%

Fuente: Arcadis (2018)

A continuación, se dispone la información disponible en la estación SINCA más cercana a la bahía de Iquique, ubicada en las siguientes coordenadas:

Tabla 49 – Ubicación Estación SINCA Alto Hospicio

Nombre	Coordenada UTM, Datum WGS 84 Huso 19 S (m)	
	Este	Norte
Alto Hospicio	385118	7755989

Fuente: SINCA (2022).

La estación Alto Hospicio mantiene registros de concentración de material particulado respirable fino además de variables meteorológicas básicas desde mitades del año 2016 a la fecha, sin embargo, para el análisis de estadígrafos y su comparación con los límites normativos, se consideró el periodo 2017 a 2021.

De los datos dispuestos en la Tabla 50, se establece una tendencia a la baja entre 2017 a 2020, volviendo a subir las concentraciones para el año 2021. Dicho comportamiento es levemente perceptible en la Figura 159, en la que adicional a la tendencia se ve la marcada estacionalidad del contaminante registrado por la estación; bajando sus concentraciones en periodos estivales y subiendo para el periodo invernal.

Tabla 50 – Estadígrafos de concentraciones diarias $MP_{2,5}$ registradas en la estación SINCA Alto Hospicio

Año	Concentración diaria $MP_{2,5}$ (µg/m³)		
	Valores máximos	Valores mínimos	Promedio
2017	28,58	2,76	12,59
2018	35,00	2,08	11,14
2019	24,42	3,13	11,03
2020	29,46	3,55	10,33
2021	31,75	3,29	12,16

Fuente: SINCA (2022).

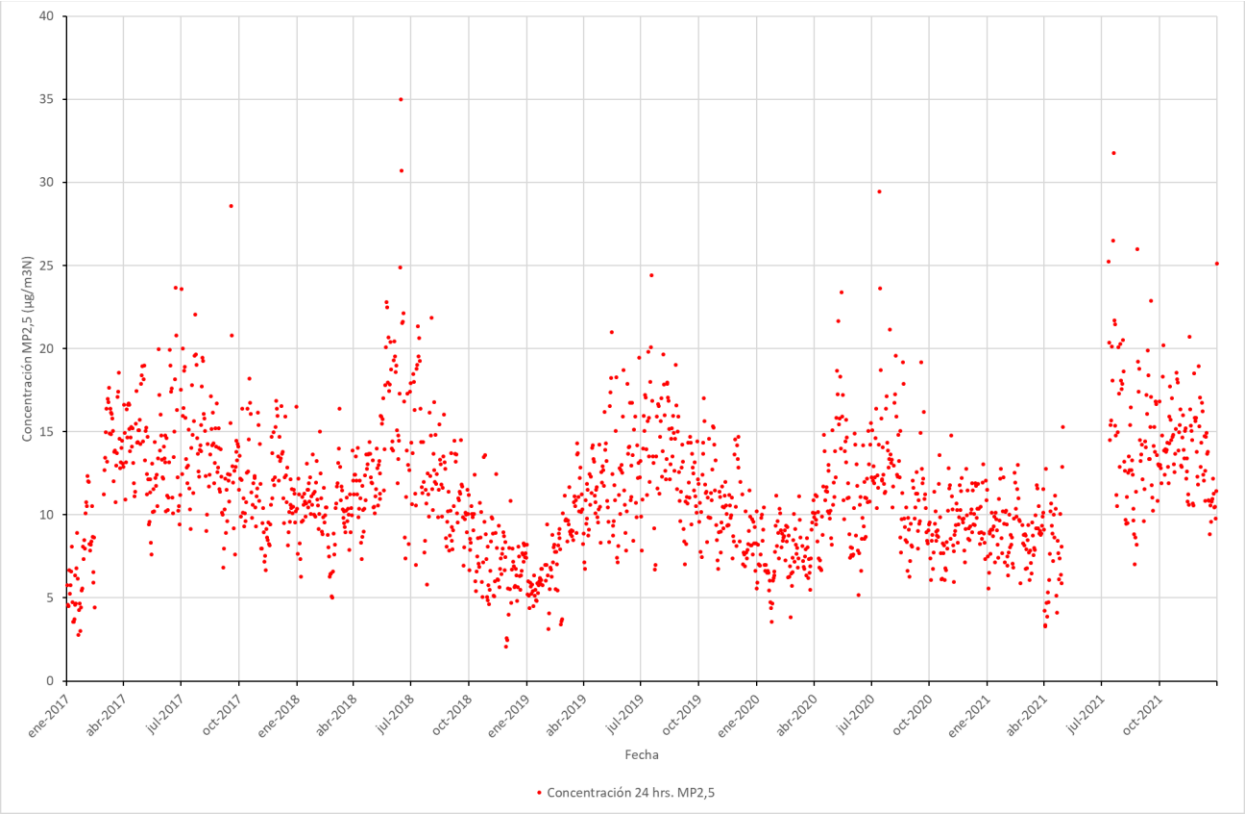


Figura 159 – Concentraciones diarias $MP_{2,5}$ registradas en la estación SINCA Alto Hospicio
Fuente: SINCA (2022).

Respecto su variación horaria promedio entre los años 2017 a 2020, se observan valores peak en los horarios de las 06:00 y las 21:00, periodos del día caracterizados por alta estabilidad atmosférica lo que podría asociarse al incremento en su concentración y su descenso a medida que pasa el día y se dan las correspondientes variaciones de temperatura, presión, velocidad y dirección de viento que podrían aportar a la baja de concentración.

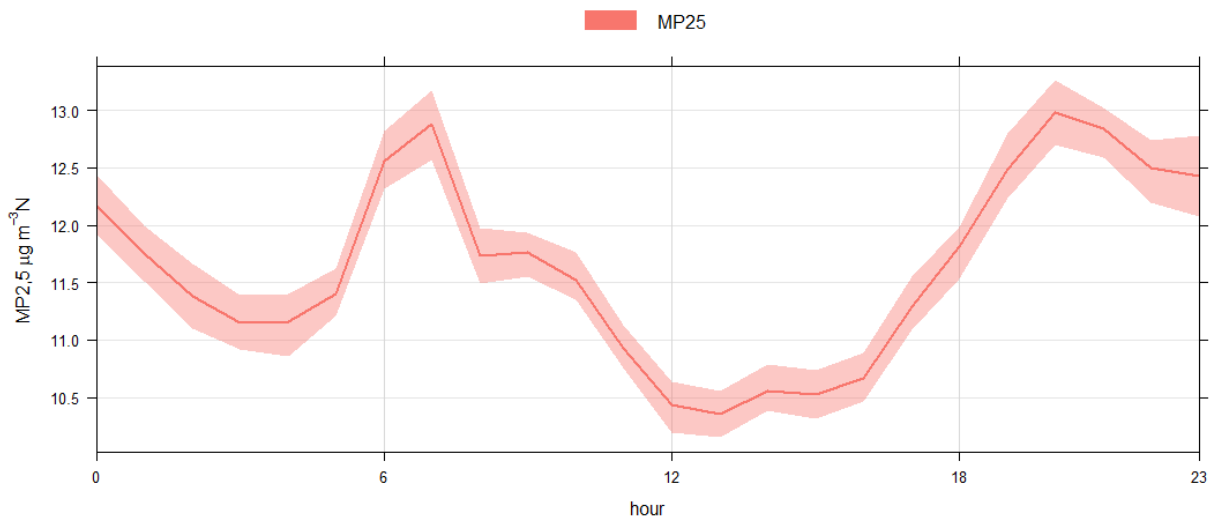


Figura 160 – Comportamiento horario promedio de los registros de $MP_{2,5}$ en la estación SINCA Alto Hospicio
Fuente: SINCA (2022).

Finalmente, respecto los límites normativos establecidos en el D.S. N° 12/11, en la Tabla 51 y Tabla 52 se dispone la relación de los estadígrafos obtenidos mediante los registros de la estación Alto Hospicio con los límites normativos correspondientes. Tanto para el límite de concentración diaria como para el límite de concentración anual, no se registra superación normativa por lo que se descarta efectos adversos en la calidad del aire.

Tabla 51 – Resumen de concentración y limite normativo diario de $MP_{2,5}$ de la estación SINCA Alto Hospicio

Año	Promedio	Percentil 98 diario	Límite normativo (µg/m³N)	Porcentaje respecto al límite normativo
2017	12,65	19,95	50	40%
2018	11,17	21,60		43%
2019	11,06	18,67		37%
2020	10,31	19,04		38%
2021	12,13	21,92		44%

Fuente: SINCA (2022).

Tabla 52 – Resumen de concentración y limite normativo anual de $MP_{2,5}$ de la estación SINCA Alto Hospicio

Periodos trianuales	Promedio trianual	Límite normativo (µg/m³N)	Porcentaje respecto al límite normativo
2017-2019	11,63	20	58%
2018-2020	10,85		54%
2019-2021	11,17		56%

Fuente: SINCA (2022).

5 Diagnóstico de la calidad ambiental y biodiversidad de la bahía de Iquique

A continuación, se presentan un diagnóstico por matriz conclusiones generales para cada matriz ambiental analizada en las secciones anteriores.

5.1 Diagnóstico de calidad ambiental y biodiversidad

5.1.1 Columna de agua

Se registraron concentraciones de metales (cobre, cromo, mercurio y zinc) elevadas por sobre el nivel de referencia adoptado. De estos, se desestimó el mercurio ya que la mayoría de los análisis correspondería a muestras bajo el nivel de detección, siendo este superior al nivel de referencia. En el caso del cobre, los niveles estuvieron por sobre el nivel de referencia generalmente, especialmente para los puntos 050 y 120 que corresponden a la Zona Portuaria (ZP) específicamente a las playas de El Colorado y La Puntilla respectivamente. Por otra parte, si bien las concentraciones de cromo total y zinc total registran valores por sobre los valores de referencia, los niveles disueltos de estos elementos están por debajo de los valores guía, por lo que no se estiman como problemáticos.

Con respecto a los nutrientes, se observa valores constantemente elevados de fosfatos y fósforo total. Para este último analito también se observa mayores niveles generalmente en las estaciones 050 y 120. El nitrógeno Kjeldahl también reportó concentraciones elevadas hasta el año 2000, pero los periodos posteriores presentaron niveles bajo la referencia.

Finalmente, no se observa evidencia de concentraciones en agua de otros contaminantes del tipo hidrocarburos. Se observa sí oxígeno disuelto levemente bajo a bajo, y coliformes fecales que han excedido en algunas oportunidades con respecto a normativa internacional (pero no la chilena) en la estación 090 “Muelle Naval” y especialmente en la estación 050 “Playa El Colorado”.

Figura 161 – Ubicación de puntos de muestreo de agua y potenciales fuentes de contaminación

5.1.2 Sedimentos

Los análisis de metales en sedimento indican contenidos sobre niveles de referencia de cadmio, cobre y mercurio, además de valores sobre los reportados por la estación “control” (190), en algunos puntos de muestreo. La mediana de cada analito no excedió el nivel de referencia, y solo el promedio de cadmio, cobre y mercurio excedió la referencia. Los valores máximos de cadmio, cromo y plomo se obtuvieron en la estación 100 denominada “Muelle Naval” dentro del área Zona Portuaria (ZP) durante el año 2001.

Con respecto a los nutrientes en sedimentos, se observan concentraciones relativamente altas de fósforo y nitrógeno Kjeldahl en algunos años con respecto al punto control (190). Las mayores concentraciones de fósforo en promedio se presentan en las estaciones 100, 110 y 140, las primeras dos en la Zona Portuaria (ZP) y la última en la Zona Turística (ZT) de Playa Cavancha. Por otra parte, las mayores concentraciones de nitrógeno Kjeldahl en promedio se presentan en las estaciones 080, 110 y 120, todas en la Zona Portuaria (ZP).

Figura 162 – Ubicación de puntos de muestreo de sedimentos y potenciales fuentes de contaminación

Los análisis de hidrocarburos indican concentraciones por sobre el nivel de referencia y por sobre la estación control (190). Además, se observa niveles detectables de PCBs y HAPs en algunos puntos de muestreo. Las mayores concentraciones de hidrocarburos en promedio se presentan en las estaciones 080, 110 y 120, todas en la Zona Portuaria (ZP).

En cuanto a compuestos orgánicos, se detectaron PCBs en las estaciones 060, 100 y 120 y HAPs en las estaciones 020, 050 y 060, en Zona Portuaria (ZP); sector sur y norte respectivamente.

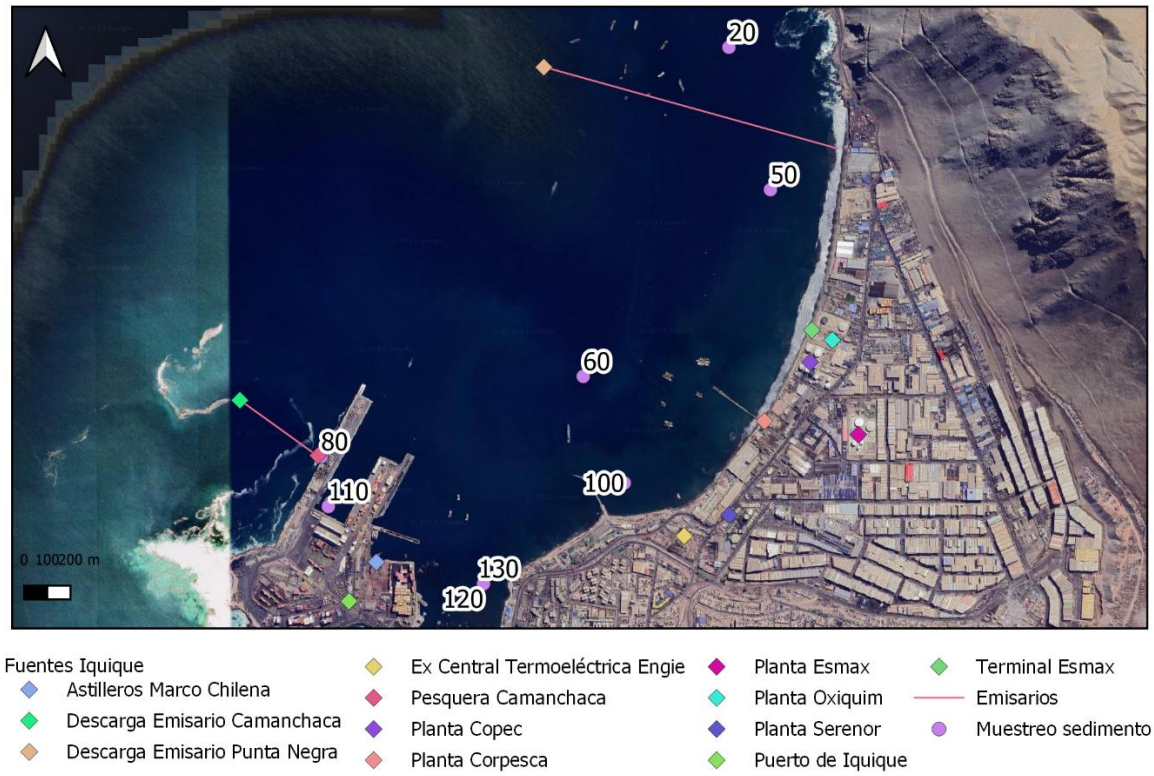


Figura 163 – Ubicación de puntos de muestreo de sedimentos y potenciales fuentes de contaminación en zona portuaria

5.1.3 Biota (bioacumulación)

Los análisis de metales en biota indicaron concentraciones consistentemente sobre el nivel de referencia para arsénico y cadmio. En el caso de otros metales como cobre y zinc, los niveles se mostraron elevados hasta el año 2000, pero los últimos monitoreos muestran valores menores a los niveles de referencia. Mercurio y plomo por otra parte, muestran peaks aislados, mientras que cromo no posee nivel de referencia, pero muestra concentraciones decrecientes. No se indican tendencias en cuanto a los diferentes puntos muestreados. Se encontraron los mayores niveles en las estaciones 170 y 180, en la puntilla de Playa Cavancha y en Playa Brava de la Zona Turística (ZT). Cabe notar que el muestreo no incluyo estaciones en la Zona Portuaria (ZP).

Los análisis de coliformes en biota indicarían una tendencia al alza desde el año 2008, sin embargo, el último año muestreado (2017) indica concentraciones menores al nivel de referencia. No se puede indicar tendencias por punto muestreado, dado lo esporádicos de los datos. Sin embargo, al igual que los metales, las mayores concentraciones de coliformes en biota se encontraron en los puntos 170 y 180.

Figura 164 – Ubicación de puntos de muestreo de biota y potenciales fuentes de contaminación

5.1.4 Monitoreo de biota

El análisis histórico de curvas ABC muestra una evolución de perturbación moderada a leve de los ensambles macro-infaunales en la Bahía de Iquique.

El análisis de información sobre los métodos de cuantificación y variación temporal y espacial de la macro-infauna submareal presentado aquí ha producido los siguientes principales hallazgos:

- Existen diferencias importantes en las metodologías de obtención (tipo de draga, número de réplicas) y análisis de datos (método de integración de réplicas) dentro y entre PVAs.
- Existe una escasa variabilidad en las variables respuesta (riqueza, abundancia, biomasa, diversidad, uniformidad) asociada a la estacionalidad (otoño, invierno, primavera, verano) y sitio de muestreo (ej. mayor riqueza y abundancias y menor uniformidad en zona control vs referencia de Corpesca), pero con las distintas metodologías de obtención y análisis de datos entre consultoras debiendo ser tomada en cuenta al analizar estas bases de datos.
- La variación espacial y temporal del índice W, basado en la respuesta de los ensambles submareales de fondo blando hacia perturbación antrópica (Clarke and Warwick, 1994), muestra desde una moderada (W ~ 0) a leve perturbación de los ensambless macro-infaunales durante el periodo 2013-2021 (W >> 0) en la Bahía de Iquique. Esta variación en el índice W promedio, basado en análisis de varianza de 1 vía, es significativamente independiente de la estación y sitio de muestreo ($p > 0.05$), pero en el caso de Corpesca y Camanchaca el cambio de consultora produjo cambios significativos ($p < 0.05$) en este índice de perturbación ambiental. Mientras es posible separar latitudinalmente el sitio control de los referenciales de Camanchaca, los sitios referenciales y control de Corpesca y el Puerto de Iquique forman un sólo clúster de estaciones (i.e., réplicas geográficas). En resumen, no se encontraron impactos significativos sobre la macro-infauna atribuibles a la actividad industrial, lo cual, podría deberse a que realmente no existen impactos o que el diseño de monitoreo de los PVAs, con el sitio control dentro de la zona de influencia

portuaria, y cambios en consultora, utilizando distintas metodologías de muestreo y análisis de las muestras, impidieron detectar los impactos en la matriz biológica, lo que si fue evidenciado en indicadores fisicoquímicos de los sedimentos.

- Con respecto a la composición faunística de la Bahía en el período analizado, esta se caracterizó por presentar al grupos zoológicos Polychaeta, Mollusca y Crustacea con las mayores abundancias relativas, patrón que también es observado en el norte de Chile por Ramorino & Muñiz (1970) para la Bahía de Mejillones y Zuñiga et al., (1983) para la Bahía de Mejillones del Sur, Tarazona et al., (1991) para la Bahía Ancón en el sur del Perú y la zona central de Chile por Carrasco & Gallardo (1994) y Carrasco & Gallardo (1995) que han establecido que el componente faunístico de estas localidades contendría los mismos elementos, caracterizándose por la dominancia, tanto en abundancia como biomasa de poliquetos. Lo anterior se cruza con los datos de bajas concentraciones de oxígeno disuelto, que es concordante con la literatura y la composición dominada por poliquetos en el área de estudio.

5.1.5 Análisis de matriz aire

En cuanto a la calidad del aire del sitio, desde el año 2005 que se establece que no existiría superación normativa de contaminantes como material particulado o gases, pero si se establece incremento en las concentraciones y episodios acotados con valores de concentración importantes por lo que, desde dicha fecha, se recomienda el monitoreo continuo de material particulado en su fracción gruesa y fina junto a estadísticos meteorológicos básicos en Iquique. De la información más actualizada, se descarta superación normativa de contaminantes criterio lo que permite descartar aportes de los contaminantes del aire en la matriz acuática, sin embargo, dicha conclusión puede reforzarse con un análisis meteorológico que permitan establecer la estabilidad meteorológica del sitio y, en consecuencia, las probabilidades de depositación. Adicionalmente, la especiación de la sedimentación y del material particulado en la zona también aportarían a definir los grados de intercambio entre ambas matrices.

5.1.6 Análisis de datos RETC

Para realizar un análisis global de los datos obtenidos desde el RETC para la Bahía de Iquique se utilizará a modo de comparación y para poner en perspectiva los valores en comparación con la Bahía de Huasco, un sitio con una historia de contaminación e impacto ambiental de largo tiempo. En la Tabla 53 se presenta la comparación de emisiones anuales reportadas en el RETC entre los años 2007 al 2010 y 2012 al 2019 para las Bahías de Huasco e Iquique, los valores de emisiones corresponden a la sumatoria de las emisiones anuales para cada analito en los años especificados previamente. Además, se adjunta la diferencia porcentual con respecto a la emisión de Iquique; de esta manera un valor negativo corresponde a una emisión menor en Iquique que en Huasco y un valor positivo la situación opuesta.

Se observa que parámetros como el boro, cianuro, cloruro, molibdeno y sulfatos presentan valores positivos es decir las emisiones históricas han sido mayores en la bahía de Iquique. Para el caso de cloruros y sulfatos se atribuyen al uso de agua de mar dentro de los procesos industriales. Pero se destaca el molibdeno como un analito a considerar en futuros monitoreos. Por otro lado, a pesar de realizar una comparación con la bahía de Huasco, que es una referencia ambientalmente degradada, se observa que analitos como las aceites y grasas, cadmio, hidrocarburos volátiles, plomo y sólidos suspendidos totales; no presentan grandes diferencias con respecto a Huasco; siendo menores las emisiones para Iquique, pero no en grandes magnitudes como se observa para otros parámetros como el níquel.

Tabla 53 – Comparación de emisiones anuales reportadas en RETC entre años 2007 al 2010 y 2012 al 2019 para las Bahías de Huasco e Iquique

Analito	Emisiones Huasco (toneladas)	Emisiones Iquique (toneladas)	Diferencia % con respecto a valor de Iquique
Aceites y grasas	17068,1	10455,5	-63%
Aluminio	130,9	22,3	-487%
Arsénico	16,2	0,3	-5450%
Boro	1,3	35,3	96%
Cadmio	4,4	3,2	-39%
Cianuro	0,1	0,8	90%
Cloruros	605,8	39503,2	98%
Cobre	83,3	3,8	-2085%
Cromo hexavalente	18,6	4,8	-290%
Cromo total	50,0	6,3	-689%
Estaño	12,8	3,6	-252%
Fluoruros	1836,7	80,6	-2178%
Fósforo total	1157,9	79,5	-1356%
Hidrocarburos fijos	1463,3	307,3	-376%
Hidrocarburos totales	9744,8	2062,3	-373%
Hidrocarburos volátiles	242,9	214,4	-13%
Hierro / hierro disuelto	125,9	3,4	-3561%
Manganeso	51,7	3,8	-1261%
Mercurio	1,6	0,1	-1623%
Molibdeno	0,1	2,2	97%
Níquel	35,1	3,9	-802%
Nitritos más nitratos	0,1	0,0	-109740%
Nitrógeno total Kjeldahl	7223,2	914,4	-690%
Plomo	8,7	6,3	-37%
Selenio	2,6	0,0	-6201%
Sólidos suspendidos totales	101316,3	55648,8	-82%
Sulfatos	6024,1	7836,0	23%
Sulfuros	252,1	54,8	-360%
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano	0,2	0,0	-7796%
Zinc	70,9	12,3	-475%

En la Tabla 54 se presenta la comparación de emisiones anuales reportadas en el RETC solo para el año 2019 entre las bahías de Huasco e Iquique, los valores de emisiones corresponden a las emisiones anuales para cada analito en toneladas. Además, se adjunta la diferencia porcentual con respecto a la emisión de Iquique; de esta manera un valor negativo corresponde a una emisión menor en Iquique que en Huasco y un valor positivo la situación opuesta.

Se observa que parámetros como el boro, cadmio, cianuro, cloruros, estaño, molibdeno, plomo, sólidos suspendidos totales y sulfatos presentan valores positivos es decir las emisiones del año 2019 son mayores en la bahía de Iquique. Para el caso de cloruros y sulfatos se atribuyen al uso de agua de mar dentro de los

procesos industriales. En cuanto al cadmio, cianuro, estaño, molibdeno y plomo presentan emisiones considerablemente bajas en Huasco e Iquique siendo la diferencia insignificante, pero a la vez mayor en Iquique. Los sólidos suspendidos totales presentan un 53% más de emisiones en Iquique para el año 2019 siendo destacable frente a la situación comparativa con Huasco. Se destaca que la comparación de todos los años y solo el año 2019 demuestra que las emisiones en Iquique son bajas con respecto a Huasco existiendo diferencias de gran magnitud como para el arsénico, cobre, fluoruros, hidrocarburos fijos, hierro, manganeso, mercurio y nitrógeno total de Kjeldahl.

Tabla 54 – Comparación de emisiones anuales reportadas en RETC del año 2019 para las Bahías de Huasco e Iquique

Analito	Emisiones Huasco	Emisiones Iquique	Diferencia % con respecto a valor de
Aceites y grasas	1654,9	406,7	-307%
Aluminio	3,3	1,1	-216%
Arsénico	1,3	0,1	-2271%
Boro	0,3	6,7	96%
Cadmio	0,1	0,3	55%
Cianuro	0,0	0,1	93%
Cloruros	348,8	5512,7	94%
Cobre	2,1	0,2	-1175%
Cromo hexavalente	1,0	0,1	-832%
Cromo total	0,8	0,2	-338%
Estaño	0,0	0,2	92%
Fluoruros	146,4	0,1	-161296%
Fósforo total	72,2	18,2	-296%
Hidrocarburos fijos	0,3	0,0	-2710%
Hidrocarburos totales	932,0	103,6	-800%
Hidrocarburos	18,8	4,2	-353%
Hierro / hierro	6,9	0,2	-2739%
Manganeso	7,2	0,3	-2719%
Mercurio	0,1	0,0	-2071%
Molibdeno	0,0	0,1	97%
Níquel	0,9	0,2	-326%
Nitrógeno total	209,8	2,6	-7963%
Plomo	0,0	0,1	95%
Selenio	0,2	0,0	-76168%
Sólidos suspendidos	2210,2	4677,3	53%
Sulfatos	451,6	990,0	54%
Sulfuros	5,9	4,2	-40%
Zinc	6,3	0,9	-628%

5.2 Evaluación de calidad de datos

5.2.1 Inconsistencias

Respecto a los antecedentes entregados en este informe, de manera general e inicialmente debiere indicarse que existen diversas contradicciones respecto a los datos analizados desde las diversas fuentes (POAL, RETC, PVA, entre otros), las cuales pudieren tener una explicación a que no existe una estandarización tanto en los procedimientos como en los analitos fisicoquímicos y biológicos muestreados en cada uno de estos procesos. Lo anterior se evidencia en cada acápite respectivo a parámetros fisicoquímicos y biota.

A lo largo de la realización del estudio, particularmente durante la revisión de las bases de datos de monitoreos existentes, se fue haciendo un análisis de la calidad de estos, encontrándose diversos errores e inconsistencias. Previo a extraer conclusiones de los datos, es necesario entonces destacar los siguientes problemas encontrados de calidad:

<u>Datos fisicoquímicos</u>

- Existen muestras duplicadas en base de datos de POAL, pero no identificadas como tal, y con valores muy distintos entre ellos (por ejemplo, 0 versus 700).
- Existe algunas veces incoherencia entre los límites de detección reportados en los documentos de metodologías de análisis de POAL y en las bases de datos, en cuanto a los valores y a las unidades.
- En algunos monitoreos de POAL se reportan valores muy altos comparados con los monitoreos previos y posteriores, los que se debieron asumir como error y fueron descartados del análisis.
- Existe inconsistencia en los nombres y coordenadas de las estaciones de monitoreo a lo largo de los años. La estación 90 y 100 tienen las mismas coordenadas; la estación 100 tiene coordenadas distintas el año 1998; la estación 120 se nombra como “La Puntilla” desde el año 2013 y como “Espigón de atraque” hasta el 2011 (con distintas coordenadas); la estación 110 se nombra como “Espigón de atraque” desde el año 2013 y como “Molo” hasta el 1996 (con coordenadas iguales), confundiéndose con la 120; la estación 130 se nombra como “La Puntilla”, al igual que la 120. Para las estaciones con confusión de nombre y coordenadas, se utilizó para este informe el nombre y coordenadas indicados por POAL en los últimos monitoreos (desde el 2013).
- Para POAL de sedimentos los archivos de los años 1999 y 2019 no pueden ser descargados de la página del POAL, ya que se descargan los archivos de Agua de 1999 y 2019, respectivamente.
- POAL de biota para los años 1997, 1998, 1999 y 2015 presenta valores erróneos de Cu total, Cr total, Cd total y Zn total. Probablemente error de transformación de unidades.
- PVA de camanchaca presenta errores de unidades en el reporte de nitrógeno total.
- En RETC el año 2011 no existen reportes de ninguna fuente emisora.

<u>Datos de biota</u>

En cuanto a la calidad de los datos del monitoreo de los ensambles submareales de fondo blando es posible señalar que existen diferencias significativas en variables poblacionales (abundancia y biomasa) y a nivel de ensamble (índice W) dependiendo más del consultor a cargo del monitoreo que la estacionalidad (otoño, invierno, primavera, verano) y sitio de muestreo (referencia vs control). Las causas de estas diferencias serían las distintas metodologías de obtención de las muestras (tipo de draga, número de réplicas) y análisis de datos (integración de réplicas, área total) utilizadas por cada consultora ambiental.

5.2.2 Vacíos de información

- Existen analitos emitidos por fuentes emisoras que no se analizan en los monitoreos de POAL y PVAs, como boro, cianuro, cromo hexavalente, estaño, fenoles, fluoruro, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, pentaclorofenol, selenio, sulfuro, Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM), tetracloroeteno, tolueno, triclorometano, xileno. Además, no se analizan sustancias relevantes asociadas a las industrias desarrolladas en la bahía, como el tributilo de estaño (TBT).
- Con respecto al componente vivo del ecosistema marino costero, no se encontraron estudios sobre la dinámica de ensambles de fitoplancton constituyendo el ítem trófico basal para la macro-infauna. Además, el modelamiento y simulación del riesgo por vertimiento de contaminantes hacia el medio marino como el aquí reportado, podría verse favorecido al poseer estudios de dinámica de corrientes que permitan la validación y mejor resolución de las climatologías hidrodinámicas.

5.2.3 Límites de detección

Se realizó un análisis en detalle para los límites de detección reportados en el monitoreo POAL para la matriz de agua de mar entre los años 1993 y 2021; este análisis se adjunta como Anexo 10. La Tabla 55 el resultado del análisis de los LD para 47 analitos en el monitoreo de agua del POAL el que abarcó una totalidad de 25 años de mediciones entre el año 1993 y 2021. A modo de visión general se destaca la poca consistencia en el reporte de los LD, variando entre los distintos laboratorios (6 a lo largo de los 25 años) y entre años de medición (para el mismo laboratorio). Se destaca también que entre los años 1993 y 2004 no se reportó ningún valor de LD para ninguno de los 47 analitos. Por otro lado, de los 47 analitos, 30 de ellos presentan reporte de LD todos los años en que fueron realizadas mediciones. Por otro lado, existen casos como los metales totales donde se midió para los 18 años del monitoreo POAL pero se reportó el LD solo para 6 años. Se destaca también que coliformes fecales, amonio y nitrato presentan sobre 90% de los años con mediciones, siendo los registros más largos de analitos.

En cuanto a errores identificados durante la revisión de la Base de Datos de Agua de Mar y sus LD se reportan los siguientes:

- Se reporta la misma metodología[18] de medición para metales y metaloides totales como disueltos.
- Existen errores de reporte de datos de mercurio disuelto para los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Correspondientes a errores referidos a cambios de unidades.
- Se asume mismo LD para P-fosfato y fosfato
- Existen errores de reporte de datos amonio para los años 2019 y 2021. Correspondientes a errores referidos a cambios de unidades.
- Existen errores de reporte de datos fosfato para los años 2019 y 2021. Correspondientes a errores referidos a cambios de unidades.
- Los valores para metales disueltos de los años 2019 y 2021 se encuentran reportados en unidades incorrectas.

[18] De acuerdo a documentos "Metodologías de análisis POAL períodos 2005-2006 / 2007-2011 / 2013-2017", disponible en: https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20210728/20210728122632/metodologias_de_analisis_poal_2005_2017.pdf y "Metodologías de análisis POAL períodos 2018-2023", disponible en: https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20210728/20210728122632/metodolog__as_de_an__lisis_poal_2018_2023_1.pdf

Tabla 55 – Resultados del análisis de uso de LD en monitoreo POAL agua (Total de años = 25).

Analito	% de años donde se midió el analito	% de los años medidos donde no se especifica LD	% de los años medidos con LD reportado
Arsénico disuelto	28%	0%	100%
Cadmio disuelto	48%	0%	100%
Cobre disuelto	48%	0%	100%
Cromo disuelto	28%	0%	100%
Mercurio disuelto	48%	0%	100%
Plomo disuelto	48%	0%	100%
Zinc disuelto	20%	0%	100%
P - fosfato	20%	0%	100%
DBO_5 20°C	8%	0%	100%
Sólidos disueltos	20%	0%	100%
Sólidos suspendidos	40%	0%	100%
Hidrocarburos totales	12%	0%	100%
Hidrocarburos volátiles	12%	0%	100%
Hidrocarburos fijos	28%	0%	100%
Acenafteno	28%	0%	100%
Acenaftileno	20%	0%	100%
Antraceno	28%	0%	100%
Benzo(a)antraceno	28%	0%	100%
Benzo(a)pireno	28%	0%	100%
Benzo(b)fluoranteno	28%	0%	100%
Benzo(ghi)perileno	28%	0%	100%
Benzo(k)fluoranteno	28%	0%	100%
Criseno	28%	0%	100%
Díbenzo(a,h)antraceno	28%	0%	100%
Fenantreno	28%	0%	100%
Fluoranteno	28%	0%	100%
Fluoreno	28%	0%	100%
Indeno(1 2 3-cd)pireno	28%	0%	100%
Naftaleno	28%	0%	100%
Pireno	12%	0%	100%
Nitrito	36%	44%	56%
Fosfato	68%	47%	53%
Amonio	100%	48%	52%
Nitrato	100%	48%	52%
HAP's	64%	50%	50%
Coliformes Fecales	92%	52%	48%
Aceites y Grasas	56%	57%	43%

Analito	% de años donde se midió el analito	% de los años medidos donde no se especifica LD	% de los años medidos con LD reportado
Nitrógeno Total Kjeldahl	68%	65%	35%
Cadmio Total	72%	67%	33%
Cobre Total	72%	67%	33%
Cromo Total	72%	67%	33%
Mercurio Total	72%	67%	33%
Plomo Total	72%	67%	33%
Zinc Total	72%	67%	33%
Fósforo Total	72%	67%	33%
Oxígeno Disuelto	36%	100%	0%
Coliformes Totales	16%	100%	0%

El mismo análisis realizado para la matriz de agua de mar se realizó en la matriz de sedimentos para los LD reportados en el monitoreo POAL entre los años 1993 y 2021, este análisis se adjunta como Anexo 11. La Tabla 56 indica el resultado del análisis de los LD para los 44 analitos en el monitoreo que abarcó una totalidad de 24 años. De modo general se destaca la medición de cadmio total, cobre total, mercurio total, plomo total, fósforo total y materia orgánica para la totalidad de los años de ejecución del POAL. Se destaca también que entre los años 1993 y 2001 no se reportaron valores de LD para ninguno de los 44 analitos. Al igual que para la matriz de agua se observa poca consistencia en el reporte de LD, variando entre laboratorios (6 en 24 años), entre años de medición (para el mismo laboratorio) e incluso se identificaron casos donde el LD reportado varía dentro del mismo año de medición como es el caso del mercurio total en el año 2007, donde el laboratorio a cargo reporta un LD de 0,01 y 0,1 en el mismo año. Por otro lado, de los 44 analitos, 11 de ellos presentan más de un 29% de años en que no se reporta el LD, existiendo casos extremos como el del zinc total donde fue medido en 18 años del monitoreo POAL pero se reportó el LD solo en 2 años.

Tabla 56 – Resultados del análisis de uso de LD en monitoreo POAL sedimentos (Total de años = 24).

Analito	% de años donde se midió el analito	% de los años medidos donde no se especifica LD	% de los años medidos con LD reportado
Arsénico total	25%	0%	100%
HV C5-C10	17%	0%	17%
HF C34-C50	25%	0%	25%
Xileno	13%	0%	13%
Pentaclorofenol	13%	0%	13%
PCBs	21%	0%	21%
HAP's	21%	0%	21%
Acenafteno	4%	0%	4%
Acenaftileno	4%	0%	4%
Antraceno	4%	0%	4%
Benzo(a)antraceno	4%	0%	4%

Analito	% de años donde se midió el analito	% de los años medidos donde no se especifica LD	% de los años medidos con LD reportado
Benzo(a)pireno	4%	0%	4%
Benzo(b)fluoranteno	4%	0%	4%
Benzo(ghi)perileno	4%	0%	4%
Benzo(k)fluoranteno	4%	0%	4%
Criseno	4%	0%	4%
Díbenzo(a,h)antraceno	4%	0%	4%
Fenantreno	4%	0%	4%
Fluoranteno	4%	0%	4%
Fluoreno	4%	0%	4%
Indeno(1 2 3-cd)pireno	4%	0%	4%
Naftaleno	4%	0%	4%
Pireno	4%	0%	4%
Nitrógeno total	4%	4%	0%
Carbono orgánico total	17%	13%	4%
Hidrocarburos totales	75%	17%	58%
Grava Muy Fina 2.0mm	25%	25%	0%
Arena Muy Gruesa 1.0mm	25%	25%	0%
Arena Gruesa 0.5	25%	25%	0%
Arena Media 0.25mm	25%	25%	0%
Arena Fina 0.125mm	25%	25%	0%
Arena Muy Fina 0.063mm	25%	25%	0%
Fango	25%	25%	0%
Humedad 35C	29%	29%	0%
Humedad 105C	29%	29%	0%
Cadmio total	100%	33%	67%
Mercurio total	100%	33%	67%
Fósforo total	100%	33%	67%
Materia orgánica	100%	33%	67%
Plomo total	100%	42%	58%
Cobre total	100%	46%	54%
Cromo total	79%	46%	33%
Nitrógeno total Kjeldahl	96%	46%	50%
Zinc total	75%	67%	8%

En cuanto a errores identificados durante la revisión de la Base de Datos de Sedimentos y sus LD se reportan los siguientes:

- Las mediciones de cromo total en los años 2005 y 2006 reportan un LD diferente al presentado en documentos de metodología.
- No se reporta LD para mediciones de zinc entre los años 2007 y 2011.
- Existen inconsistencias entre los LD reportados en documentos de metodología y la base de datos para la materia orgánica en mediciones del año 2010.
- Para el año 2013 no se reporta LD en documentos de metodología para el analito carbono orgánico total.
- Existen inconsistencias entre los LD reportados en documentos de metodología y la base de datos para el nitrógeno total en mediciones del año 2021.

Con respecto a los protocolos de cuantificación de los ensambles submareales a continuación se presentan los límites de sensibilidad:

Tabla 46 – Límite de sensibilidad por protocolo de cuantificación de los ensambles macro-infaunales

Parámetro	Metodología	Límite de sensibilidad
Número de especies (riqueza)	Identificación taxonómica	1 especie
Número de individuos (abundancia)	Recuento directo	1 individuo
Peso de individuos (biomasa)	Medición directa en balanza analítica	± 0.001 g

Fuente: Programa de Vigilancia Ambiental de Corpesca Monitoreo Mayo 2016

5.3 Resumen de línea base ambiental

Se notaron metales (cobre, cromo, mercurio y zinc) y nutrientes elevados en la columna de agua en la Zona Portuaria (ZP), específicamente en Playa El Colorado y La Puntilla (Muelle Naval), cercanos al sector donde se concentra la mayor cantidad de industrias y el emisario de Camanchaca. No se detectaron compuestos orgánicos en la columna de agua.

En cuanto a sedimentos, se notaron metales (cadmio, cobre y mercurio) y nutrientes (fosforo y nitrógeno) e hidrocarburos elevados también en el sector de La Puntilla y cercanos al emisario Camanchaca, y además (solo nutrientes) en la Playa Cavancha (Zona Turística). Adicionalmente se notaron orgánicos específicos como PCBs y HAPs en el sector norte de la Zona Portuaria, donde han existido históricamente almacenaje de hidrocarburos.

Se indica bioacumulación además particularmente para arsénico y cadmio en biota capturada cerca de Playa Cavancha y Playa Brava, no obstante, no se indica muestreo en la Zona Portuaria. La biota capturada también e ocasiones indicó concentraciones de coliformes elevada.

Se observa una moderada (W ~ 0) a leve perturbación de los ensambles macro-infaunales durante el periodo 2013-2021 (W >> 0). La composición faunística de la Bahía en el período analizado, esta se caracterizó por presentar a los grupos zoológicos Polychaeta, Mollusca y Crustacea con las mayores abundancias relativas, patrón que también es observado en el norte de Chile

El análisis de calidad de aire permite descartar aportes significativos de los contaminantes del aire en la matriz acuática, por otra parte, los aportes de los RILES a la Bahía de Iquique son en general mucho menores

comparado con las emisiones en Huasco (que es una referencia ambientalmente degradada). Destacan los menores aportes de arsénico, cobre y fosforo emitidos en Iquique.

5.4 Otros componentes relevantes en la bahía

Si bien no forma parte de impactos al estado ecológico de la bahía, se ha considerado relevante estudiar los efectos de la descarga del emisario de Punta Negra de Aguas del Altiplano en los restos náufragos de la Corbeta Esmeralda, al ser estos de un valor patrimonial importante para Iquique y el país.

Los restos náufragos de la Corbeta Esmeralda se encuentran ubicados en el fondo marino frente a la bahía de Iquique, demarcados por una boya, aproximadamente entre 36 a 41 m de profundidad. Estos fueron declarados Monumento Histórico en 1973 mediante decreto N° 723/1973 del entonces Ministerio de Educación Pública. Cercano a este monumento (a 680 m) se encuentra el punto de descarga del emisario submarino Punta Negra de Aguas del Altiplano, lo que genera preocupación en cuanto a posibles efectos que pudiesen estar ocurriendo en este monumento (Figura 165).

En este sentido, primeramente, se debe comprender los factores que afectan a la descomposición de los restos naufragados de navíos, aspecto que estudia la arqueología náutica y que se detalla en Brown, Bump y Muncher (1988), como indica a continuación.

Inicialmente, el deterioro mecánico es responsable de la mayor parte del decaimiento inicial y puede producirse por procesos humanos o naturales. Naturalmente un barco que se ha hundido lentamente estará menos dañado que uno que soportó una tormenta (o un combate naval). Seguido de esto, lo que más contribuirán a la destrucción del naufragio será la fauna excavadora, los gusanos de barco (*shipworms* en inglés) y las bacterias. La fauna excavadora y las bacterias contribuirán a la descomposición general del sitio, pero son los gusanos de barco, tales como los de la familia *teredinidae* (ej. la “broma” *teredo navalis*), los que causarán mayores estragos al alimentarse directamente de la madera y taladrándola en el proceso. Cabe notar que estos no son “gusanos” sino que moluscos bivalvos de cuerpo alargado. Por consiguiente, serán los materiales no orgánicos como la cerámica, piedra o metálicos mucho más duraderos que la madera.

El oxígeno disuelto y temperatura forma parte fundamental del proceso, siendo los naufragios que se hunden en aguas más frías y menos oxigenadas más propensas a perdurar, por una combinación de menor cantidad de gusanos de mar y menores tasas de degradación bacteriana y electroquímica. Con respecto a esto último, la actividad electroquímica aumenta dramáticamente cuando el fierro es expuesto a agua salada, formando cloruro férrico o sales de hierro y atacando la estructura de hierro en su nivel molecular.

Tomando en cuenta los factores anteriores, se ha revisado los datos aportados por el monitoreo de aguas y sedimentos realizado por Aguas del Altiplano en el sector. Las ubicaciones de monitoreo se presentan en la Figura 165. Cabe notar que el punto de descarga corresponde a PN-1.

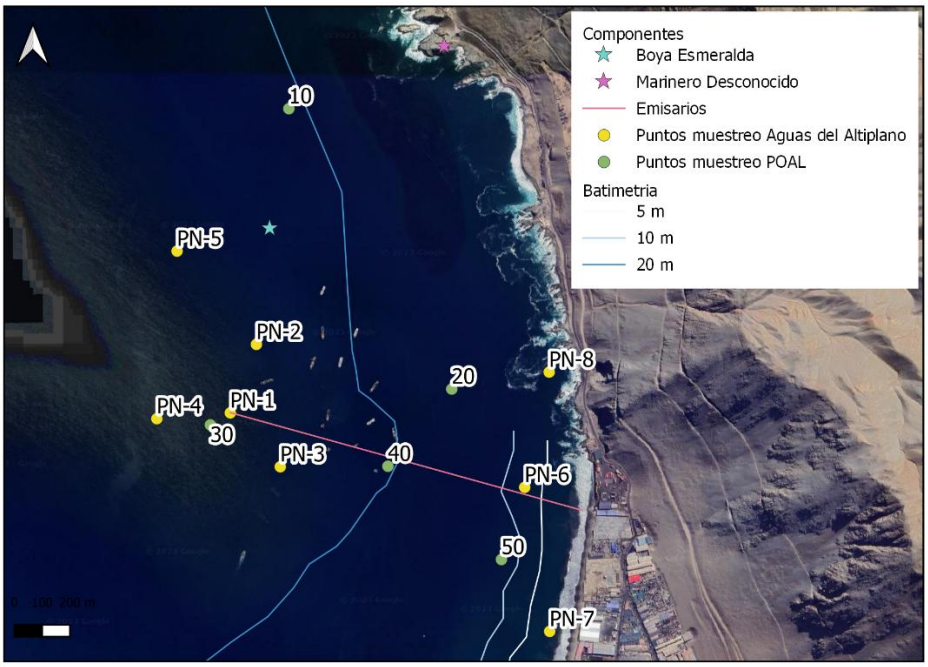


Figura 165 – Ubicación de Esmeralda, emisario submarino y puntos de muestreo

Revisando los datos de análisis de agua de mar a profundidades entre 22 y 47 m en febrero 2022, se puede observar que existe un efecto localizado en el punto de descarga PN-1 donde se observa una DBO_5 más alta (de 4 mg/L) que las otras ubicaciones que mostraron niveles de 1 a 3 mg/L, estos últimos consistentes con puntos del monitoreo POAL de los años 2019 a 2021. Lamentablemente no existen datos del POAL para los analitos relevantes en las estaciones y profundidades cercanas a la Esmeralda, a excepción de un valor de 5 mg/L de oxígeno disuelto en la estación 10 (a una distancia de 450 m al norte de la boya) el año 2015, por lo que no se puede evaluar si los efectos existen justo en el lugar del naufragio. Por otro lado, no se observan diferencias significativas en cuanto a oxígeno disuelto o salinidad entre la estación PN-1 y las otras ubicaciones.

Con respecto al análisis de sedimentos por parte de Aguas del Altiplano, en los puntos muestreados se observan valores entre 1,47% (en PN-4) y 2,14% (en PN-1) de materia orgánica, teniendo el punto más cercano a la Esmeralda un valor de 1,96% (PN-5); y valores entre 8,53 g/kg (en PN-4) y 12,4 g/kg (en PN-1) de carbono orgánico total, teniendo un valor de 11,39 g/kg en PN-5. Por lo tanto, sería posible notar leves efectos de la descarga en los sedimentos cercanos a la corbeta hundida, e indicaría una mayor actividad bacteriana y quizás de otros organismos en el punto del naufragio, sin poder evaluar el efecto de esto en la corveta misma.

6 Modelo conceptual “emisión-concentración”

Se elaboró un modelo conceptual que da cuenta del estado y las presiones ambientales actuales de la bahía de Iquique, como indicado en la metodología en la Sección 2. El modelo conceptual a realizado es del tipo DPSIR (Forzantes, Presiones, Estado, Impactos, Respuestas), en el cual se relacionan las actividades humanas desarrolladas en el área en estudio y su impacto en la calidad de las aguas y ecosistemas acuáticos. En la Figura 166 y en el Anexo 12 se presenta el modelo conceptual DPSIR elaborado.

6.1 Fuerzas impulsoras

Dado que este trabajo es en la escala local y en borde costero, donde se concentra específicamente los principales centros urbanos, se considera el análisis de las actividades económicas regionales. Las fuerzas económicas son aquellas que satisfacen las necesidades humanas de alimentos y materias primas, agua, cultura, seguridad, salud, vivienda e infraestructura. Las fuerzas impulsoras sociales satisfacen las necesidades humanas de relaciones sociales, equidad, gobernabilidad e identidad cultural, y capturan ampliamente el conjunto de características sociales, comunitarias y políticas que influyen en la estructura y función de los sectores económicos, además de actuar como determinantes clave de la salud humana.

Las preguntas son adaptadas y fueron utilizadas durante la discusión de cada categoría genérica DPSIR en la construcción del modelo asociadas a las fuerzas motrices, entendiendo que son los factores o variables indirectas detrás de las presiones más específicas que afectan al medio ambiente (MMA), y estas fueron ¿Cuáles son los sectores económicos clave involucrados que pueden estar creando presiones sobre el medio ambiente? y ¿Cuáles son los impulsores sociales clave, incluidos los impulsores políticos o culturales que pueden tener influencia?

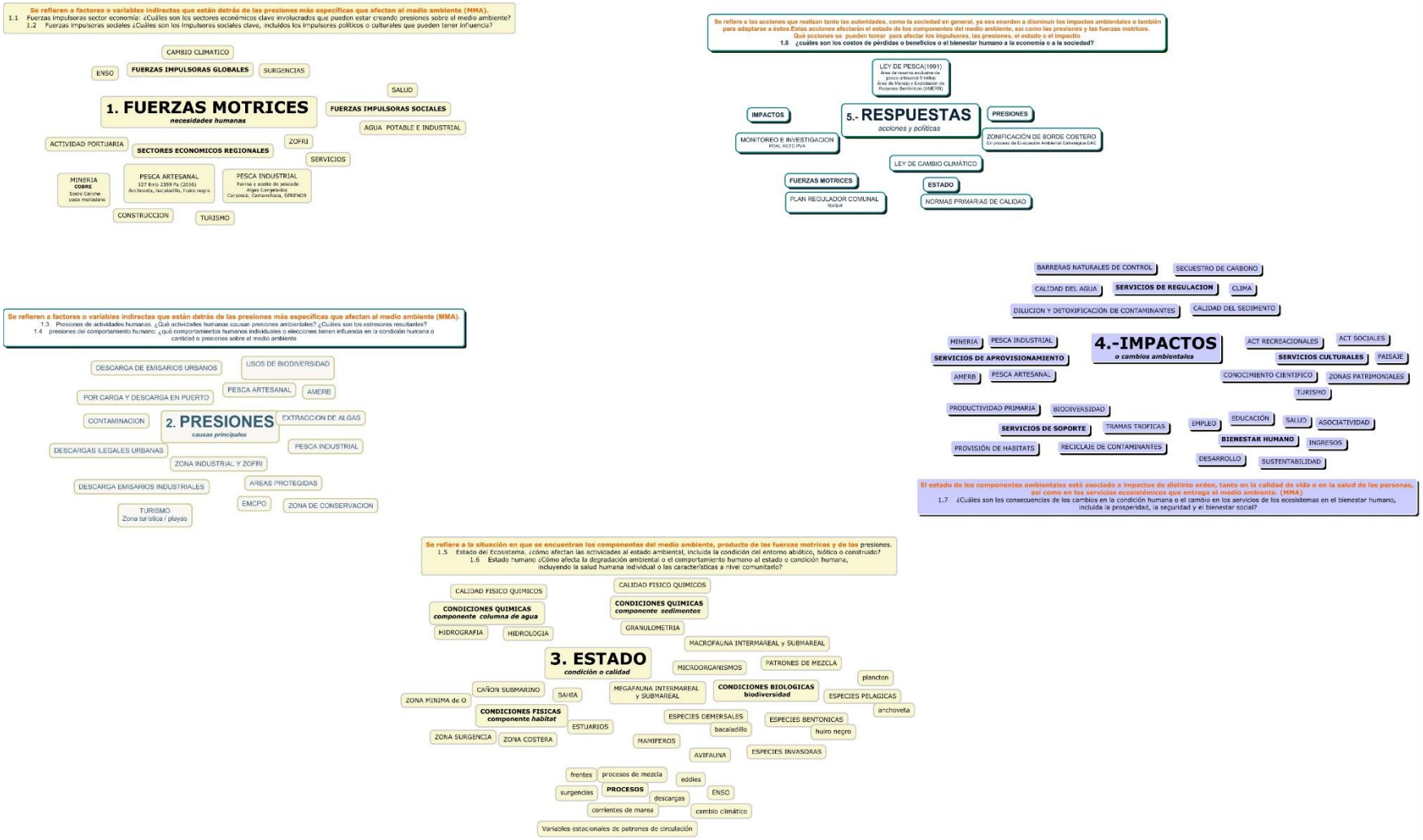


Figura 166 – Modelo DPSIR con preguntas de investigación

Como primer antecedente hay que señalar que las principales actividades económicas de la región de Tarapacá, de acuerdo con las cifras del PIB regional del año 2018, indican que la minería es el principal agente productivo regional (36,2% del PIB), dada la existencia de los complejos mineros de cobre de Collahuasi y Quebrada Blanca localizados al interior de la región, complementado de manera minoritaria con faenas en sectores como Pozo Almonte para la producción de cloruro de sodio, nitrato y yodo. Las siguientes actividades con mayor porcentaje de participación son comercio (10%), servicios personales (8,8%), y construcción (8,2%). No se observan en la región de Tarapacá otras fuerzas impulsoras tradicionales, asociadas a otros usos de suelo, como la actividades silvícolas, pecuarias o forestales.

De estas actividades, las principales identificadas desarrolladas en la Bahía de Iquique operada por la Empresa Portuaria de Iquique de carga general principalmente, y los terminales off shore oil de PetroBras y COPEC. A su vez la actividad portuaria del puerto de Iquique, la convierten en la puerta de entrada y salida de las actividades económicas regionales, ya sea comercio, servicios, la zona franca de Iquique, pesca artesanal, pesca industrial, entre otras.

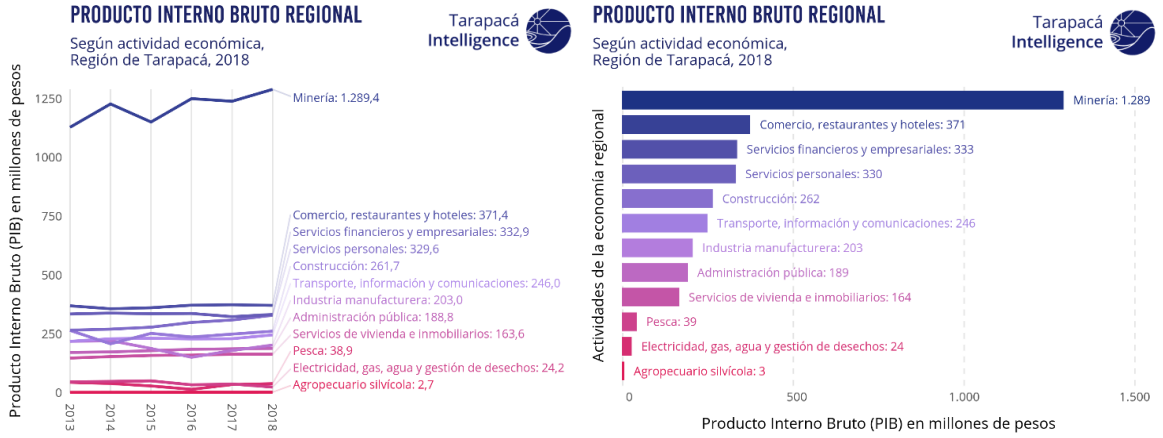


Figura 167 – Producto Interno Bruto Regional de Tarapacá según actividad económica, 2018
Fuente: Tarapacá Intelligence[19]

Otras actividades identificadas son las plantas generadoras de energía en sector de puertos Patillos y Patache a cerca de 60 km al sur del Puerto de Iquique, constituidas por plantas termoeléctricas a carbón (emanaciones de gases y residuos de carbón en el área), y las instalaciones industriales de movilización de carga privada de ambos puertos de concentrado de cobre, cobre y sal.

Contrario a lo que se esperaría, la pesca constituye sólo el 1,4% del PIB regional[20]. A pesar de lo anterior, se mantiene la temática pesquera dada la importancia en la investigación, teniendo como referencia que la pesca industrial produce principalmente harina, aceite de pescado, algas, a través de tres empresas principales (Corpesca, Camanchaca, SERENOR). Respecto a la pesca artesanal, esta al año 2016 contaba con 327 embarcaciones y 2359 pescadores artesanales, quienes explotan principalmente anchoveta, bacaladillo y huiro negro (GORE, 2017).

[19] Tarapacá Intelligence - Economía (tarapacaintelligence.cl)
[20] Tarapaca.pdf (odepa.gob.cl)

Por otro lado, la pesca industrial y artesanal destacan con sus cifras al observarlas en el contexto nacional, y también internacional, dado que Chile ocupa el 12° puesto del ranking de los principales productores de pesca de captura (FAO, 2016), y en que las capturas de pesca de la región representan casi el 50 por ciento del total del país, (Puerto de Iquique, 2022). No obstante, se observa una disminución en los desembarques pesqueros de diversas especies, como la anchoveta, al observar las cifras de desembarques anuales de SERNAPESCA en el periodo 2014-2021, cuyos embarques y desembarques regionales son en la bahía de Iquique.

Respecto a las proporciones de captura de pesca en Chile, los principales productos por macrozona comprendida entre regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, para harina y aceite son el jurel, en que la zona norte tiene aproximadamente el 12% de la cuota nacional (el resto se encuentra en la macrozona sur), y la -Anchoveta: Casi el 100% corresponde a la macrozona norte. En el sur sólo se presenta como fauna acompañante de la sardina (Plan Maestro Puerto de Iquique, 2022).

Otras de las principales fuerzas impulsoras del cambio en la escala global, son las zonas de surgencias, el fenómeno ENOS, y el cambio climático, que inciden y tienen el potencial de inducir cambios en el corto, mediano y largo plazo en la calidad ambiental del área de estudio.

Respecto al fenómeno ENOS, según el Gobierno Regional (2016) y en las costas de la región de Tarapacá, con su consiguiente aumento de la temperatura superficial del océano y cambios en las condiciones físicas del ambiente produce alteraciones en los ecosistemas marinos, con efectos negativos en las comunidades marinas de importancia comercial y la llegada de especies foráneas como el pez piloto (*Naucrates ductor*), medusas (como *Chrysoara plocamia*), lobo fino (*Arctocephalus australis*) y caballitos de mar (familia Syngnathidae). Por otro lado, identifica, Además, registros de peces que no se encuentran normalmente en aguas chilenas y cardúmenes de especies de importancia comercial en países del norte, así como también aves de distribución tropical y subtropical como el piquero de patas azules (*Sula variegata*) y la gaviota de Franklin (*Larus pipixcan* (GORE 1016).

Respecto a las zonas de surgencia, la información secundaria indica que los eventos de surgencia se presentan durante todo el año, alternándose con períodos de relajamiento. La frecuencia de estos eventos es mayor en verano y la duración de cada uno de ellos es variable y oscila entre 4 y 15 días. Los eventos de mayor duración se presentan a fines del verano e inicios del otoño, mientras que los de menor duración ocurren durante los meses de invierno y primavera (GORE, 1026).

De acuerdo a la literatura científica existente, recopilada por el Gobierno Regional, las principales zonas de surgencia regionales son al Norte de Pisagua y Punta Pichalo (19º 26’ 00” a 19º 35’ 00” S) Punta Piedras (20º 04’ 50” a 20º 14’ 20” S); al Sur de Iquique (20º 30’ 00” a 21º 10’ 00” S) con focos en Punta Chucumata, Punta Yape, Punta Patache y Punta Lobos; Punta Blanca (21º 10’ 00” a 21º 20’ 00” S) Sur de playa Ike Ike a Punta Chipana, y Desembocadura Río Loa (21º 21’ 00” a 21º 29’ 30” S) Punta falsa Chipana a Sur del Río Loa.

Por otro lado, dado el tipo de actividades desarrolladas en el borde costero, y con un litoral cuya principal característica es que es abierto al océano, dónde las marejadas cuentan con periodos de ocurrencia fijos de pocos días, desde la literatura no se identifican periodos de malas condiciones para la actividad portuaria

Tabla 57 – Fuerzas impulsoras del cambio escalas global y local

Escala local	Escala global
Minería	ENSO
Actividad Portuaria	Cambio Climático

Escala local	Escala global
Actividad Industrial	Surgencias
Pesca Artesanal	
Pesca Industrial	
Área de conurbación	

6.2 Presiones

En general las presiones se refieren a factores o variables directas que afectan el estado de los componentes del medio ambiente, de manera individual o colectiva. Estas presiones pueden ser de orden antrópico o deberse a procesos naturales. Interrogantes iniciales para dilucidarlas fueron: ¿Qué actividades humanas causan presiones ambientales? ¿Cuáles son los estresores resultantes?, y, por otro lado, referidas a presiones del comportamiento humano: ¿qué comportamientos humanos individuales o elecciones tienen influencia en la condición humana o cantidad o presiones sobre el medio ambiente?

Estas presiones primero degradan el estado del medio ambiente, para luego impactar tanto en la salud de la población como en los propios ecosistemas, constituidos por el medio físico y las comunidades de organismos vivos interdependientes presentes en la bahía. Para identificar sus impactos, los principales son producto del desarrollo de la pesca industrial y la pesca artesanal. Esto principalmente por ser aquellas actividades desarrolladas en la mayor parte del área de estudio, siendo aquellas de menor impactos las potenciales de provocar por la actividad minera, que pudiere asociarse a descargas directas o indirectas, puntuales o difusas, principalmente en sector de bahía.

Teniendo en consideración las fuerzas impulsoras identificadas, desde una escala regional a local, pudiere considerarse que la minería es una presión por las propias actividades de carga y descarga del puerto, a lo que se suman los dos terminales off shore oil (hidrocarburos), y la presencia de emisarios submarinos asociados a la propia actividad industrial del puerto, lo cual podría traducirse en riesgo por contaminación por el propio desarrollo de dichas actividades, al igual que por el transporte de carga y descarga, tanto mineral, industrial como de la zona franca de la ciudad. Misma situación se repite en puertos de Patillos y Patache al sur de la ciudad.

Por otro lado, una de las principales problemáticas del sector pesquero son las presiones para que las embarcaciones industriales puedan pescar nuevamente en la zona reservada a la pesca artesanal entre regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá, la cual corresponde a la franja de mar exclusiva de 5 millas. Esta actividad duró 25 años, hasta el año 2019, autorizada por SUBPESCA y dejada sin efecto por la Corte Suprema a favor de su protección el año 2021. En la actualidad, la pesca industrial se encuentra restringida a cuotas y controladas por SERNAPESCA (Plan Maestro Puerto de Iquique 2022).

Esto significa un conflicto permanente entre la pesca artesanal y la industrial, que en la actualidad se produce por el ingreso de naves industriales al área reservada para los artesanales a pescar anchoveta y crustáceos (zona de perforación).

Otro elemento es la sobreexplotación de las pesquerías, dónde, según cifras de SERNAPESCA, al año al año 2021 de las 28 pesquerías con sus puntos de referencia biológicos informados, 3 se encuentran subexplotadas, 9 en plena explotación, 10 sobre explotadas y 6 agotadas o colapsadas.

En el caso de pesquerías en pleno régimen de explotación, en tramo regiones Arica y Parinacota y hasta región de Antofagasta, existen diversas medidas de administración y gestión (ver estado) para la anchoveta,

la cual muestra una tendencia negativa en sus capturas desde el año 2005 en adelante, y un estado de subexplotado en la actualidad según lo indicado por SERNAPESCA.

No puede dejar de mencionarse la propia presión sobre el borde costero por un proceso de ocupación urbana e industrial sin planificación territorial, dónde a pesar de existir una propuesta de ordenamiento asociado a una zonificación del borde costero regional, se encuentra en proceso de evaluación ambiental estratégica con resolución de desistimiento o abandono desde el año 2019 (MMA). Entre ellas, se identifican descargas de aguas legales e ilegales urbanas, que pudiere conllevar el aumento de nutrientes que provocan eutrofización, el riesgo de contaminación ante episodios climáticos esporádicos acentuados por el cambio climático que pudiere arrastrar contaminantes a la costa, como periodos críticos de lluvias estivales, el desarrollo de la actividad turística litoral.

Debe considerarse que, hasta la década del año 2000, no existían sistemas de tratamiento de los residuos líquidos que se lanzaban al mar a la bahía de parte de la industria pesquera resultado de sus residuos industriales en sectores inmediatos de la bahía, lo que fue corregido a mediados de dicha década en un trabajo conjunto entre la industria pesquera y la Universidad Arturo Prat.

De cuatro descargas identificadas e indicadas en registro RETC, 2 se corresponden con la industria pesquera: a Corpesca S.A. y Compañía Pesquera Camanchaca S.A., en sectores inmediatos a la bahía. Respecto a CORPESCA, se encuentran las instalaciones para la elaboración de harina y aceite de pescado, y la planta conservadora. Se identifican cuatro grandes sectores de instalación: Planta Centro, Planta Sur, Planta Oriente y Planta Conservadora. Respecto a Camanchaca, cuenta con una planta de harina y aceite de pescado, parte del área de la empresa Camanchaca Pesca Norte. Se identifica un emisario submarino como parte de las instalaciones, donde el punto de descarga se encuentra a aproximadamente 500 metros del puerto.

Las otras dos corresponden a Aguas del Altiplano, que consta de dos emisarios submarinos, Emisario de Punta Negra (1340 metros mar adentro) y Emisario Playa Brava (1500 metros mar adentro) y Servicios y Refinerías del Norte S.A., cuya principal planta productora se encuentra en Iquique.

Tabla 58 – Presiones

Contaminación por carga y descarga en el puerto	
Descargas de aguas legales e ilegales urbanas	Pesca artesanal
Descargas Industriales	Pesca Industrial
Contaminación difusa urbana	Extracciones ilegales de algas y guano blanco (Patache)
Industria Pesquera	**Infraestructura portuaria**
Contaminación difusa industrial	Emisarios submarinos
Descargas de aguas industriales	
Ocupación urbana de borde costero	

Aun así, a nivel macro se puede indicar que la bahía de Iquique no presenta condiciones de presiones intensas, entendidas estas como la expresión de fuerzas, que expliquen formas específicas graves que perturben los ecosistemas y sus componentes en el área (como por ejemplo en zonas de sacrificio), y que, estas inicialmente podrían categorizarse como menores a moderadas. Sin embargo, esto no quiere decir que a nivel local las diversas presiones identificadas no conlleven riesgos, pues se observa la presencia de

ciertos datos de metales o de nutrientes más elevados, que sólo se explican tanto por la actividad industrial en el sector.

Por otro lado, a pesar que incipientemente pudiere decirse que el desarrollo de las diversas actividades en la bahía, principalmente asociada a la industria pesquera, y a embarques y desembarques propios del puerto, no han afectado la condición o calidad del estado actual de la bahía de forma tal, que sus presiones en los ecosistemas generen impactos ambientales de carácter significativo sobre estas o sobre la salud de las personas, dado que la ausencia de monitoreos estandarizados y sistemáticos en el área no permiten dilucidar con precisión su condición actual.

6.3 Estado

Las preguntas de investigación buscaban dilucidar la situación en que se encuentran los componentes del medio ambiente, producto de las fuerzas motrices y de las presiones. Estas son:

- Estado del Ecosistema. ¿cómo afectan las actividades al estado ambiental, incluida la condición del entorno abiótico, biótico o construido?
- Estado humano ¿Cómo afecta la degradación ambiental o el comportamiento humano al estado o condición humana, incluyendo la salud humana individual o las características a nivel comunitario?

Por otro lado, dadas la ausencia de una gestión homogénea de muestreos de parámetros fisicoquímicos y biológicos, que se observa desde el análisis de los datos presentados, y entre ellos, relativos a datos de especies detectadas, las diferentes estaciones de muestreo, metodologías, laboratorios, niveles de detección, complejizan la posibilidad de efectuar un análisis en conjunto de los datos, e invitan a futuro a la importancia de estandarizar procedimientos entre los diversos actores regionales que realizan estos esfuerzos de manera individual.

Tabla 59 – Estado

Condiciones físicas	Condiciones químicas
Bahía	Calidad de columna de agua
Zonas de surgencias	Calidad de sedimentos
Zona costera	Calidad de organismos
Procesos	**Condiciones biológicas**
ENSO	Biodiversidad
Surgencias	
Cambio Climático	

6.4 Impactos

En este ámbito se utilizó la categorización de la metodología de ecosistemas del milenio, (NU, 2001) en que los bienes y servicios de los ecosistemas se han definido de diversas formas como procesos de los ecosistemas, o los productos de esos procesos que directa o indirectamente benefician a los humanos.

En un plano más acotado, los principales impactos pudieren ser producto del desarrollo de la pesca industrial y la pesca artesanal, que cubren la mayor parte del área de estudio. En este sentido los impactos pudieren observarse en servicios de aprovisionamiento, en que ambas actividades se interrelacionan,

dónde la primera tiene directa afectación en los servicios de abastecimiento de la y de regulación respecto a la segunda, debido al deterioro que provoca en el borde costero regional, y por tanto a los servicios de soporte, principalmente por la sobre explotación, afectando de manera indirecta con servicios de regulación y de bienestar humano asociado a la sustentabilidad, desarrollo regional y empleo.

Por otra parte, aquellas actividades que presentarían menor impacto en este sector de interés corresponden a la actividad minera, que pudiere asociarse a descargas directas o indirectas, puntuales o difusas, principalmente en sector de bahía y la propia gestión del riesgo por actividades de carga y descarga en el puerto, con diversos impactos indirectos, aunque puntuales, en servicios de aprovisionamiento, soporte, servicios de regulación. Mención especial debiere en este ámbito considerarse los impactos en los servicios culturales que provee el borde costero en sectores inmediatos a la bahía utilizado para el desarrollo de turismo, ya sea actividades culturales, sociales, la presencia de sectores patrimoniales y el propio paisaje cultural del sector. Debe indicarse en este ámbito que en la región existen 20 AMERB, las que al año 2020 sólo operaban 7[21].

Tabla 60 – Impactos

Servicios de Aprovisionamiento	Servicios de Regulación
Pesca industrial	Clima
Pesca artesanal	Calidad del agua
AMERB	Calidad del sedimento
Minería	Secuestro de carbono
Bienestar humano	**Servicios Culturales**
Salud	Turismo
Educación	Actividades Culturales
Empleo	Paisajes
Ingresos	Zonas patrimoniales
Desarrollo	
Sustentabilidad	
Servicios de Soporte	
Biodiversidad	Reciclaje de contaminantes
Provisión de hábitats	Productividad primaria

6.5 Respuestas

Se refiere a las acciones que realizan tanto las autoridades, como la sociedad en general, ya sea en orden a disminuir los impactos ambientales o también para adaptarse a éstos. Estas acciones afectan el estado de los componentes del medio ambiente, así como las presiones y las fuerzas motrices. Vale decir, qué acciones se pueden tomar para afectar los impulsores, las presiones, el estado o el impacto.

Respecto a la Ley de Cambio Climático aprobada recientemente, tiene por objeto el permitir transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero y otros forzantes climáticos, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050. Lo anterior se relaciona

[21] http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/boletin_sectorial_regional_tarapaca_4to_trimestre2020.pdf) http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/boletin_sectorial_regional_tarapaca_4to_trimestre2020.pdf)

directamente con la pesca, de manera compleja y diversa dado los efectos sinérgicos que tiene el cambio climático tanto en la captura, y la biomasa disponible[22] . Aun cuando existe un Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Pesca y Acuicultura, este es del año 2015 y debe ser actualizado en función de la nueva norma[23]. Debe considerarse que según SERNAPESCA, el cambio climático pudiere disminuir la productividad de la pesca en un 12% al año 2050, y considerar que existe a su vez un manual de capacitación en adaptación al cambio climático para pesca y acuicultura en Chile desarrollado por la FAO el año 2021[24].

Por otro lado, la Ley de Bases de Medio Ambiente (MMA; 2012) establece la existencia de dos tipos de normas de calidad ambiental, de las cuáles se indica su definición de acuerdo a dicha Ley:

Norma Primaria de Calidad Ambiental: aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.

Norma Secundaria de Calidad Ambiental: aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza.

Respecto a Estado y como ya se ha mencionado, se desarrollan monitoreos en el área, sin embargo, estos no se encuentran estandarizados y normalizados, por tanto, no permiten dar un seguimiento temporal y espacial a las actuales condiciones de la Bahía, y sólo un análisis general de su estado.

Respecto a instrumentos de ordenamiento territorial, la zonificación de borde costero en la actualidad se encuentra desistida y por tanto desactualizada desde el año 2019, y la ciudad de Iquique cuenta con un Plan Regulador Comunal, instrumento de planificación que establece las normas sobre usos de suelo, de edificación, de urbanización, del área urbana de la ciudad de Iquique y, en general, el proceso de desarrollo urbano de dicha área.

Otro tipo de medidas, son aquellas de administración y gestión específicas determinadas por SUBPESCA, para diversas especies de manera anual, y para las diversas macrozonas de nuestro país, entre ellas la macrozona norte (regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta), las cuáles se determinan cada año en función de un diagnóstico nacional y por macrozonas.

Tabla 61 – Respuestas

Respuestas a Estado	Respuestas a Presiones
Ley de Cambio Climático	Normas Primarias de Calidad
Normas Secundarias de Calidad	Zonificación de Borde Costero
Monitoreos Ambientales	Ley de Pesca
	Medidas de administración y Gestión de SERNAPESCA
Impactos	**Respuestas a Fuerzas Motrices**
Monitoreo e investigación	Plan Regulador Comunal

[22] Buschmann et al.2029.Acuicultura, pesca y biodiversidad. COP25
[23] https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/12/Plan-Pesca-y-Acuicultura-CMS.pdf
[24] Este puede verse en:
https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/33105/cb5556es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7 Propuesta de programa de monitoreo de calidad de agua, sedimentos y biota para conocer el estado de la bahía

7.1 Bases metodológicas para el diseño del monitoreo

Previo al diseño del plan de monitoreo se deben establecer los objetivos y bases metodológicas que regirán el plan de monitoreo diseñado para la bahía de Iquique. Para este fin se han planteado las siguientes preguntas que contemplan los aspectos básicos que deben ser considerados establecer correctamente un plan de monitoreo.

- ¿Por qué se debe monitorear?
- ¿Cuáles son las variables que se deben monitorear?
- ¿De qué manera se deben capturar las muestras de estas variables?
- ¿De dónde se deben obtener las muestras?
- ¿Cómo se deben efectuar los análisis?
- ¿Cómo se deben evaluar los resultados obtenidos de los análisis?
- ¿Cómo se debe controlar la calidad de los pasos anteriores?

Estas preguntas están planteadas en varias directrices de monitoreo ambientales, tales como “Programas de monitoreo del medio marino costero: Diseños experimentales, muestreos, métodos de análisis y estadística asociada” (Castilla et al. 2021) y la guía “Standard Guidelines for the Environmental Monitoring of Chemicals” del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Japón (sin fecha).

Es importante comprender que el objetivo principal de los programas de monitoreo costero es el conocer y manejar los impactos que las actividades antropogénicas tienen en el medio ambiente, con la finalidad última de tomar medidas fundadas para mitigar los riesgos de posibles efectos en el ecosistema marino, además de proteger la salud y bienestar de las personas. En cuanto a lo técnico, de acuerdo a Castilla et al (2021) existen dos definiciones internacionales más aceptadas de monitoreo: 1) una serie de observaciones intermitentes o regulares de largo plazo, a fin de verificar el grado de cumplimiento de una norma o su grado de desviación y 2) una serie de observaciones intermitentes o regulares de largo plazo en que se levanta información de terreno (matrices físico-químicas, biológicas, otras) a fin de alcanzar objetivos y poner a prueba hipótesis contenidas en un programa de vigilancia ambiental.

En Chile, los monitoreos o PVAs se enmarcan casi siempre dentro de la primera definición, lo que lleva a programas diseñados exclusivamente al cumplimiento “normativo”, vale decir a monitorear variables para los cuales existen normas establecidas en la legislación chilena. Lo anterior, si bien captura algunos de los efectos de las presiones impuestas en el medio ambiente no entrega una visión global y completa de las variables ambientales que pueden estar siendo afectadas ni de los efectos a largo plazo en el medio ambiente. Esto, dado los vacíos que pueden existir en la normativa existente versus normativa internacional más avanzada, y también que se diluyen los objetivos finales de protección de valores ambientales. Incluso donde se realice un monitoreo más extensivo considerando variables ambientales no contempladas en la normativa vigente, se puede muchas veces de hablar de un “monitorear por cumplir”, toda vez que se realice el monitoreo, pero no se analicen tendencias, causalidad, utilicen distintas metodologías, o establezcan monitoreos poco adaptables para predecir efectos-múltiples antrópicos en los ecosistemas.

En este sentido, Castilla et al (2021) concluyen que para Chile no existe una revisión sistemática sobre la robustez de los programas de monitoreo y que muchos científicos estiman que los programas, tanto a nivel

nacional como internacional, están alejados de la ciencia por fallas en los diseños, puesta a prueba de hipótesis, robustez y escasa flexibilidad.

Es importante entonces establecer que los programas de monitoreo deben de poder capturar los efectos de las presiones antrópicas y naturales en los ecosistemas marinos de manera integral, no limitándose a la normativa. Esto requiere de establecimiento de hipótesis, objetivos claros y metodologías robustas además de esfuerzos multidisciplinarios, supeditados a una gobernanza ambiental organizada y vigilante.

En cuanto a las variables o parámetros ambientales a ser vigilados, como se ha indicado anteriormente, estas deben obedecer a una mirada global de las presiones ambientales existentes en el ecosistema marino específico. En el presente estudio se han evaluado de manera integral los datos existentes de las presiones ambientales (emisores) versus indicadores de calidad ambiental del tipo fisicoquímico y biológico (ver Sección 6). Se han considerado además inconsistencias metodológicas y vacíos de información encontradas en los monitoreos realizados históricamente (ver Sección 5.2). Para el caso del POAL el documento "Protocolo de Muestreo – Aseguramiento y Control de Calidad para la Toma de Muestras en Terreno del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL)", propone los analitos y especie bioacumuladora a muestrear durante 2019-2023, no obstante, no se indica el razonamiento técnico detrás de estos, ni se ha observado consistencia histórica en estos mismos.

Esto resalta la necesidad de revisar continuamente las variables, considerando además cambios que pudiesen existir en cuanto se revelen nuevos datos que indiquen pertinencia de aumentar o disminuir el alcance del monitoreo, cambios en las tecnologías utilizadas por los agentes que emiten los contaminantes (ej. residuos líquidos industriales), o cambios en el medio marino costero y respuestas de comunidades biológicas a estresores-múltiples de largo plazo asociados al cambio climático. Por consiguiente, se debería transitar hacia monitoreos "adaptativos" que permita flexibilidad para alcanzar un mayor poder predictivo.

Con respecto a la metodología para la captura de datos para el monitoreo ambiental, se deben establecer procedimientos basados en estándares ya sea nacionales o internacionales donde los últimos no existan. Se reconoce que el Protocolo POAL contiene metodologías para la obtención de muestras de sedimentos, agua y bioacumulación de metales (Protocolo POAL, 2021), no obstante, estas debieran referenciar a los estándares correspondientes:

- NCh411/19:2017 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 19: Guía para el muestreo de sedimentos marinos*
- NCh411/9:1997 *Calidad del agua - Muestreo - Parte 9: Guía para el muestreo de aguas marinas*

En el caso de planes de monitoreo que incluyan componentes biológicos asociados al intermareal de fondo rocoso, playas arenosas expuestas y fito- y zoo-plancton costero, se recomienda seguir los lineamientos publicados en Castilla et al. (2020) por Manríquez (Cap. 12), Jaramillo (Cap. 13), y Krautz et al. (Cap. 15). Si el programa establece que la macrofauna bentónica es el receptor principal de la contaminación costera se recomienda seguir los lineamientos europeos (Noble-James et al., 2018) y también nacionales publicados en Castilla et al. (2020) por Hernández-Miranda et al. (Cap. 14), y aquellos que busquen evaluar la presencia de contaminantes en agua y organismos marinos (bioacumulación), se recomienda seguir los lineamientos publicados por Salamanca et al. (Cap. 9) y Chandía et al. (Cap. 10).

Con respecto a los PVA y el monitoreo de la macrofauna bentónica, estos por extensión siguen las metodologías para elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) e Informe Ambiental de la actividad acuícola (INFA) contenidas en la Res. Ex. 3612 del 2009 emanada desde la Subsecretaría de Pesca (Hernández-Miranda et al., 2020). En particular, en el numeral 28 se establecen las metodologías a utilizar

para el análisis de la macrofauna bentónica. De especial relevancia resulta la obligatoriedad de utilizar un tamiz de 1000 µm (R. Ex. 3612 del 2009), ya que, un estudio reciente comparando tamices de 500 y 1000 µm concluyó que utilizando este último se subestimaría el nivel de impacto utilizando índices AMBI y Warwick, recomendándose el uso de un tamiz de 500 µm, si el objetivo del estudio es determinar impactos en la zona costera relacionados a actividades productivas (Hernández-Miranda et al., 2021).

De aquí en adelante se entregan lineamientos para un nuevo programa de monitoreo para la bahía de Iquique considerando: i) la línea de base utilizando datos PVA y POAL reportada en Sección 3.2 arriba, ii) vacíos de información detectados en punto i) y parámetros emergentes reportados en Sección 7.3.2 abajo, iii) el diseño de monitoreos PVA y POAL actualmente en ejecución, iv) la zonificación del borde costero para el puerto de Atacama, v) la macro-infauna submareal como receptor principal de la contaminación industrial en la zona costera, y vi) las especies de valor comercial pez demersal anchoveta y el mitílido *Mytilus chilensis* (chorito), junto con el anomuro *Emerita analoga* (pulga de mar) como especies centinela de la potencial bioacumulación de contaminantes industriales entrando a las tramas tróficas marinas.

En cuanto a los análisis fisicoquímicos, estos deben ser realizados por laboratorios acreditados bajo la norma nacional NCh 17025:2017 *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*, o su equivalente internacional, y además es esencial, que sean realizados de manera consistente. En la práctica, muchos de los métodos de análisis de agua se basan en el "*Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*" (Standard Methods) pero no son exactamente los mismos entre laboratorios, existiendo pequeñas diferencias aun así estando acreditados. Es por esto que si se cambia el laboratorio entre muestreos se deben considerar potenciales diferencias en metodologías que podrían afectar los resultados. De manera vital, se deben reconocer y considerar también los diferentes métodos de reportar los analitos (ej. nitratos como N vs nitratos como NO_3). Se plantean en este estudio las metodologías recomendadas para los diferentes analitos propuestas.

La interpretación de los datos debe realizarse inicialmente comparando los resultados con normas nacionales o en ausencia de estas con normas internacionales. Para este plan de muestreo se proponen las mismas normas utilizadas en la evaluación de datos que corresponden a las normas australiana y canadiense para agua y sedimento (ver Sección 2.3.3). Adicionalmente se deben utilizar métodos estadísticos apropiados para determinar tendencias en el tiempo (ej. análisis de series de tiempo) y evaluar las respuestas biológicas entre sitios de referencia vs control (ej. análisis de varianza), identificando datos espurios y outliers. En el caso de las respuestas de los ensambles submareales de fondo blando hacia perturbación antropogénica costera, se recomienda el análisis de curvas ABC y estadístico W establecidas por Clarke y Warwick (1994) debido a que ha demostrado ser una herramienta confiable en detectar perturbaciones a pesar de no contar con una serie de tiempo o espacial de referencia (Warwick, 1986).

Finalmente, la adherencia a los principios anteriormente discutidos y por ende garantía de calidad, se logra utilizando métodos acreditados que contienen en sí métodos de revisión como serían el uso de duplicados, réplicas de terreno, etc. Estos procedimientos también están descritos para el caso del agua en el estándar NCh-ISO5667/14:2015 *Calidad de agua - Muestreo - Parte 14: Guía para la garantía de calidad y control de calidad de las muestras de agua del medioambiente y manejo*.

Sobre este último punto, no obstante, se estima que una medida fundamental sería la vigilancia de los datos, su compilación e interpretación por una entidad especialista. Como ejemplo, se observa que en el caso de los datos obtenidos del POAL y PVA estos son de baja calidad (discutido en la Sección 5.2; ver también Castila et al., 2020). Estos problemas podrían hacerse evidentes y ser corregidos a tiempo, de ser compilados y analizados los datos, y luego interpretados e informados a la comunidad de manera periódica.

Finalmente, siguiendo con este aspecto, es de suma importancia la generación de un manual, guía o instructivo unificado para la realización de monitoreo costero en Chile para asegurar que estos sean efectivos, replicables y que se dé buen uso a los recursos empleados.

7.2 Relación con objetivos de manejo ambiental costero

La propuesta de un plan de monitoreo se enmarca en los objetivos del programa Humboldt II, el cual resalta la necesidad de establecer programas de monitoreo que consideren las características específicas del área a ser monitoreada y las principales fuentes de contaminantes locales. Adicionalmente, es importante notar que la realización de estudios científicos para la determinación de una línea base y diagnóstico ambiental, es un componente fundamental de los requisitos para la dictación de las normas de calidad ambiental. En este caso, la realización de un monitoreo de diagnóstico podría apoyar la dictación de una norma secundaria de calidad ambiental (NSCA), la que se define de la siguiente manera, de acuerdo con el artículo 3° del D.S. 38/2013 del Ministerio del Medio Ambiente (que aprueba reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión):

> *"Las normas secundarias de calidad ambiental son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza. El decreto supremo que establece estas normas señalará el ámbito territorial de su aplicación, el que podrá ser todo el territorio de la República o una parte de él. Las normas secundarias se dictarán mediante decreto supremo del Ministerio y serán suscritas por el Ministro y el o los ministros sectoriales competentes que corresponda, en su caso, y se publicarán en el Diario Oficial."*

En este sentido, la información levantada para este estudio tiene por objetivo no solo la generación de una línea de base actualizada que permita aumentar el conocimiento científico de la bahía, sino el convertirse en una propuesta técnica de asignación de la calidad para los cuerpos y cursos de aguas marinas que confluyen en el borde costero. Lo anterior debe ir de la mano del proceso de Zonificación de Borde Costero, y la Estrategia Regional de Desarrollo sobre la base de los usos prioritarios actuales potenciales y futuros determinados por la autoridad, las comunidades acuáticas y la calidad existente.

Este proceso a su vez debe ir en línea de las actividades transversales y metas de la Estrategia Nacional de Biodiversidad, específicamente el objetivo de "Desarrollar una red de monitoreo de la biodiversidad terrestre y acuática tanto continental como marina, dotada de un sistema de alerta temprana".

7.3 Análisis para selección de contaminantes a monitorear

La selección de parámetros fisicoquímicos a monitorear se basa en un análisis multifactorial, de cuáles serían apropiados desde un punto de vista de emisiones, vacíos de información, toxicidad, disponibilidad de métodos en Chile, continuidad, entre otros.

De manera específica, se realizó un análisis global de los datos fisicoquímicos disponibles cruzando la información de contaminantes que hayan superado la normativa alguna vez en los monitoreos del POAL y PVA, para las matrices de sedimentos y agua; los reportados en RETC para fuentes emisoras en la bahía; y los indicados en el D.S. 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que "establece norma

de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales".

Se deben también considerar parámetros básicos de caracterización como lo son pH, conductividad, oxígeno disuelto, redox y turbidez, como también parámetros que pueden estar presentes en el agua de mar de manera natural y al mismo tiempo ser generados por fuentes industriales o recirculación de agua de mar (ej. cloruros). Se hace válido el monitorear estos para determinar cambios temporales y espaciales en las condiciones naturales del cuerpo de agua, vale decir, no solo el monitorear parámetros que estén normados o para los que haya niveles de referencia, sino que adquirir información adicional para tener un entendimiento global de las condiciones fisicoquímicas del medio. Esto es especialmente relevante en el caso de las desaladoras, cuyas descargas están compuestas por elementos presentes el mar naturalmente (cloruros, bromuros, sulfatos) pero cuyos efectos a concentraciones muy elevadas o con cambios abruptos deben considerarse. Si bien estas no están actualmente presentes en el área de estudio, no se descarta que en el futuro lo estén.

Adicionalmente, se revisó bibliografía con respecto a los contaminantes asociados a industrias relevantes en la zona y, además, se investigó sobre contaminantes emergentes que no están actualmente cubiertos por normas chilenas, pero que la literatura recientemente ha catalogado como de interés. Se reconoce sí la dificultad de analizar estos compuestos, toda vez que posiblemente no estén disponibles en la oferta de laboratorios nacionales. En las siguientes secciones se presenta el análisis de los contaminantes descritos anteriormente.

7.3.1 Revisión de literatura

Como se mencionó anteriormente, se revisó bibliografía que indicara los contaminantes típicos que se emiten al ambiente para las industrias presentes en la bahía de Iquique, para incluirlos de igual manera como analitos relevantes que deben ser monitoreados. La Corporación Financiera Internacional (IFC, 2007) indica los contaminantes según industrias que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 62 – Contaminantes relevantes según industria

Industria	Procesos	Contaminantes / Analitos a monitorear
Procesamiento de pescado	Aguas residuales	Materia orgánica, DBO_5, DQO, nitrógeno, fósforo, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales
	Desinfección	Cloro, formaldehído, peróxido de hidrógeno
Puertos y terminales	Dragado	Turbiedad
	Aguas residuales y sentinas	DBO, DQO, sólidos disueltos, aceites, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales
Agua y saneamiento	Tratamiento de aguas servidas	Sólidos disueltos, materia orgánica, metales pesados, aceites, grasas, jabones (boro), detergentes, coliformes fecales, cloro*

*: En el caso de Iquique, las plantas de aguas servidas solo se realizan pretratamiento, por lo que no se considera el cloro.

Fuente: Elaboración propia a partir de IFC (2007)

En cuanto a metales y metaloides, se debe notar específicamente los "13 metales prioritarios" (13 *priority metals*) definidos por la USEPA dentro de la "Lista de Contaminantes Prioritarios" (Priority Pollutant List[25]) que forma parte de la "Ley de Agua Limpia" (Clean Water Act) de Estados Unidos a nivel federal, estos corresponden a los siguientes: antimonio, arsénico, berilio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio y zinc. Cabe notar que, a falta de fuentes en el área de estudio, se ha descartado de esta lista el berilio (principales fuentes son la quema de carbón o aceites a nivel industrial), la plata (asociada a actividades mineras), y el talio (históricamente usado como pesticida y rodenticida, su importación se encuentra restringida por el Convenio de Basilea).

7.3.2 Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes se definen como sustancias químicas no reguladas o reguladas de forma inadecuada. Los efectos de la mayoría de estos compuestos no han sido estudiados a cabalidad, pero se cree un número importante de estos representan amenazas potenciales para los ecosistemas y la salud de las personas.

Las fuentes de estos contaminantes en el medio acuático incluyen escorrentía, filtración de lixiviado de vertederos, y especialmente las aguas residuales industriales y domésticas, ya que las plantas de tratamiento no están diseñadas para filtrar estos compuestos y su eliminación es por tanto limitada. Estos también pueden tener su origen en descargas de embarcaciones que transiten el área, las que pueden tener hidrocarburos (solventes, combustibles) y/o compuestos antiincrustantes. En la Figura 168 se presenta esquemáticamente las fuentes de contaminantes emergentes en el medio marino.

Figura 168 – Fuentes de contaminantes emergentes al medio acuático
Fuente: Adaptado de Contaminants of Emerging Concern in the Mediterranean Sea (Plan Bleu/ONU, 2021)

[25] https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf

Como una manera de priorizar los compuestos, se han propuesto estrategias basadas en los conceptos de persistencia (P), movilidad (m), y toxicidad (T) en el medio ambiente (Hale et al, 2020), lo que ha sido adoptado por la Agencia Medioambiental Alemana (*Umweltbundesamt*), y a su vez están basados en los criterios de "persistencia, bioacumulación y toxicidad (PBT)" establecido por el reglamento europeo relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH) y el anexo XIII del Reglamento (CE) n° 1907/2006.

Cabe notar que la Unión Europea identifica 26 compuestos en su Lista de Vigilancia revisada el 2020 para Agua Superficial (Surface Water Watch List)[26]. Estos incluyen antibióticos, antidepresivos, antifúngicos (de uso sanitario y agropecuario) y agentes presentes en bloqueadores solares.

Existe cierto consenso en que los contaminantes emergentes pertenecen en general a las siguientes categorías:

- Productos farmacéuticos
- Sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS)
- Productos cosméticos
- Microplásticos

La presencia de estos compuestos en diferentes partes del mundo ha sido ampliamente estudiada en el especialmente en Europa y Estados Unidos ej. Norte de Portugal y Galicia (Montes et al. 2022), Alemania (Fliedner et al, 2020), Estado de Washington (Department of Ecology State of Washington, 2021), entre otros.

En cuanto a los productos farmacéuticos, se destacan los antibióticos (ej. azitromicina), analgésicos (ej. ibuprofeno), antifúngicos (ej. clotrimazol) y antidepresivos (ej. fluoxetina). Estos son quizás el grupo de mayor relevancia, ya que no son estudiados como contaminantes usualmente, y sus efectos en la biota son en gran parte desconocidos. Otro producto no prioritariamente farmacéutico, la cafeína, es también relevante dada su prevalencia y potencial impacto ecológico. La presencia de estos productos es extendida, incluso encontrándose ibuprofeno y cafeína en concentraciones ambientalmente relevantes en un estudio realizado en la Admirality Bay en la Antártica (Szopińska et al. 2022). En relación al caso chileno, se puede tomar de referencia la lista de los 10 medicamentos más vendidos para el año 2021 (última actualización) del Instituto de Salud Pública[27], reproducida abajo.

[26] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022D1307&qid=1658824912292#ntr5-L_2022197EN.01012001-E0005

[27] https://www.ispch.gob.cl/noticia/isp-informa-sobre-los-medicamentos-mas-vendidos-durante-el-ano-2021/

Ranking 2021	Medicamento	Principio activo	Unidades vendidas enero - octubre 2021
1º	PARACETAMOL TABLETA 500MG x 16	PARACETAMOL	6.359.427
2º	LOSARTAN TABLETA 50MG x 30	LOSARTAN	4.733.831
3º	IBUPROFENO GRAGEA 600MG x 20	IBUPROFENO	4.709.576
4º	KETOROLACO TABLETAS REVESTIDAS 10MG x 10	KETOROLACO	4.313.806
5º	ANTI JAQUECOSO DE MARCA	CAFEINA + ERGOTAMINA + METAMIZOL SODICO	4.003.226
6º	ZOPICLONA TABLETA RECUBIERTA 7.50MG x 30	ZOPICLONA	2.890.661
7º	ACIDO MEFENAMICO TABLETA 500MG x 10	ACIDO MEFENAMICO	2.847.599
8º	NAPROXENO TABLETAS RECUBIERTAS 550MG x 10	NAPROXENO	2.710.259
9º	KETOPROFENO TABLETA 200MG x 10	KETOPROFENO	2.710.139
10º	CLORFENAMINA MALEATO TABLETA 4.00MG x 20	CLORFENAMINA MALEATO	2.489.255

Las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) tales como el ácido perfluorooctanoico (PFOA) y sulfonato perfluorooctanoico (PFOS) son usadas extensivamente en diferentes productos de uso diario (desde textiles hasta artículos de cocina), y se ha demostrado que la exposición a estas puede causar efectos dañinos a la salud humana y ecosistemas[28].

En cuanto a los productos de uso cosmético, aparecen mencionados en la literatura específicamente los compuestos orgánicos presentes en bloqueadores solares además de aditivos como el triclosán y parabenos (Juliano y Magrini, 2017) que son agentes antimicrobianos de amplio espectro usado en jabones, shampoo, pasta de diente, cosméticos, etc. siendo los parabenos más comunes que el triclosán.

Los microplásticos son partículas de plástico de menos de 5 mm, las cuales representan un creciente problema ambiental dada su prevalencia en el medio marino y su potencial de daño a los ecosistemas[29].

Con la excepción de los PFAS, como mencionado anteriormente, estos compuestos no están cubiertos por la normativa internacional sobre calidad del agua, no se han estudiado a cabalidad, y se cree que representan amenazas para los ecosistemas y la salud humana.

Otro contaminante asociado a actividades humanas diarias es el 4-nonilfenol, el cual se encuentra presente en detergentes y productos de limpieza por sus propiedades como surfactante y el bromoformo, trihalometano que puede formarse por procesos de cloración en conjunto con la alta concentración de bromo en el agua de mar, que si bien no es considerado contaminante emergente en la literatura, no es usual medirlo (por ejemplo, no hay metodologías analíticas recomendadas en Australia y se indica que se debiese consultar con la autoridad antes de monitorear este parámetro). Estos últimos, se encuentran presentes entre los parámetros a normar dentro del *Informe Técnico de la Elaboración del Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección De las Aguas Marinas y Sedimentos de la Bahía de Quintero-Puchuncaví* elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente (2021)[30]

[28] https://www.epa.gov/pfas/pfas-explained
[29] https://oceanservice.noaa.gov/facts/microplastics.html
[30] https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2021/proyectos/027_Folios_318_al_356_MInuta_tecnica.pdf

Finalmente, otro contaminante relevante para el medio marino es el tributilo de estaño (TBT), un componente tóxico utilizado en los recubrimientos antiincrustantes para barcos (International Maritime Organization (IMO), 2009; Australian Government – DCCEEW, 2022). Si bien este no se clasifica como emergente, y está prohibido desde el 2016 en Chile, en condiciones anóxicas puede tardar mucho tiempo en degradarse por lo que también se recomienda incluir para sedimentos en un estudio exploratorio.

7.3.3 Selección de contaminantes

En la siguiente sección se presenta el análisis para la selección de parámetros fisicoquímicos y contaminantes a monitorear. Este, como mencionado anteriormente, se base en un análisis multifactorial, que incluye: su relevancia según las fuentes de contaminación existentes en la bahía; la literatura en cuanto a contaminantes emergentes; aquellos que están siendo monitoreados actualmente y existe superación de normativa o niveles de referencia; los contaminantes reportados en RETC que están siendo emitidos al medio marino; y además los indicados en el D.S. 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que “establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”, que corresponde a la principal normativa ambiental existente en Chile en cuanto a medio marino (además del D.S. 144/2008 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia que establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo, pero cuyos analitos normados están incluidos en el D.S. 90).

En la siguiente tabla, se presentan los resultados del análisis global para definir los contaminantes relevantes a monitorear.

Tabla 63 – Análisis global de analitos relevantes

Analito	Superación de norma en agua	Superación de norma en sedimentos	Reportado en RETC	Bibliografía	Normado en DS90 Tabla 4	Relevante	Observación
Aceites y grasas	sin norma	no medido	Si	Si	Si	Si	se emite
Aluminio	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite
Amonio	supera	no medido	No		No	Si	supera norma
Arsénico	no supera	no supera	Si		Si	Si	se emite
Bicarbonato	no medido	sin norma	No		No	Si	parámetro básico para balance
Boro	no medido	no medido	Si	Si	No	Si	se emite, no se mide
Bromuro	no medido	sin norma	No		No	Si	parámetro básico para balance
Cadmio	supera	supera	Si		Si	Si	se emite y supera norma
Calcio	no medido	sin norma	No		No	Si	parámetro básico para balance
Carbono orgánico total	no medido	sin norma	No		No	Si	Parámetro básico
Cianuro	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Cloruro	no medido	no medido	Si	Si	No	Si	se emite, no se mide
Cobre	supera	supera	Si		Si	Si	se emite y supera norma
Coliformes fecales	supera	no medido	No	Si	Si	Si	no se reporta, pero supera norma
Coliformes totales	sin norma	no medido	No		No	No	no se reporta, no hay norma
Cromo hexavalente	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Cromo total	supera	supera	Si		Si	Si	se emite y supera norma
DBO_5	supera	no medido	Si	Si	Si	Si	se emite y supera norma
Estaño	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Fenoles	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide

Analito	Superación de norma en agua	Superación de norma en sedimentos	Reportado en RETC	Bibliografía	Normado en DS90 Tabla 4	Relevante	Observación
Fluoruro	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Fosfato	supera	no medido	No		No	Si	supera norma
Fósforo	supera	sin norma	Si	Si	Si	Si	se emite y supera norma
Hidrocarburos fijos	sin norma	sin norma	Si		No	Si	se emite
Hidrocarburos totales	no supera	supera	Si		Si	Si	se emite y supera norma
Hidrocarburos volátiles	sin norma	sin norma	Si		Si	Si	se emite
Hierro	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Magnesio	no medido	sin norma	No		No	Si	parámetro básico para balance
Manganeso	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Materia Orgánica	sin norma	sin norma	No	Si	No	Si	Parámetro básico
Mercurio	supera	supera	Si		Si	Si	se emite y supera norma
Molibdeno	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Níquel	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Nitrato	supera	no medido	Si		No	Si	se emite y supera norma
Nitrito	no supera	no medido	Si		No	Si	se emite
Nitrógeno total	no medido	sin norma	No	Si	No	Si	por industria
Nitrógeno Total Kjeldahl	supera	sin norma	Si		Si	Si	se emite y supera norma
Oxígeno disuelto	supera	no medido	No		No	Si	supera norma
PCBs	no medido	no supera	No		No	No	
Pentaclorofenol (PCP)	no medido	sin norma	Si		No	Si	se emite, no se mide
pH	no medido	no medido	No		Si	Si	parámetro básico
Plomo	supera	supera	Si		Si	Si	se emite y supera norma

Analito	Superación de norma en agua	Superación de norma en sedimentos	Reportado en RETC	Bibliografía	Normado en DS90 Tabla 4	Relevante	Observación
Potasio	no medido	sin norma	No		No	Si	parámetro básico para balance
Selenio	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Sólidos disueltos	sin norma	no medido	No		No	Si	parámetro básico
Sólidos sedimentables	no medido	no medido	Si		Si	No	
Sólidos suspendidos	sin norma	no medido	Si	Si	Si	Si	se emite
Sulfato	no medido	no medido	Si		No	Si	se emite, no se mide
Sulfuro	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM)	no medido	no medido	Si		Si	Si	se emite, no se mide
Temperatura	no medido	no medido	No		Si	Si	Parámetro básico
Tetracloroeteno	no medido	no medido	Si		No	Si	se emite, no se mide
Tolueno	no medido	no medido	Si		No	Si	se emite, no se mide
Triclorometano	no medido	no medido	Si		No	Si	se emite, no se mide
Xileno	no medido	sin norma	Si		No	Si	se emite, no se mide
Zinc	supera	supera	Si		Si	Si	se emite y supera norma
HAP's	sin norma	no supera	No		No	Quizás	no concluyente
Acenafteno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Acenaftileno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Antraceno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Benzo(a)antraceno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Benzo(a)pireno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Benzo(b)fluoranteno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Benzo(ghi)perileno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Benzo(k)fluoranteno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Criseno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Dibenzo(a,h)antraceno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Fenantreno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente

Analito	Superación de norma en agua	Superación de norma en sedimentos	Reportado en RETC	Bibliografía	Normado en DS90 Tabla 4	Relevante	Observación
Fluoranteno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Fluoreno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Indeno(1 2 3-cd)pireno	sin norma	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Naftaleno	no supera	sin norma	No		No	Quizás	no concluyente
Pireno	sin norma	supera	No		No	Si	supera norma
Tributilo de estaño (TBT)	no medido	no medido	No	Si	No	Si	por industria
Productos farmacéuticos	no medido	no medido	No	Si	No	Si	por literatura
PFAS	no medido	no medido	No	Si	No	Si	por literatura
Productos cosméticos	no medido	no medido	No	Si	No	Si	por literatura
Microplásticos	no medido	no medido	No	Si	No	Si	por literatura
4-nonilfenol	no medido	no medido	No	Si	No	Si	por literatura
Bromoformo	no medido	no medido	No	Si	No	Si	por literatura

Tomando en cuenta el anterior análisis, se plantean los siguientes grupos de analitos de interés para monitorear de manera regular en la zona de estudio:

Tabla 64 – Análisis de la incorporación de los analitos al programa de monitoreo

Clase	Analitos	Comentarios
Metales/metaloides	aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, cromo hexavalente, cromo total, estaño, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc. (concentraciones disueltas)	Corresponde a la lista de contaminantes prioritarios más elementos comunes aluminio, estaño, hierro y manganeso. Adicionalmente se agregó el molibdeno que es reportado como emitido en el área, y de manera conservadora boro que, no obstante es emitido, puede corresponder solo a recirculación de agua de mar.
Iones mayores/nutrientes	amonio, bicarbonato, bromuro, calcio, cloruro, fluoruro, fosfato, fósforo, magnesio, nitrato, nitrito, nitrógeno total, nitrógeno Kjeldahl, potasio, sulfato y sulfuro	En el caso del bromuro, calcio, cloruro, fluoruro, fosfato, magnesio, potasio y sulfatos estos son constituyentes principales del agua de mar. Se evalúan para realizar un balance químico y detectar cambios en la composición fisicoquímica de manera general. En el caso del fósforo y especies nitrogenadas, estas se evalúan para detectar algún tipo de contaminación por efluente.
Hidrocarburos (totales y fracciones)	hidrocarburos fijos, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles	Se han detectado hidrocarburos en muestras de sedimentos por lo que se hace relevante el monitorear estos.
HAPs (hidrocarburos policíclicos aromáticos)	acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, díbenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1, 2, 3-cd)pireno, naftaleno, pireno	Corresponde a los 16 hidrocarburos policíclicos aromáticos identificados como prioritarios por la USEPA. Para efectos de salud humana y de reporte de emisiones se utiliza internacionalmente (ej. EE. UU., Australia) la suma de estos utilizando un factor equivalente de toxicidad. Se recomienda por consistencia mantener la lista de los 16 HAPs. Se han realizado, además, esfuerzos por convertir estos factores en toxicidad equivalente para biota acuática (Fisher et al, 2011).
Compuestos orgánicos	fenoles, pentaclorofenol (PCP), tetracloroeteno, tolueno, triclorometano, xilenos	Todos estos compuestos se emiten a la bahía, pero se desconoce su estado en la bahía.
Otros	carbono orgánico total, coliformes fecales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos,	Indicadores generales de contaminación antropogénica. En el caso de las SAAM y

Clase	Analitos	Comentarios
	sustancias activas de azul de metileno (SAAM), aceites y grasas	aceites y grasas, se relaciona con descarga de efluentes.
Parámetros en terreno	conductividad, oxígeno disuelto, pH (en terreno y laboratorio), temperatura, turbidez	Parámetros generales.
Contaminantes emergentes	PFAS, 4-nonilfenol y bromoformo	Últimamente se ha reconocido mundialmente la importancia ambiental de los PFAS. En Chile la información ambiental sobre estos es escasa. En cuanto al 4-nonilfenol y bromoformo, estos han sido incluidos en los parámetros a normar en el Anteproyecto de Norma Secundaria de Quintero-Puchuncaví.

Adicional a lo anterior, se recomienda un monitoreo exploratorio que cubra los grupos de contaminantes emergentes, los que debiesen incluir tributilo de estaño, triclosán, parabenos, microplásticos, productos farmacéuticos. Con respecto a estos últimos, se ha mencionado que se debiese partir por los de mayor uso en Chile.

7.4 Análisis para selección de especies a monitorear

Se han evaluado dos aspectos fundamentales para la selección de especies a monitorear. Estos corresponden a evaluar los cambios en parámetros poblacionales (abundancia y biomasa) y a nivel de ensambles macro-infaunales submareales (riqueza, diversidad, uniformidad, estadístico W), y los factores de bioacumulación y ecotoxicidad.

7.4.1 Cambios poblacionales y de ensambles macro-infaunales submareales

Se ha seleccionado el componente biótico macro-infaunal como receptor principal de la contaminación industrial en la zona costera basado en las siguientes ventajas comparativas de este nivel trófico (extraído desde Surugiu, 2009):

- Reflejan condiciones ambientales no sólo al momento del muestreo, sino que también para un periodo largo de tiempo posterior al muestreo.
- Son más o menos sedentarios sin la capacidad de evitar el deterioro de la calidad del agua y sedimentos siendo útiles para el estudio de los efectos locales de contaminantes.
- Tienen ciclos de vida relativamente largos posibilitando una buena integración de la calidad del agua y sedimentos.
- Pertenecen a varias categorías taxonómicas, los cuales, exhiben diferentes niveles de tolerancia a diferentes niveles de estrés ambiental, pudiendo ser clasificados de acuerdo a su respuesta a distintos factores estresores.
- Son comercialmente importantes o representan una fuente importante de alimento para especies de valor económico.

Juegan un rol importante en el ciclo de la materia orgánica, nutrientes y otros químicos entre el sedimento y la columna de agua.

No obstante lo anterior, se incluye el monitoreo del componente biótico habitando el intermareal rocoso como complemento del monitoreo submareal macro-infaunal, el que posee un mayor valor turístico, aunque puede ser menos importante para el desarrollo de peces de importancia comercial (Pihl and Wennhage, 2002), y más resiliente a relaves de hierro submarino en la bahía Chapaco (EnSoil, 2021).

7.4.2 Bioacumulación y ecotoxicidad en organismos marinos

El proceso de bioacumulación, en el cual una sustancia química es absorbida en un organismo por todas las rutas de exposición tal como ocurre en el ambiente natural (Arnot y Gobas, 2006), en organismos marinos ha recibido bastante atención por su capacidad de evidenciar perturbaciones por la actividad industrial en la zona costera. Y es que, una vez introducido en el ambiente acuático, los metales son redistribuidos a través de toda la columna de agua, acumulada en los sedimentos o consumidos por la biota. Estos metales en concentraciones elevadas por sobre el necesario para sostener procesos biológicos esenciales tanto a nivel de micro- (ej. Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Mo, Cr, Se) como macro-nutrientes (Ca, Mg, Na, P, y S) puede inducir efectos tóxicos perturbando el crecimiento, metabolismo o reproducción de los organismos con consecuencias para las cadenas tróficas, incluyendo los humanos. Además, los metales no esenciales como Pb, Cd, Ni, As, y Hg aun a muy bajas concentraciones pueden causan un efecto tóxico mayor en los organismos, vale decir, ecotoxicidad (Gheorghe et al., 2017).

Según Salamanca et al. (2020) los organismos a utilizar en los ensayos de bioacumulación de contaminantes deben ser representativos del área de estudio, sésiles o poco móviles, que cumplan parte de su ciclo de vida en área y con rol ecológico conocido. Esta información condiciona la interpretación de los resultados de los ensayos, debido a que los organismos podrían evidenciar una condición natural, o bien un proceso de bioconcentración (la absorción de una sustancia por un organismo desde el ambiente sólo a través de su superficie respiratoria y dérmica, sin incluir exposición química a través de la dieta, Arnot y Gobas, 2006) o biomagnificación (cuando la actividad termodinámica del químico o metal excede aquel de su dieta, Arnot y Gobas, 2006). Así, resulta necesario obtener datos complementarios sobre el organismo, por ejemplo, sexo, estado de desarrollo, alometría o estado de condición, y definir si el análisis debe ser realizado a un órgano en específico o al organismo completo (Salamanca et al., 2020 y referencias).

Debido a que cumplen con la mayoría de esas condiciones se recomienda como especies centinelas o indicadores de contaminación costera ingresando a las tramas tróficas marinas: al pez demersal anchoveta, el mitílido *Mytilus chilensis* (chorito), y el anomuro *Emerita analoga* (pulga de mar). Más en específico, estos 3 organismos fueron seleccionados teniendo en cuenta: i) su presencia durante todo el año en la bahía de Iquique (Acuña y Jaramillo, 2015; Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura, 2021), ii) existe información sobre su distribución y ecología en el norte de Chile (Cahuín et al., 2013; Acuña y Jaramillo, 2015; Oyarzún et al., 2018), iii) existe evidencia mostrando que bioacumulan metales por sobre las concentraciones permitidas (Olavarría, 2007; Guiñes et al., 2015; Galatchi et al., 2017; Alizada et al., 2020), iv) poseen valor comercial y cultural (anchoveta y chorito), y v) utilizan distintos hábitats pudiendo ser receptores de la contaminación costera como la zona pelágica (anchoveta) e intermareal rocoso (chorito) y arenoso (pulga de mar).

De especial relevancia es que el laboratorio que realizará los ensayos sea Clase ISO 5 para asegurar un estricto control de las fuentes de contaminación externa y alcanzar una sensibilidad adecuada, en este sentido resulta necesario que este certificado con la norma ISO/IEC 17025 (2017) para ensayos analíticos con CG-MS y CG con detector FID, y para la determinación por separación cromatográfica las normas

"Environmental Protection Agency 8270 (GC/MS) y "Environmental Protection Agency 8015B (GC/FID), así como la "Environmental Protection Agency 3500" para la extracción y "Environmental Protection Agency 3600" para la purificación (Salamanca et al., 2020; Chandía et al., 2020). El único protocolo emanado desde la autoridad marítima que se encontró, sobre metodologías de muestreo y ensayo de bioacumulación bajo el POAL, no entrega antecedentes técnicos para la toma de muestra y selección de la especie modelo, el mitílido *Perumytilus purpuratus* (Protocolo POAL, 2021), de bajo consumo humano comparado con *Mytilus chilensis* (Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura, 2021). Por consiguiente, se recomienda seguir las metodologías que aparecen en Salamanca et al. (2020, ver límites de detección en Tabla 1 y 2) y Chandía et al. (2020).

7.5 Análisis para ubicaciones y frecuencia de monitoreo

7.5.1 Zonificación del área de estudio

A partir de la información revisada con respecto a la zonificación de usos del borde costero, como mencionado en la Sección 3.1.2, además de las fuentes potencialmente contaminantes y batimetría, se identificaron y definieron diferentes zonas con diferentes características en el área de estudio, que fueron convenientes para definir los puntos de muestreo y pueden ser prácticas para establecer medidas de manejo en un futuro. A continuación, de detalla cada uno de estos factores para luego presentar las zonas de monitoreo definidas.

7.5.1.1 Fuentes potencialmente contaminantes

Con respecto a las fuentes potencialmente contaminantes, se han definido las que podrían provocar un impacto en el medio marino del área de estudio. De estas, algunas corresponden a fuentes puntuales, identificadas en la Sección 4.1, que generan emisiones directas al mar y son reportadas en RETC; y además, se encuentran las fuentes difusas que no generan emisiones directamente, sin embargo, podrían albergar actividades donde se generen efectos negativos debido a escurrimiento superficial o subterráneo (por ejemplo, por derrames) o al transporte de partículas.

Las fuentes puntuales y difusas identificadas en el área de estudio se presentan a continuación en la Tabla 65 y en la Figura 169. En la figura se observa que la mayoría de las fuentes se ubican en el sector norte de la bahía, correspondiente a una zona industrial de la ciudad (entre Punta Negra y Punta Morro aproximadamente). El sector sur (al sur de Punta Morro) solo se encuentran el emisario de aguas servidas Playa Brava, un cultivo de peces y la ciudad de Iquique como fuentes potenciales.

Tabla 65 – Fuentes potencialmente contaminantes en el área de estudio

Fuentes puntuales	Fuentes difusas
Emisario aguas servidas Punta Negra	Planta Oxiquim
Plantas Corpesca	Planta y terminal Esmax
Planta SERENOR	Planta Copec
Pesquera Camanchaca	Ex Central termoeléctrica Iquique
Emisario aguas servidas Playa Brava	Astillero
	Puerto de Iquique
	Cultivo de peces nativos
	Zona urbana de Iquique

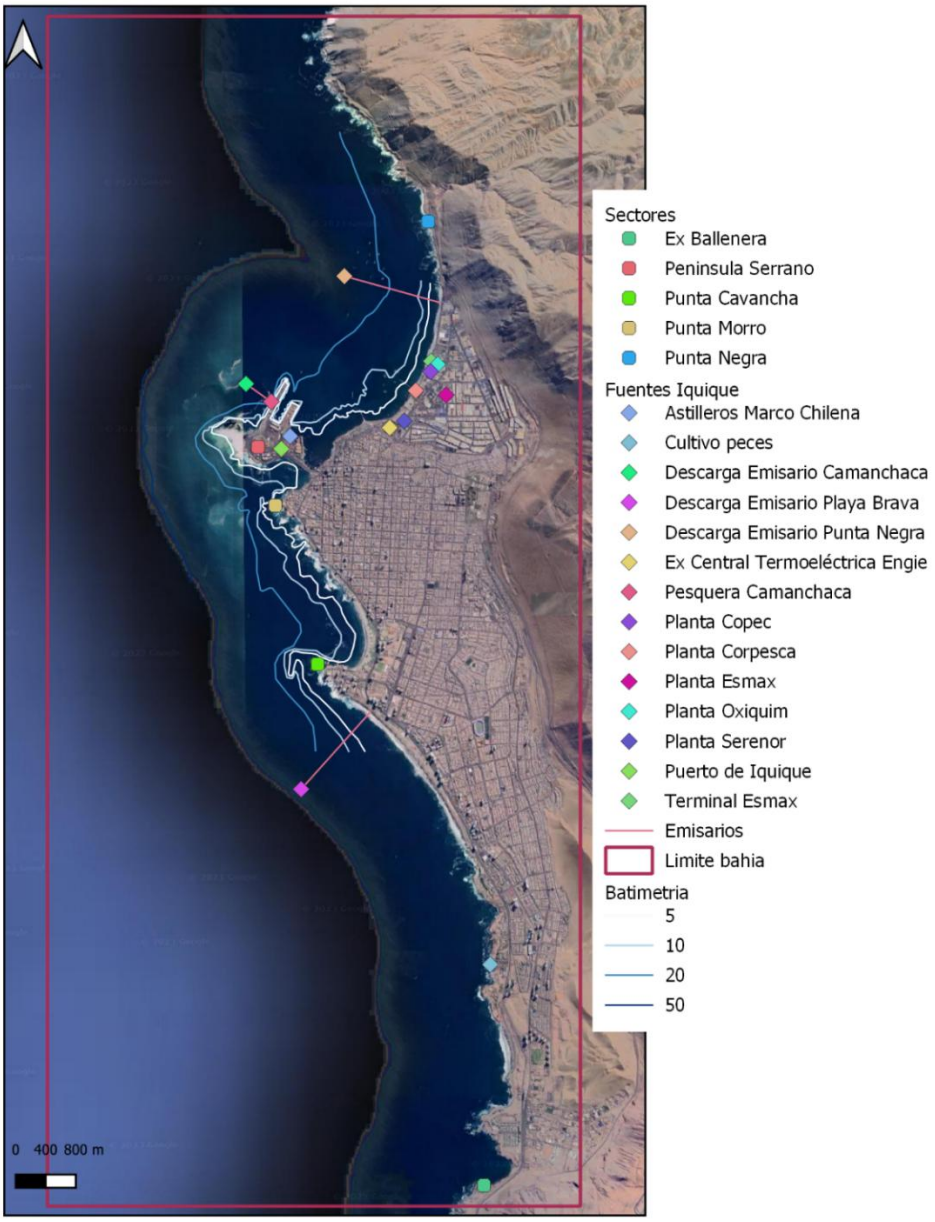


Figura 169 – Ubicación de las fuentes potencialmente contaminantes de la bahía
Fuente: Elaboración propia

7.5.1.2 Usos de borde costero

Como comentado anteriormente (Sección 3.1.2), se analizó la zonificación de usos del borde costero de la región de elaborado por el Gobierno Regional de Tarapacá (2016). Las zonas más relevantes identificadas, además de los sectores turísticos, se presentan en la Figura 170. Se observa que el sector norte de la bahía (al norte de Punta Morro) corresponde a la zona portuaria principalmente, con algunas áreas de zona turística, urbana, de interés ecosistémico para la conservación y de potencial apoyo portuario industrial.

Por su parte, el sector centro-sur (al sur de Punta Morro) corresponde principalmente a zona turística y urbana.

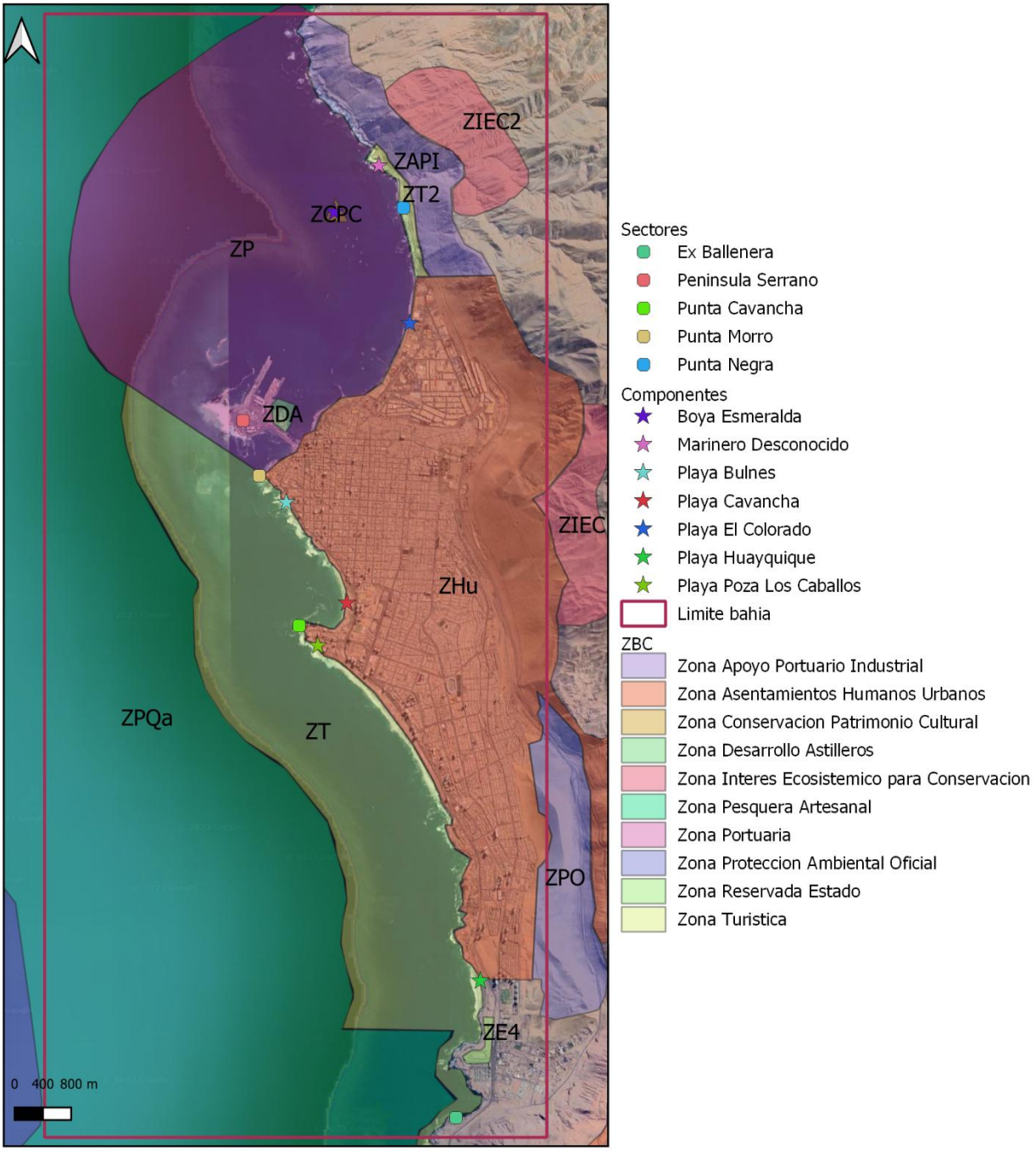


Figura 170 – Zonificación de usos de borde costero
Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de Gobierno Regional de Tarapacá (2016)

7.5.1.3 Batimetría y usos del espacio marítimo

Se pudo obtener la batimetría de un sector de la zona de estudio a partir del documento "Mapa sensibilidad ambiental bahía de Iquique y caletas Patillo y Patache" de Directemar (2017), basado en la carta náutica de SHOA "1211 Bahía Iquique". En la Figura 172 se presenta un mapa con la cartografía de Directemar georreferenciada y superpuesta, a partir de la cual se extrajo la batimetría. Cabe destacar que no se encuentra disponible la cartografía de toda el área de estudio, por lo que no se dispone de las isobatas en toda la zona. Sería recomendable, antes de la ejecución del plan de monitoreo propuesto en las siguientes secciones, que se disponga de un archivo SIG con la batimetría, solicitado a la autoridad correspondiente, y con esto ajustar los puntos de monitoreo.

Por otro lado, en la Figura 171 se presenta un extracto de la carta náutica de SHOA "1211 Bahía Iquique", en la que se pueden observar distintos sectores de la zona portuaria, distinguiéndose también dos áreas: una de entrada y salida de embarcaciones, zonas de diversas actividades portuarias y de fondeo (sur de la zona portuaria); y un área de prohibición de fondeo (norte de la zona portuaria).

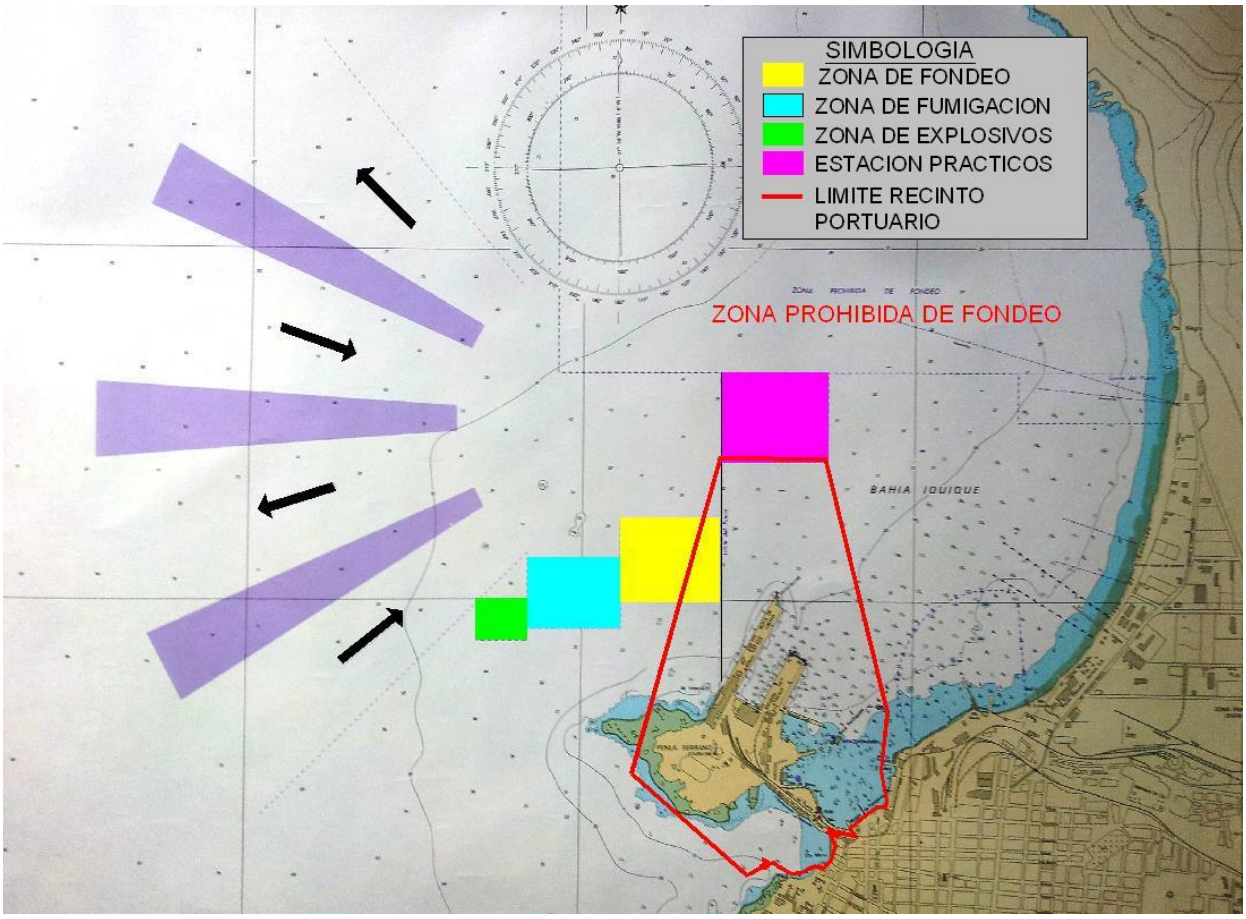


Figura 171 – Espacios marítimos bahía de Iquique
Fuente: Plan maestro de Puerto de Iquique (Empresa Portuaria Iquique, 2015) en base a carta SHOA 1211 Bahía Iquique

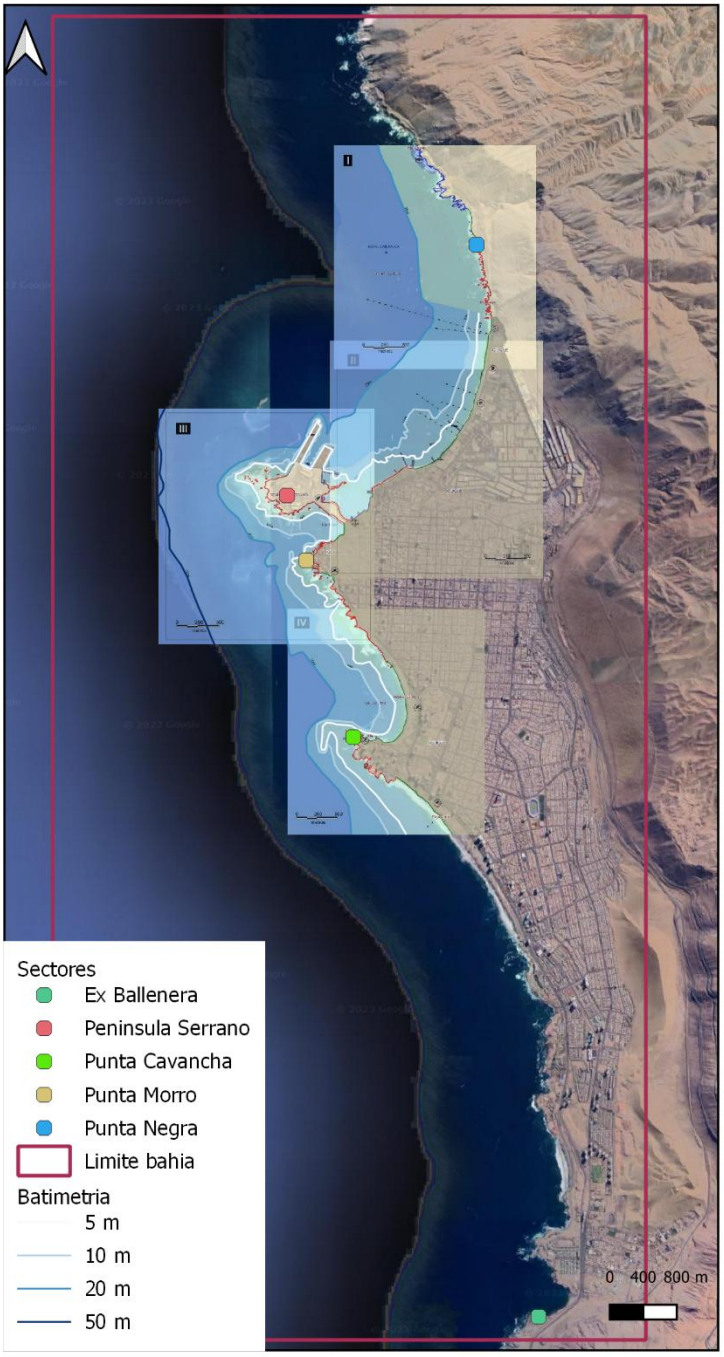


Figura 172 – Batimetría del área de estudio
Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía de Directemar (2017)

7.5.1.4 Definición de zonas

Al analizar la información expuesta anteriormente, fue posible definir 3 zonas de características comunes en el área de estudio. Las zonas definidas, junto con la demás información espacial relevante, se presentan en la Figura 173 y se describen brevemente a continuación:

Zona 1 Portuaria: Corresponde al sector norte de la zona portuaria definida por el Gobierno Regional de Tarapacá (2016), sin embargo, es un área de prohibición de fondeo, por lo que la actividad portuaria no es intensiva. En esta zona no se presentan fuentes potencialmente contaminantes, y no existe zona urbana adyacente, sino que una zona turística y de potencial apoyo portuario industrial. Dentro de esta zona existen algunos puntos turísticos, como la Boya Esmeralda y el Monumento al Marinero Desconocido. Al norte de esta zona (fuera del área de estudio), se encuentra una zona de manejo y extracción de recursos bentónicos. El límite de la zona está definido por el norte por Punta Piedras (límite norte del área de estudio) y por el sur por el límite de la zona urbana.

Zona 2 Portuaria: Corresponde al sector sur de la zona portuaria definida por el Gobierno Regional de Tarapacá (2016), donde la actividad portuaria es relevante. En este sector se encuentra la gran mayoría de las fuentes potencialmente contaminantes puntuales y difusas (Emisario aguas servidas Punta Negra, Planta Oxiquim, Plantas Corpesca, Planta y terminal Esmax, Planta SERENOR, Planta Copec, Pesquera Camanchaca, Ex Central termoeléctrica Iquique, Astillero y Puerto de Iquique), e incluye parte de la zona urbana de Iquique (sector predominantemente industrial). El límite de la zona está definido por el norte por la Zona 1 Portuaria descrita anteriormente y por el sur por Punta Morro.

Zona 3 Turística: Corresponde principalmente a la zona turística definida por el Gobierno Regional de Tarapacá (2016), y se encuentra la mayor parte de la zona urbana de Iquique (principalmente residencial y comercial), además de las principales playas y lugares de esparcimiento. En esta zona no hay actividad portuaria relevante ni fuentes potencialmente contaminantes, a excepción del emisario de aguas servidas ubicado en Playa Brava, un cultivo de peces y la ciudad misma.

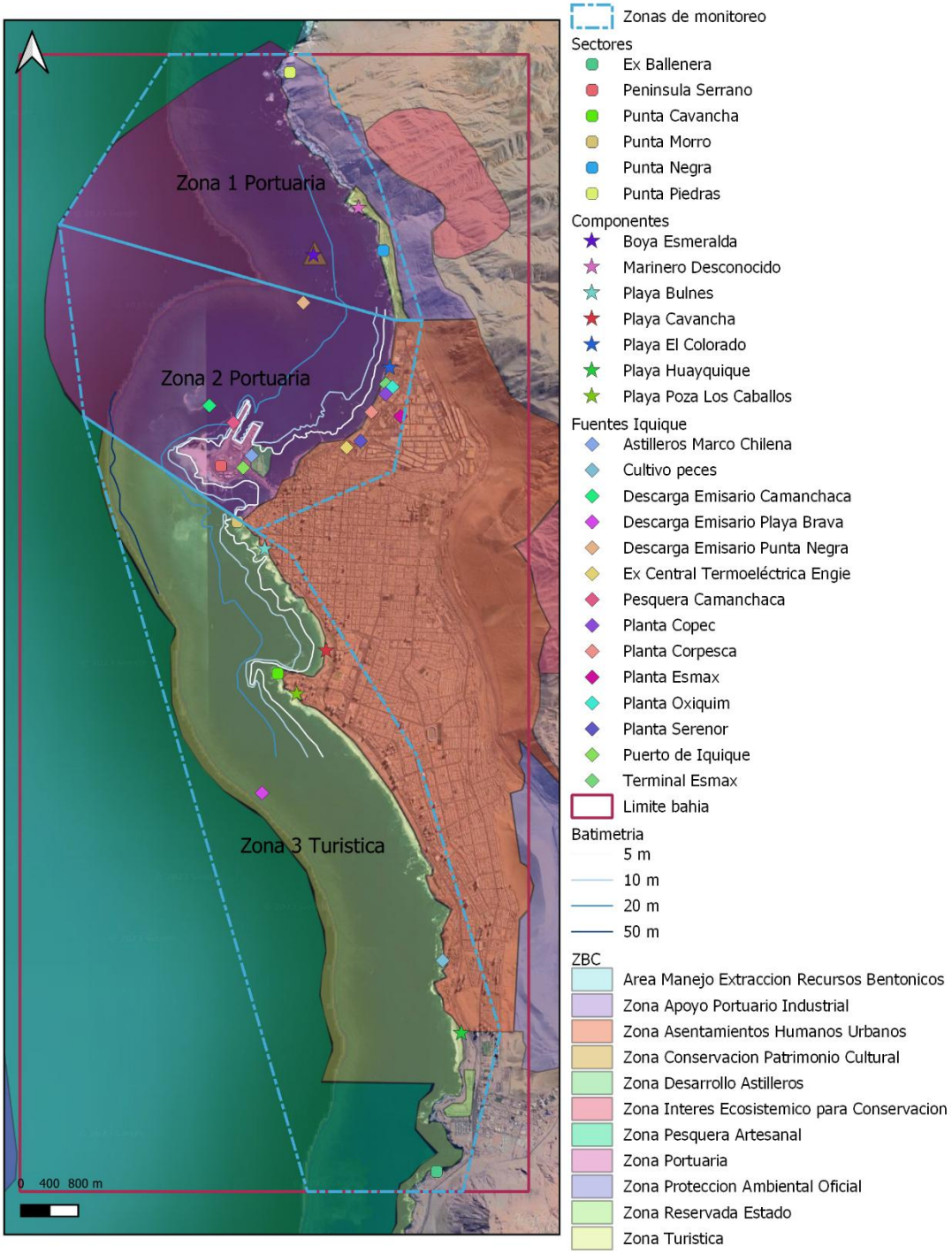


Figura 173 – Zonas de monitoreo definidas en el área de estudio
Fuente: Elaboración propia

7.5.2 Puntos de muestreo y frecuencia de monitoreo

Los puntos de muestreo para el programa de monitoreo se definieron a partir de las zonas identificadas y definidas anteriormente, además de la ubicación específica de las distintas fuentes, los usos del borde costero y la información de batimetría.

Se considera importante monitorear puntos que sean representativos de sectores donde se están descargando contaminantes, pero también de puntos que sean relevantes en cuanto a importancia ecológica, y otros que sean indicativos del estado general de la bahía y sus alrededores. Por ejemplo, el diseño de monitoreo de los PVA para Iquique es del tipo gradiente, donde una o más estaciones de referencia son ubicadas en y desde el punto de descarga del RIL (Camanchaca) o riesgo de derrame de petróleo (Corpesca y Puerto de Iquique), con el gradiente siguiendo la pluma de dispersión del contaminante, y el sitio control quedando lo más alejado posible de la estación de referencia (máx.. 3 km en 3 PVA analizados). Por otro lado, el diseño POAL, con estaciones dispuestas latitudinalmente a una distancia similar desde la costa, busca monitorear las condiciones generales del ambiente litoral.

Para el caso de la propuesta de monitoreo de este estudio, además de lo anteriormente indicado, se considera relevante monitorear parámetros bióticos en sedimentos a 20 y 50 m de profundidad (submareal), profundidades que muestran la mayor variabilidad en riqueza y abundancia macro-infaunal a lo largo de la costa de Chile (Lancelloti y Stotz, 2004 y referencias). Además, se considera importante monitorear algunos puntos ubicados en el intermareal, principalmente para caracterizar fisicoquímicamente los sedimentos y agua en sectores más cercanos a las fuentes potencialmente contaminantes, y la bioacumulación en especies que ahí habitan.

Se propone una grilla de 30 estaciones en total, con 24 estaciones de muestreo a lo largo y ancho del área de estudio (Figura 175), cubriendo la zona submareal a 20 y 50 m de profundidad, e intermareal rocoso y arenoso (esto cuando sea posible y no exista infraestructura portuaria o naval), concentrando la mayoría de los nodos de muestreo dentro de la Zona 2 Portuaria (de mayor actividad industrial potencialmente contaminante), pero incluyendo además puntos en la Zona 1 Portuaria y Zona 3 Turística (n = 24 estaciones; 8 nodos).

Además, se proponen 6 estaciones control (2 nodos), considerando las 3 profundidades indicadas anteriormente, con 1 nodo de muestreo al norte del área de estudio y el otro al sur, a más de 10 km desde la zona portuaria, debiendo mostrar un estado de afectación bajo (i.e., para fines estadísticos son muestras independientes). Específicamente el sitio control sur obedece a los reportes de corrientes superficiales con componente N desde el Molo de Abrigo y frente a la playa El Colorado (Camanchaca, 2004; Corpesca, 2006), y el control norte quedando fuera de la zona de influencia portuaria y dentro de un área de manejo y extracción de recursos bentónicos (AMERB), lo que permitiría evaluar la funcionalidad ecosistémica de esas 2 figuras de gobernanza (Figura 175).

Con respecto a la frecuencia, se propone un monitoreo por una duración mínima de 2 años, de manera estacional e idealmente trimestral. El muestreo interanual macro-infaunal permitirá abarcar los ciclos de vida de los organismos indicadores de contaminación, así como también, pudiendo coincidir con la ocurrencia del fenómeno de El Niño o La Niña pudiendo ser incluido como factor en sus respuestas ecológicas (ej. Moreno et al., 2008).

En el caso del monitoreo de biota para bioacumulación, este se realizará de manera estacional por dos años, para los organismos seleccionados del intermareal rocoso (chorito) y arenoso (pulga de mar) y zona pelágica (anchoveta).

Por otra parte, se propone un monitoreo exploratorio de contaminantes emergentes, solo una vez, en las matrices agua de mar y sedimentos, en todos los puntos de monitoreo.

Se espera que implementando este diseño de monitoreo y sus metodologías asociadas se pueda evidenciar de mejor manera el impacto que la actividad industrial tiene respecto a la variabilidad natural alrededor del

Puerto de Tarapacá en comparación a los PVA y el POAL, los cuales, mostraron deficiencias metodológicas y en el caso de los PVA escasa variación estacional dentro y entre sitios referenciales vs control.

7.6 Otros aspectos

7.6.1 Métodos analíticos recomendados

Se han utilizado las siguientes referencias para definir los métodos analíticos más apropiados para los parámetros fisicoquímicos indicados a monitorear:

- *Approved methods for the sampling and analysis of water pollutants in NSW*, NSW EPA (2022), Australia; y
- *Part 136 – Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants*, USEPA (2017), Estados Unidos

La primera, *Approved methods for the sampling and analysis of water pollutants in NSW,* corresponde a la guía que indica los métodos aprobados por la autoridad del estado de Nueva Gales del Sur (Australia) para los análisis de agua. Esta guía se inserta dentro de la ley estatal *Protection of the Environment Operations (General) Regulation 2022,* que regula todas las operaciones que pudiesen

Esta norma aplica para todos los análisis de agua que se realicen en este estado, y que formen parte de un plan de cumplimiento o investigación ambiental que fuese sometida a escrutinio y/o aprobación por parte de la máxima autoridad ambiental estatal (NSW EPA). Aplica para todo tipo de aguas mientras se cumplan los requerimientos de muestreo, conservación y pretratamiento referenciados en la misma norma. En este sentido, no hace distinción en particular en cuanto a análisis para aguas marinas, pero si aplica para estas.

La segunda, *Part 136 – Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants,* corresponde a la normativa que indica también los métodos aprobados por la autoridad ambiental (en este caso, la USEPA a nivel federal en Estados Unidos). Esta guía, es parte de la ley *Clean Water Act 1977*, que es la normativa principal que protege a nivel federal todo tipo de aguas incluyendo playas y océanos.

Ambos documentos mencionan entre los métodos aprobados para los análisis metodologías del *Standard Methods* (APHA) y de la USEPA. En el caso de los *Standard Methods*, cabe notar que según indica este documento en su sección “Alcance y aplicación”, los métodos indicados son aplicables a diferentes tipos de aguas incluyendo “aguas domésticas, aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas industriales y aguas salinas”.

En efecto, los métodos indicados por *Standard Methods* indican métodos aplicables a aguas marinas ya que contienen las correcciones por interferencias existir en esta matriz de naturaleza compleja. Como ejemplo, se puede citar la discusión del método 3125 para la espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, por sus siglas en inglés), la que es una técnica ampliamente utilizada en la analítica fisicoquímica de aguas y sedimentos. No obstante, es reconocido el hecho de que existen dificultades en los análisis de elementos traza en aguas con alto contenido de sólidos disueltos al utilizar esta metodología. La alta salinidad da origen a interferencias poliatómicas (entre otras), que pueden causar supresión de ionización y superposición isobárica de los elementos objetivo. Una interferencia poliatómica se produce cuando dos o más átomos se enlazan, con una masa combinada que es igual a la de un ion objetivo. Por

ejemplo, el arsénico con una masa de 75 es típicamente enmascarado por la formación de ArCl (masa combinada de argón y cloro 75), siendo el Ar el gas usado por el ICP-MS y el cloruro abundante en el agua salina. No obstante lo anterior, el *Standard Methods* reconoce estas interferencias e indica en su método 3125 las provisiones que deben tomarse para los análisis en aguas de alta salinidad (que incluyen correcciones matemáticas y dilución de 1:10).

Por otra parte, todos los métodos indicados por la USEPA indican su desempeño en variadas matrices acuosas y solidas (incluyendo para sedimentos). Como ejemplo, se puede citar el método USEPA 8270, para variados compuestos semivolátiles utilizando cromatografía/espectrometría de masa, el cual cita en su sección sobre desempeño (Performance, en inglés) a Parris et al (1996), que evaluó la metodología en el medio marino.

Se revisaron también los métodos analíticos indicados por el estudio *Actualización de la Información Disponible y Propuesta de Monitoreo para el Diseño de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el Golfo de Arauco* (Holon, 2020), encontrándose que en su mayoría se indica los *Standard Methods* o métodos de la USEPA. Con respecto a los primeros, se indica en muchos de ellos la frase "validado en agua de mar (34 psu)" no obstante no se indica la referencia de esto. Por otra parte, se indican métodos alternativos, como por ejemplo para cadmio y plomo por ICP-MS para el cual se recomienda "Methods of Seawater Analysis K. Grasshoff, K. Kremling, M. Ehrhardt 1999". Lamentablemente no se indica por qué de la elección, como también se nota que el método mencionado no es ICP-MS (al parecer por error), si no que ICP-AES, una técnica menos sensible.

Cabe notar que los métodos indicados en la Tabla 66 son aplicables tanto a agua, como sedimento y biota. En el caso de sedimento y biota, se debe realizar un pretratamiento de la muestra como por ejemplo el indicado por USEPA 3050B (digestión por ácido) en el caso de metales o los indicados por el estándar USPA 8260D para compuestos orgánicos volátiles. Cabe notar finalmente que, no obstante la siguiente lista está basada en métodos aprobados internacionalmente, de igual manera debiese ser revisada por un organismo técnico competente.

Tabla 66 – Método de análisis recomendado para cada analito

Clase	Analitos	Método recomendado
Metales/metaloides	Aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, cromo total, estaño, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc.	Pretratamiento con APHA 3030, luego APHA 3120 USEPA 6010, o Método NCh3633:2021 (aguas) NCh3634:2021 (sedimentos) Ver discusión más abajo acerca de metales disueltos, totales y extraíbles.
	Cromo hexavalente	APHA method 3500-Cr USEPA method 218.6
Iones mayores/nutrientes	Amonio	USEPA 350.1, Rev. 2.0 (1993) APHA 4500-NH3
	Calcio	APHA section 3111B* APHA section 3111D*
	Cloruro, fluoruro, nitrato, nitrito, fosfato, sulfato	APHA 4110 USEPA 6500

Clase	Analitos	Método recomendado
	Fósforo	APHA 4500-P B USEPA 365.3
	Magnesio	Pretratamiento con APHA 3030, luego APHA 3120 USEPA 6010
	Potasio	Pretratamiento con APHA 3030, luego APHA 3111B
	Sulfuro	APHA 4500-S2
	Nitrógeno total	APHA 4500-N C
	Nitrógeno Kjeldahl	APHA 4500-Norg B-2011 o C-2011 y 4500-NH3 B-2011
	Bicarbonato	APHA 2320
Hidrocarburos (totales y fracciones)	Hidrocarburos fijos, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles	USEPA 8000 USEPA 8015
HAPs (hidrocarburos policíclicos aromáticos)	Acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, díbenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1, 2, 3-cd)pireno, naftaleno, pireno	USEPA 8270 USEPA 8310
Compuestos orgánicos	Fenoles, pentaclorofenol, (PCP)	USEPA 8270 USEPA 420.1
	Tetracloroeteno, triclorometano (cloroformo), bromoformo, tolueno, xilenos	USEPA 8021 USEPA 8260
Otros	Carbono orgánico total	APHA 5310 USEPA 9060
	Coliformes fecales	APHA 9221
	Sólidos disueltos	APHA 2540C
	Sólidos suspendidos	APHA 2540D USEPA 160.2
	Sustancias activas de azul de metileno (SAAM)	APHA 5540
	Aceites y grasas	USEPA 1664 Rev. A

Clase	Analitos	Método recomendado
Parámetros en terreno	Conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH (en terreno y laboratorio), temperatura, turbidez	pH APHA 4500-H
Contaminantes emergentes	PFAS*	USEPA 537.1-1[31]
	4-nonilfenol	O-1433-01 (método USGS)
	Bromoformo	USEPA 8021 USEPA 8260

* PFAS National Environmental Management Plan (National Chemicals Working Group of the Heads of EPAs Australia and New Zealand, 2020)

Con respecto a los métodos de análisis de metales en aguas, cabe destacar que la opción de medición de metales disueltos o totales no es un tema completamente resuelto a nivel internacional, existiendo justificaciones para ambas opciones. En general, los valores de referencia están diseñados en base a estudios científicos de ecotoxicología donde se utilizaron concentraciones de metales disueltos para derivar parámetros toxicológicos como EC_{10}, EC_{50}, LOEC, etc. Como ejemplo, la guía australiana, si bien indica la posibilidad de usar metales totales, recomienda que, si estos se presentan en concentraciones elevadas, se debiesen después realizar también análisis por metales disueltos. Por otro lado, los lineamientos canadienses indican para algunos metales sus niveles de referencia como totales (por ejemplo, arsénico[32] y mercurio[33]), pero para otros como disueltos (por ejemplo, manganeso[34]).

La principal ventaja de expresar la toxicidad sobre la base de la concentración total es que todo el elemento que puede ser potencialmente tóxico se incluye en la medición. Si la concentración total del elemento en el agua está dentro de los límites del criterio, entonces es seguro concluir que no existe contaminación. La principal desventaja de usar la concentración total para evaluar la calidad del agua es que puede ser una opción demasiado conservadora para el medio marino, estableciendo metas inalcanzables y sobreestimar en gran medida los riesgos ambientales. Esto último ya que una gran fracción de algunos elementos (como el mercurio) se vuelve biológicamente no disponible al formar complejos con las fracciones orgánicas y sólidas suspendidas del agua (coloides).

Por lo anteriormente expuesto, se propone que los metales sean medidos como concentraciones disueltas, para poder comparar directamente con guías internacionales como la australiana, evitando sobrestimar potenciales riesgos e incertidumbre. Sin embargo, de existir los recursos suficientes, podría ser recomendable medir ambos o en primer lugar totales y luego disueltos, en el caso de que los primeros superen los valores de referencia. Se entiende sí que lo anterior implica un proceso más largo, caro y requiere un análisis rápido de los resultados.

En el caso de los métodos de análisis de metales en sedimentos, en general las metodologías acreditadas se basan en concentraciones totales, al igual que las normativas internacionales. Sin embargo, para estudios de bioaccesibilidad/biodisponibilidad son utilizados métodos de extracción de metales mediante dilución ácida. Como indicado por Simpson y Batley (2016), una porción significativa de la concentración total de

[31] https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/pfas-nemp-2.pdf
[32] https://ccme.ca/en/res/arsenic-en-canadian-water-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life.pdf
[33] https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/water-quality-guidelines/approved-wqgs/bc_env_mercury_waterqualityguideline_technical.pdf
[34] https://ccme.ca/en/res/manganese-en-canadian-water-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life.pdf

metales (extraído usando ácidos concentrados) puede no estar biodisponible para los organismos (por ejemplo, formas altamente mineralizadas). Para la mayoría de los metales, la concentración máxima biodisponible se puede determinar mediante análisis de metales extraíbles por dilución ácida (*dilute-acid extractable metal* - AEM). Uno de los métodos más comunes de estos análisis consiste en reaccionar el sedimento húmedo con ácido clorhídrico 1 M frío en una relación sedimento:ácido de 1:50 durante una hora. Es importante señalar que esta extracción aun así es mucho más fuerte que la que pueden lograr los organismos. Sin embargo, la concentración de AEM proporciona una estimación útil de la concentración de metal potencialmente biodisponible, y por lo general puede ser apropiado comparar esta con el valor de referencia. En este sentido estas metodologías son muy útiles al proporcionar una mejor estimación de la fracción disponible de los contaminantes, pero se recomienda su utilización solo de manera exploratoria/confirmatoria, ya que no existen un consenso científico ni regulatorio a nivel internacional sobre su uso.

7.6.2 Permisos requeridos

Para la colecta de muestras marinas de columna de agua, sedimentos y organismos, se debe utilizar una embarcación que cuente con los permisos de zarpe requeridos por la Autoridad Marítima. Adicionalmente, se debe contar con el permiso del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico (SHOA) para realizar actividades de investigación en la zona a muestrear, de acuerdo con D.S. 711/1975 de Ministerio de Defensa Nacional (que aprueba el Reglamento de control de las investigaciones científicas y tecnológicas marinas efectuadas en la zona marítima de jurisdicción nacional), y en el caso de los organismos se debe contar con el permiso de Pesca de Investigación, emitido por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) de acuerdo con lo estipulado en el D.S. 430/1992 del Ministerio de Economía (que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.892, de 1989 y sus modificaciones, Ley General de Pesca y Acuicultura) y D.S. 461/1995 del Ministerio de Economía (que establece requisitos que deben cumplir las solicitudes sobre pesca de investigación).

7.6.3 Tratamiento de las muestras

Las muestras deberán ser colectadas de acuerdo a la metodología presentada más adelante en la Sección 7.7.4, utilizando las herramientas y materiales adecuados para cada matriz y analito, limpiándolos correctamente previo a la colección de cada muestra, y guardando las muestras en envases apropiados proporcionados por el laboratorio. También se debe tener en cuenta la posible contaminación de la muestra al introducir alguna sonda de medición.

Se recomienda considerar además la colección y análisis de muestras en duplicado (por ejemplo, 1 cada 20 muestras), con el fin de controlar la calidad de los procedimientos de muestreo y análisis.

Se debe considerar, en caso que corresponda según el analito, la conservación de las muestras mediante la adición de diferentes sustancias preservantes (por ejemplo, ácidos o bases para controlar el pH, ácido ascórbico o tiosulfato que reducen el efecto del cloro residual y otros oxidantes en las aguas, etc.) para mantener la integridad química de esta, según lo que indique el laboratorio.

Se debe consultar previamente al laboratorio la cantidad de muestra necesaria para su análisis, que depende de la matriz y el analito. Además, para algunos analitos (por ejemplo, volátiles) se requiere que los envases sean completamente llenados con muestra, evitando espacios con aire, lo que también debe ser indicado previamente por el laboratorio. En general, se recomienda que las muestras se almacenen en un lugar fresco y oscuro y, dependiendo del analito y de la matriz, se deberán conservar refrigeradas (por ejemplo, en *coolers* con hielo/*ice packs*) hasta su llegada al laboratorio.

Por otro lado, un aspecto crítico es el tiempo entre la toma de muestra y el análisis (*holding time*), ya que los analitos pueden degradarse o sufrir pérdidas a partir de un determinado momento, incluso considerando técnicas de conservación y almacenamiento. Este tiempo, que depende del análisis, debe ser consultado al laboratorio previo a la toma de muestras, para tomar las medidas necesarias. Por último, es importante codificar e identificar correctamente las muestras, llevando registro de la fecha y hora de muestreo, ubicación (coordenadas), matriz y analitos, además de la lectura de los parámetros *in situ* en caso de que corresponda. Se recomienda, además, mantener un registro fotográfico de cada muestra y contexto del muestreo. La información anterior debe ser incorporada en la Cadena de Custodia, documento que debe acompañar a las muestras hasta su ingreso al laboratorio.

7.6.4 Tratamiento de datos

Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de los parámetros monitoreados en las distintas matrices se deberán, en primer lugar, consolidar en una planilla, indicando como mínimo, el punto de muestreo, coordenadas, fecha de muestreo, matriz, parámetro, unidad de medida, límite de detección. Además, se debe registrar (no necesariamente en la misma planilla) el método de análisis de cada parámetro. Esta consolidación deberá ir acompañada de un análisis crítico de los datos, con el fin de detectar posibles errores de análisis o de transcripción y poder así subsanarlos. Se deberá prestar especial atención a valores *outliers* y además comparar los datos con el límite de detección/cuantificación del laboratorio.

A partir de los datos consolidados y ordenados, se deberá realizar un análisis estadístico básico, indicando valores como máximo, mínimo, promedio, mediana, desviación estándar para cada analito. Luego de esto, se deberá seleccionar una o más normas o guías de referencia internacional (en caso de que no exista en Chile) para comparar los resultados. Como mínimo, se deberá realizar un análisis de excedencia de esta (número de muestras con concentraciones sobre el nivel de referencia adoptado). Cabe notar que pueden existir niveles de referencia menores al límite de detección del laboratorio para algunos analitos (esto se debe evitar dentro de lo posible), lo que debe identificarse claramente para evitar presentar conclusiones erróneas. También se podrán comparar los resultados con los datos ya existentes de la bahía de Iquique y con otras zonas de estudio dentro de Chile o internacionalmente.

Adicionalmente, se deberá compilar un diagrama de tipo Schoeller (ver ejemplo en Figura 174) representando los iones mayores en miliequivalentes por litro (meq/L) para determinar posibles perturbaciones y/o variabilidad de las condiciones del medio acuático.

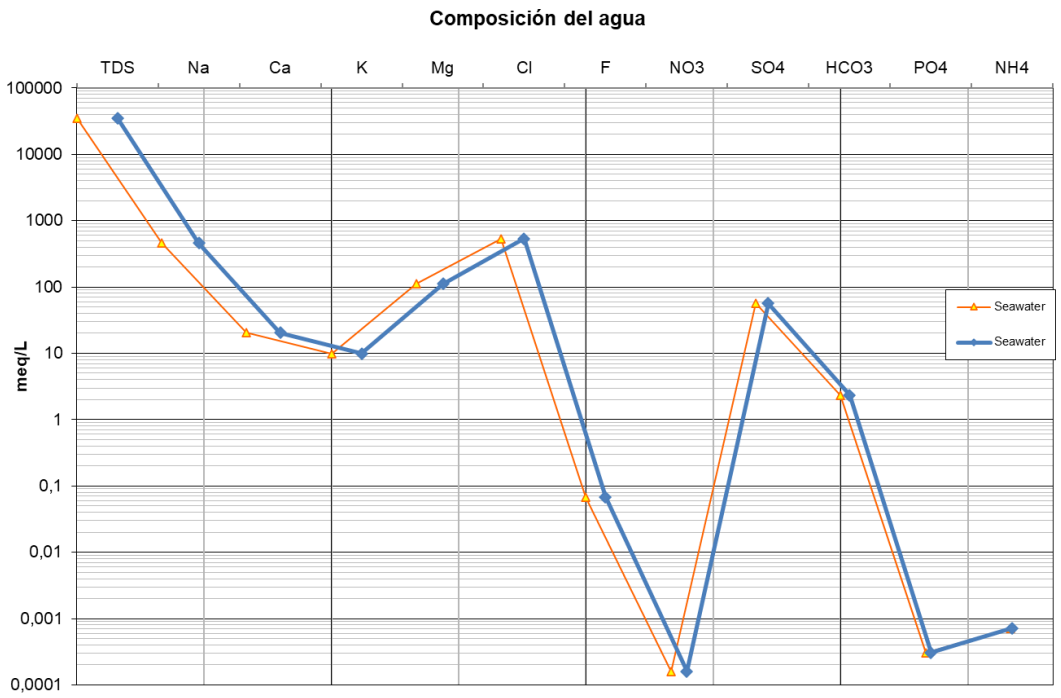


Figura 174 – Ejemplo de diagrama Schoeller

Los resultados podrán ser presentados en tablas resumen y en gráficos que muestren fluctuaciones temporales y diferencias entre puntos de monitoreo. En general, el análisis de los datos y su presentación deberá apuntar a poder responder interrogantes como: ¿las concentraciones en el área de estudio son mayores o menores a los valores de referencia?, ¿existen diferencias entre los distintos puntos de monitoreo?, ¿existe variabilidad temporal de estas concentraciones entre distintos años o entre estaciones del año?, entre otras.

En el caso de los parámetros obtenidos desde ensambles submareales e intermareales, estos deberán ser analizados para buscar tendencias en abundancia, biomasa y diversidad, comparando las distintas zonas de la bahía y estacionalidad. Los cambios en rangos de abundancia, biomasa y diversidad, entregará información sobre la presencia o no de perturbación ecológica. Respecto al nivel de perturbación de la bahía de Iquique, se deberán comparar las curvas ABC (Clarke and Warwick, 2001). Este método implica graficar curvas de k-dominancia para la abundancia y biomasa de las especies en un mismo gráfico, para luego medir el grado de solapamiento de esas curvas (Estadístico W).

7.7 Propuesta de monitoreo del borde costero y ambiente marino para la Bahía de Iquique

Teniendo como base el estado y caracterización de las componentes ambientales propuestas y en atención a los tipos de impactos o alteraciones antrópicas determinadas y la información bibliográfica analizada, se propone el siguiente plan de monitoreo.

7.7.1 Aspectos generales

- **Objetivo:** Evaluación de variables bióticas y abióticas en la bahía de Iquique
- **Duración:** Muestreo estacional e idealmente trimestral con campañas en primavera, verano, otoño e invierno, por una duración mínima de 2 años
- **Matrices a monitorear**: Columna de agua (análisis fisicoquímico), sedimentos (cambios poblacionales y de ensambles macro-infaunales, análisis fisicoquímico y granulométrico) y biota (bioacumulación)
- **Estaciones de monitoreo**: 30 en total, con 24 estaciones de muestreo referencial dentro del área de influencia costera de la actividad antrópica de Iquique, además de 6 estaciones de control

7.7.2 Parámetros fisicoquímicos

El monitoreo en las matrices agua, sedimentos y biota debe comprender los siguientes parámetros fisicoquímicos como se muestra en la Tabla 67.

Tabla 67 – Analitos fisicoquímicos

Analito	Agua	Sedimentos	Biota
Aceites y grasas	X	X	
Aluminio	X	X	X
Amonio	X	X	
Arsénico	X	X	X
Bicarbonato	X		
Boro	X	X	X
Bromuro	X		
Cadmio	X	X	X
Calcio	X		
Carbono orgánico total	X	X	
Cianuro	X	X	X
Cloruro	X	X	
Cobre	X	X	X
Coliformes fecales	X		X
Conductividad (en terreno)	X		
Cromo hexavalente	X	X	
Cromo	X	X	X
Estaño	X	X	X
Fenoles	X	X	
Fluoruro	X	X	
Fosfato	X	X	
Fósforo	X	X	
Hidrocarburos fijos	X	X	
Hidrocarburos totales	X	X	
Hidrocarburos volátiles	X	X	
Hierro	X	X	X

Analito	Agua	Sedimentos	Biota
Magnesio	X		
Manganeso	X	X	X
Materia orgánica	X	X	
Mercurio	X	X	X
Molibdeno	X	X	X
Níquel	X	X	X
Nitrato	X	X	
Nitrito	X	X	
Nitrógeno total	X	X	
Nitrógeno total Kjeldahl	X	X	
Oxígeno disuelto	X		
Pentaclorofenol (PCP)	X	X	
pH (en terreno y en laboratorio)	X		
Plomo	X	X	X
Potasio	X		
Selenio	X	X	X
Sólidos disueltos	X		
Sólidos suspendidos	X		
Sulfato	X	X	
Sulfuro	X	X	
Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM)	X	X	
Temperatura	X		
Tetracloroeteno	X	X	
Tolueno	X	X	
Triclorometano	X	X	
Turbidez (en terreno)	X		
Xilenos	X	X	
Zinc	X	X	X
HAP's	X	X	
Acenafteno	X	X	
Acenaftileno	X	X	
Antraceno	X	X	
Benzo(a)antraceno	X	X	
Benzo(a)pireno	X	X	
Benzo(b)fluoranteno	X	X	
Benzo(ghi)perileno	X	X	
Benzo(k)fluoranteno	X	X	
Criseno	X	X	
Díbenzo(a,h)antraceno	X	X	
Fenantreno	X	X	

Analito	Agua	Sedimentos	Biota
Fluoranteno	X	X	
Fluoreno	X	X	
Indeno(1 2 3-cd)pireno	X	X	
Naftaleno	X	X	
Pireno	X	X	
PFAS	X	X	
4-nonilfenol	X	X	
Bromoformo	X	X	
Granulometría		X	

Adicional a lo anterior, se recomienda realizar un monitoreo exploratorio que cubra los grupos de contaminantes emergentes, los que debiesen incluir tributilo de estaño, triclosán, parabenos, microplásticos, productos farmacéuticos, como mencionado en la Sección 7.3.3.

Se recomienda que la lista de parámetros indicados anteriormente sea revisada periódicamente y ajustada dependiendo de los resultados de los monitoreos previos. Por ejemplo, en caso de que cierto analito presente concentraciones bajo el nivel de detección consistentemente en los monitoreos previos, se puede evaluar la necesidad de seguir monitoreándolo.

En cuanto a los análisis, como indicado en la sección anterior se deben utilizar métodos acreditados por bajo la norma nacional NCh 17025:2017 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, o su equivalente internacional.

Con respecto a la biota, las especies que deberán ser colectadas para su análisis químico son las detalladas en la Sección 7.4.2 y corresponden al pez demersal anchoveta (*Engraulis ringens*), el mitílido *Mytilus chilensis* (chorito), y el anomuro *Emerita analoga* (pulga de mar) como especies centinelas o indicadores de contaminación entrando a las tramas tróficas marinas.

7.7.3 Ubicaciones de puntos de muestreo

A partir del análisis descrito en la Sección 7.5, se propone una grilla con 30 estaciones dispuestas a lo largo y ancho de la bahía de Iquique, la cual está dividida en 8 nodos con 24 estaciones de muestreo dentro del área de influencia costera de la actividad industrial y portuaria asociada a la bahía de Iquique, además de 6 estaciones control, a más 10 km hacia el sur y norte desde la zona portuaria. Las siguientes ubicaciones de estos puntos se presentan en la Figura 175, Figura 176, Figura 177, Figura 178, Figura 179 y en la Tabla 68. Además, las ubicaciones de los puntos de monitoreo, junto con la demás información espacial utilizada para el diseño del plan de monitoreo, se presenta en el Anexo 13 (Archivos SIG).

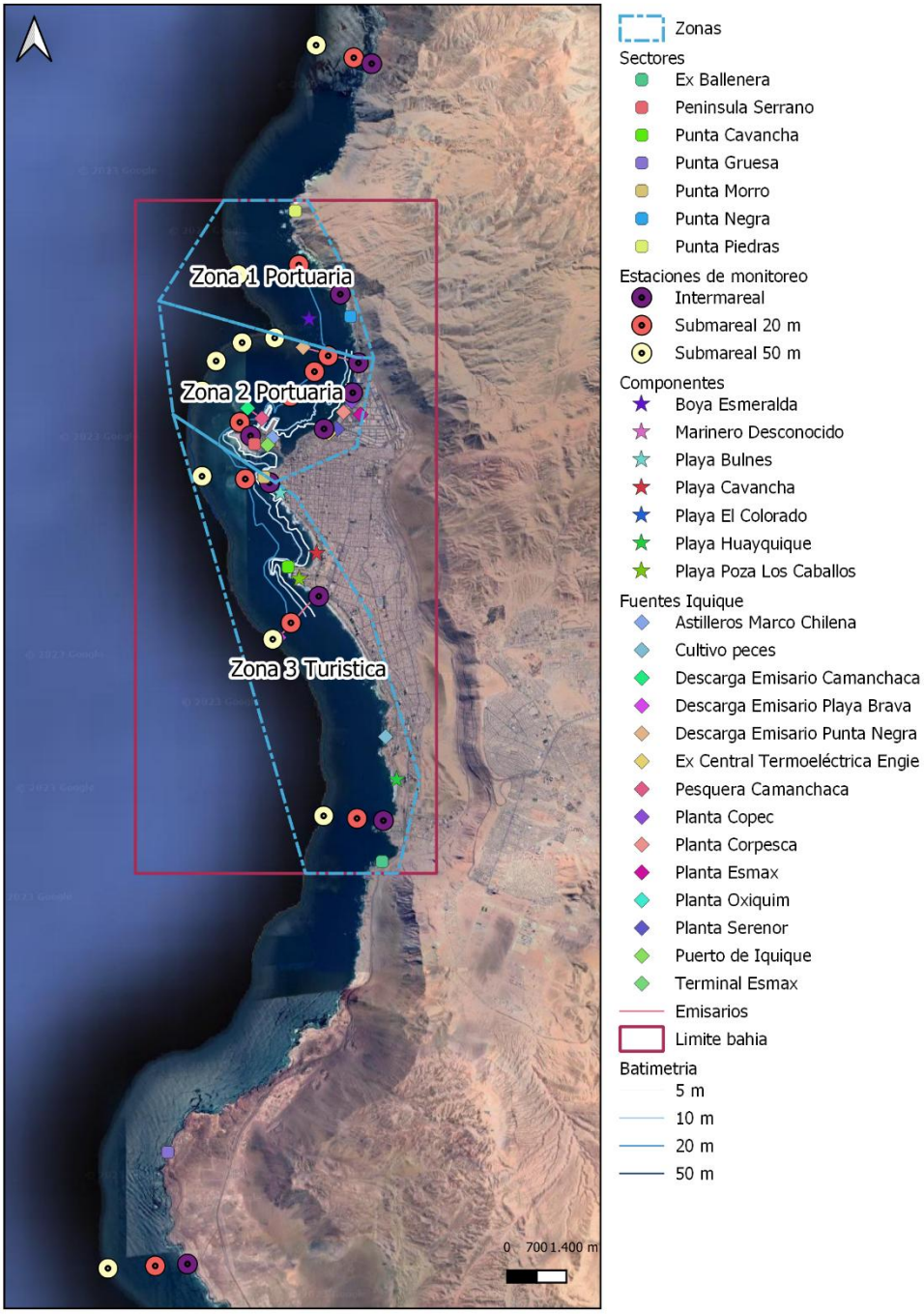


Figura 175 – Ubicación general de los puntos de muestreo
Fuente: Elaboración propia

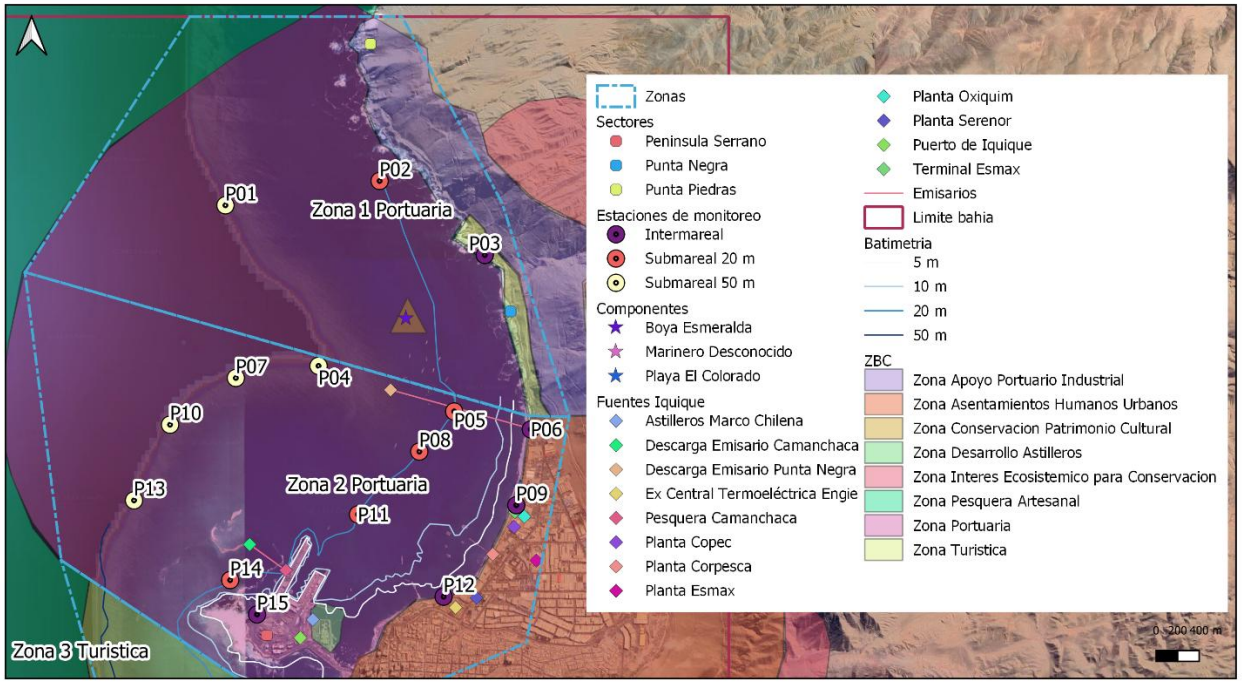


Figura 176 – Ubicación de los puntos de muestreo en zona portuaria
Fuente: Elaboración propia

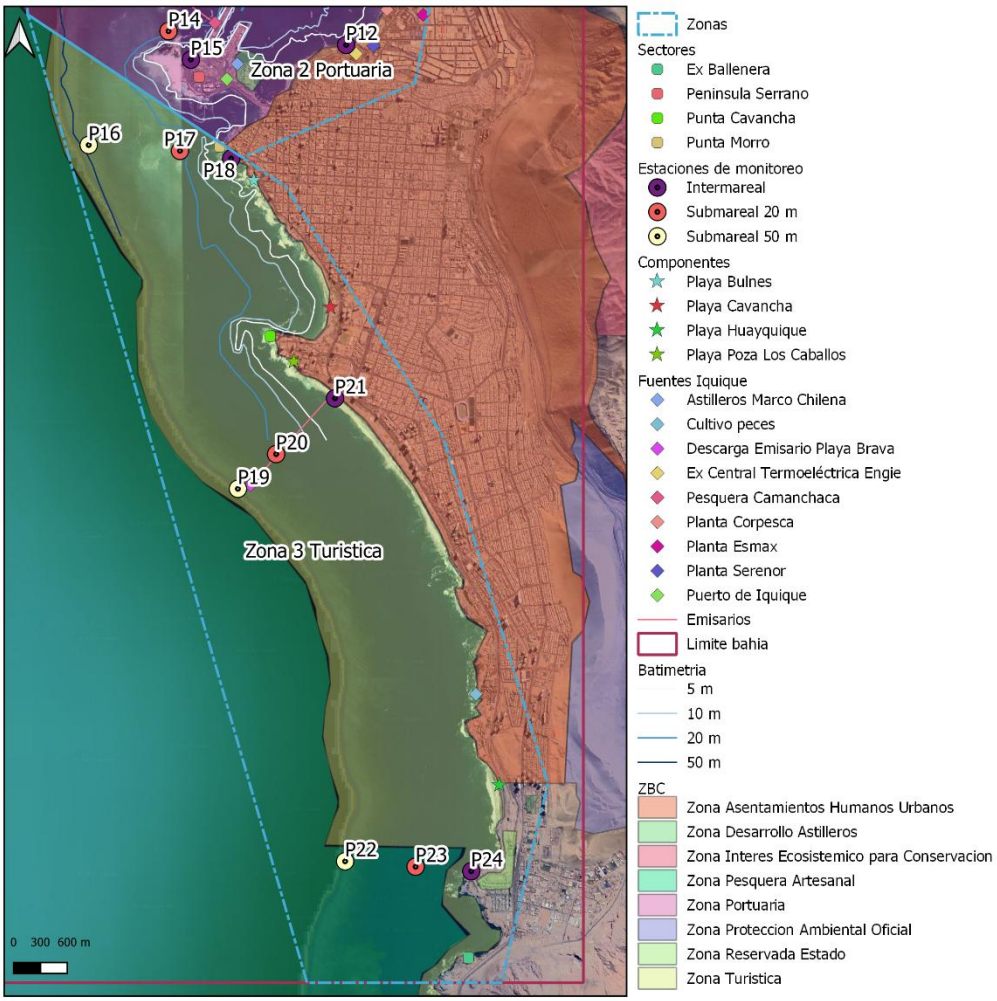


Figura 177 – Ubicación de los puntos de muestreo en zona turística
Fuente: Elaboración propia

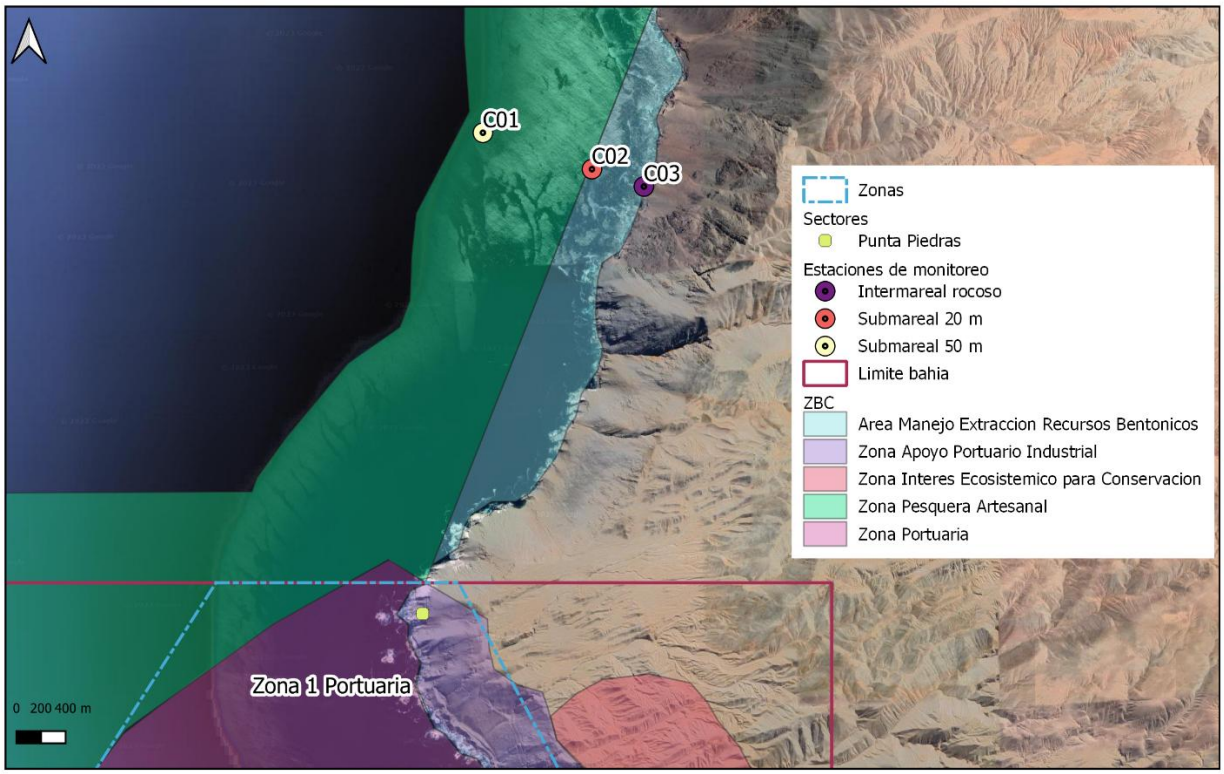


Figura 178 – Ubicación de los puntos de control norte
Fuente: Elaboración propia

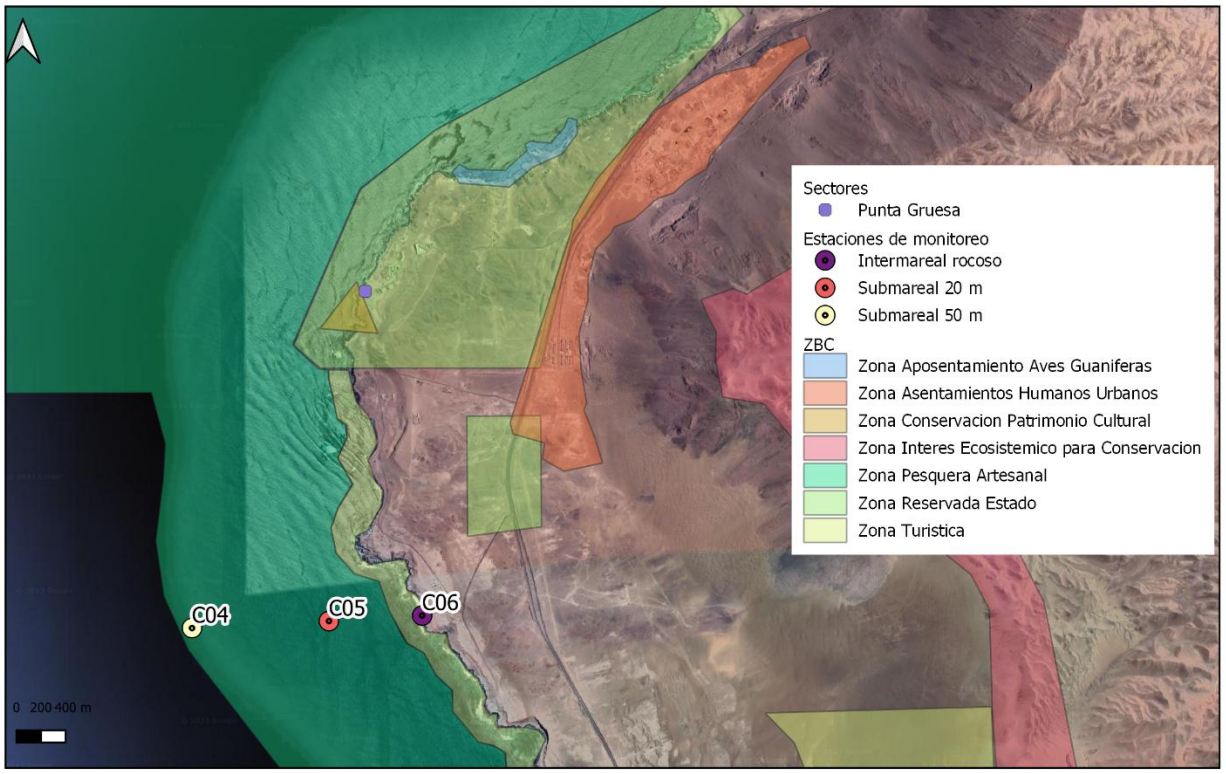


Figura 179 – Ubicación de los puntos de control sur
Fuente: Elaboración propia

Tabla 68 – Ubicación de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Zona		Coordenada Este	Coordenada Norte
C01	Control norte	Submareal 50 m	380160	7774429
C02	Control norte	Submareal 20 m	381048	7774133
C03	Control norte	Intermareal	381471	7773992
P01	Zona 1 Portuaria	Submareal 50 m	378319	7769019
P02	Zona 1 Portuaria	Submareal 20 m	379753	7769245
P03	Zona 1 Portuaria	Intermareal	380731	7768557
P04	Zona 2 Portuaria	Submareal 50 m	379185	7767527
P05	Zona 2 Portuaria	Submareal 20 m	380446	7767104
P06	Zona 2 Portuaria	Intermareal	381159	7766937
P07	Zona 2 Portuaria	Submareal 50 m	378416	7767415

Punto de muestreo	Zona		Coordenada Este	Coordenada Norte
P08	Zona 2 Portuaria	Submareal 20 m	380122	7766731
P09	Zona 2 Portuaria	Intermareal	381024	7766233
P10	Zona 2 Portuaria	Submareal 50 m	377804	7766981
P11	Zona 2 Portuaria	Submareal 20 m	379552	7766147
P12	Zona 2 Portuaria	Intermareal	380348	7765383
P13	Zona 2 Portuaria	Submareal 50 m	377469	7766278
P14	Zona 2 Portuaria	Submareal 20 m	378363	7765537
P15	Zona 2 Portuaria	Intermareal	378613	7765218
P16	Zona turística	Submareal 50 m	377471	7764264
P17	Zona turística	Submareal 20 m	378491	7764199
P18	Zona turística	Intermareal	379063	7764113
P19	Zona turística	Submareal 50 m	379139	7760421
P20	Zona turística	Submareal 20 m	379566	7760809
P21	Zona turística	Intermareal	380224	7761433
P22	Zona turística	Submareal 50 m	380337	7756257
P23	Zona turística	Submareal 20 m	381125	7756197
P24	Zona turística	Intermareal	381747	7756146
C04	Control sur	Submareal 50 m	375254	7745589
C05	Control sur	Submareal 20 m	376369	7745646
C06	Control sur	Intermareal	377128	7745691

Coordenadas UTM, datum WGS84, huso 19

7.7.4 Metodología de monitoreo

A continuación, se presenta la metodología de muestreo según la matriz ambiental monitoreada, de acuerdo a las bases metodológicas descritas anteriormente en la Sección 7.1.

7.7.4.1 Sedimentos

El muestreo de sedimentos deberá seguir los lineamientos indicados en la NCh NCh411/19:2017 “Calidad del agua - Muestreo - Parte 19: Guía para el muestreo de sedimentos marinos” del INN. Se deberá utilizar una draga tipo Van Veen de 0,1 m^2 de mordida. En cada una de las estaciones se obtendrán 4 muestras de sedimento (réplicas).

De estas muestras, 3 serán guardadas en bolsas de polietileno etiquetadas y fijadas con formalina al 4% diluida en agua de mar, las que serán enviadas a laboratorio para obtener parámetros poblacionales y de ensambles macro-infaunales submareales. Estas 3 réplicas se consideran necesarias para obtener una mejor representación de la variabilidad de los ensambles. Las muestras se trasladarán al laboratorio, donde se lavarán con agua corriente y se filtrarán a través de un tamiz de 500 µm de abertura de malla (ver Hernández-Miranda et al., 2021). La fauna encontrada será separada e identificada al nivel taxonómico más bajo posible, mediante una lupa estereoscópica. Los taxa identificados serán contados y se obtendrá su peso húmedo con una balanza semianalítica con una precisión de 0,001 g. En el caso de las Familias Capitellidae, Oweniidae, Cirratulidae y Nassaridae, es obligatorio que la determinación sea, como mínimo,

a nivel de género. La estructura de los ensambles macro-infaunales se debe analizar a través de los parámetros ecológicos de diversidad (Shannon-Wiener, H'), dominancia (Simpson, D) y uniformidad (Pielou, J'). Se debe entregar el número de ejemplares que se encontró en la muestra, y las abundancias ponderadas a 1 m^2 y la biomasa expresada en gramos por m^2. Esos datos de riqueza, abundancia, biomasa y parámetros ecológicos deben reportarse por cada estación de muestreo.

Una cuarta muestra de sedimento, en cada punto de muestreo, deberá ser guardada en envases de vidrio o plástico, según corresponda, para su análisis químico. Las muestras deberán ser enviadas a un laboratorio acreditado en el Sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de Normalización (INN) bajo la norma ISO-NCh 17.025 según los analitos indicados en la Sección 7.7.2.

7.7.4.2 Columna de agua

El muestreo de aguas deberá seguir los lineamientos indicados en la NCh411/9:1997 “Calidad del agua - Muestreo - Parte 9: Guía para el muestreo de aguas marinas” del INN. Las muestras de agua deberán ser tomadas en dos profundidades en cada estación de monitoreo submareal, una superficial (a 1 metro de la superficie) y otra de fondo (1 metro sobre la profundidad máxima), considerando solo una réplica cada una. La obtención de las muestras se deberá realizar mediante el uso de una botella oceanográfica Niskin (5 litros) desde la embarcación. En el caso de las estaciones de monitoreo intermareal, se colectará una muestra de agua en cada punto de muestreo, considerando solo una réplica.

Las muestras deberán ser enviadas a un laboratorio acreditado en el Sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de Normalización (INN) bajo la norma ISO-NCh 17.025 y deberán ser analizadas por los parámetros fisicoquímicos presentados en la Sección 7.7.2.

Además, cada estación de muestreo se realizarán mediciones in-situ de parámetros físicos la columna de agua que corresponden a: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad, pH y potencial redox. Esos parámetros serán medidos mediante sondas multiparamétricas (tipo CTD-O) de registro continuo, desde la superficie hasta 1 m antes del fondo, evitando que la resuspensión de los sedimentos afecte las lecturas. El registro continuo deberá tener una resolución mínima cada 1 m de profundidad. Además, en cada estación, se medirá la penetración de la luz en la columna de agua, utilizando para ello un disco Secchi.

7.7.4.3 Biota para bioacumulación

Durante el muestreo intermareal se colectarán individuos de las especies indicadoras (chorito y pulga de mar, ver Sección 7.4.2). Además, se obtendrán individuos de anchoveta, que podrán ser obtenidos desde el desembarque industrial-artesanal, pero debiendo asegurarse de que su origen sea frente a la bahía de Iquique.

El número y tamaño de los organismos debiese en lo posible ser representativo de la población y que permitan obtener la masa requerida para el análisis de los parámetros indicados en la Sección 7.7.2. Para los análisis propuestos se requieren como mínimo 200 g de muestra húmeda (o según lo indicado por el laboratorio que realizará el análisis). Para el caso de la anchoveta, y con fines comparativos, se recomienda utilizar el tejido muscular (Galatchi et al., 2017; Alizada et al., 2020), y el organismo completo tanto para *Emerita analoga* (Guiñez et al., 2015) como *Mytilus chilensis* (Olavarria, 2007).

Se recomienda acordar con la autoridad sanitaria las metodologías de muestreo y análisis de las especies de consumo humano (chorito y anchoveta) para que los resultados puedan ser utilizados también en el ámbito de salud.

7.7.4.4 Resumen de monitoreo

En la Tabla 69 se presenta un resumen del monitoreo propuesto en las secciones anteriores.

Tabla 69 – Resumen del monitoreo a realizar en cada uno de los 10 nodos de muestreo

Zona	Profundidad aproximada	Matriz	Análisis	Réplicas
Submareal 50 m	50 m	Sedimento	Cambios poblacionales y de ensambles macro-infaunales	3
	50 m	Sedimento	Fisicoquímico	1
	2 niveles (superficie y fondo)	Columna de agua	Fisicoquímico (discreto)	1 cada nivel
	0-50 m cada 1 m	Columna de agua	Fisicoquímico (continuo)	2 perfiles
Submareal 20 m	20 m	Sedimento	Cambios poblacionales y de ensambles macro-infaunales	3
	20 m	Sedimento	Fisicoquímico	1
	2 niveles (superficie y fondo)	Columna de agua	Fisicoquímico (discreto)	1 cada nivel
	0-20 m cada 1 m	Columna de agua	Fisicoquímico (continuo)	2 perfiles
Intermareal	-	Sedimento	Fisicoquímico	1
	-	Agua	Fisicoquímico	1
	-	Agua	Cambios poblacionales y de ensambles intermareales	3 transectos
	-	Biota	Bioacumulación	1

8 Conclusiones y recomendaciones

A partir de los datos fisicoquímicos analizados, se puede concluir que existiría un grado de impacto al medio marino, indicado por niveles sobre las referencias de algunos contaminantes en agua, sedimentos y biota marina. Se observan algunos peaks a lo largo de los años, pero no es posible en general ver una tendencia temporal clara hacia la baja o al alza. Se entiende que se han realizado algunas acciones por parte de las fuentes emisoras que habrían ayudado a disminuir los niveles de ciertos analitos, sin embargo, no se aprecia una diminución a largo plazo de los efectos. En los pocos casos en que se nota alguna tendencia a la disminución o aumento de ciertos analitos los datos no están completos y/o actualizados (por ende, no se puede determinar que la tendencia se mantenga actualmente).

A pesar de que el cambio de consultora ejerce un rol más importante que la estacionalidad y sitio de muestreo en la variación global de parámetros poblacionales y de ensambles macro-infaunales submareales, no fue posible relacionar el grado de perturbación moderada a leve sugerida por curvas ABC con la operación de las 3 unidades fiscalizables bajo estudio. En resumen, no se encontraron impactos significativos sobre la macro-infauna atribuibles a la actividad industrial, lo cual, podría deberse a que realmente no existen impactos o que el diseño de monitoreo de los PVAs, con el sitio control dentro de la zona de influencia portuaria, y cambios en consultora, utilizando distintas metodologías de muestreo y análisis de muestras, impidieron detectar los posibles impactos en la matriz biológica, lo que si fue evidenciado en indicadores fisicoquímicos de los sedimentos.

Así es que a nivel macro se puede indicar que la bahía de Iquique no presenta condiciones de presiones intensas, entendidas estas como la expresión de fuerzas, que expliquen formas específicas graves que perturben los ecosistemas y sus componentes en el área (como por ejemplo en zonas de sacrificio), y que, estas inicialmente podrían categorizarse como menores a moderadas.

Se concluye que para que la utilización de metodologías que sean representativas en función de la cantidad y ubicación de estaciones de muestreo, toma de muestras, herramientas utilizadas, protocolos establecidos, niveles de detección definidos, entre otros, es de suma importancia que éstas se encuentren homogeneizadas y consensuadas por los actores de interés, con el objeto de realizar en el futuro, obtención de datos y seguimientos de los resultados con una mayor rapidez, acuciosidad y representatividad del escenario de la bahía de Iquique.

En términos de causalidad, es posible señalar que los principales sectores económicos identificados, la actividad minera, la pesca industrial y artesanal, el transporte de mineral, el transporte de cargas asociado a la ZOFRI, utilizan la bahía y puerto de Iquique para el transporte de carga, y las descargas de aguas tratadas y no tratadas a través de diversos emisarios, si se toma en consideración además la importancia del tamaño de los asentamientos, en este caso la conurbación Iquique - Alto Hospicio y su aporte en descargas de riles.

En un plano más acotado, los principales impactos pudieren ser producto del desarrollo de la pesca industrial y la pesca artesanal, que cubren la mayor parte del área de estudio. Por otra parte, aquellas actividades que presentarían menor impacto en este sector de interés corresponden a la actividad minera, que pudiere asociarse a descargas directas o indirectas, puntuales o difusas, principalmente en sector de bahía y la propia gestión del riesgo por actividades de carga y descarga en el puerto.

Por otro lado, dada la ausencia de una gestión homogénea de muestreos de parámetros fisicoquímicos y biológicos, que se observa desde el análisis de los datos presentados, y entre ellos, relativos a datos de especies detectadas, las diferentes estaciones de muestreo, metodologías, laboratorios, niveles de detección, complejizan la posibilidad de efectuar un análisis en conjunto de los datos, e invitan a futuro a la importancia de estandarizar procedimientos entre los diversos actores regionales que realizan estos esfuerzos de manera individual. En efecto, la falta de una entidad a cargo de la revisión, compilación e interpretación de los datos de monitoreo reportados se traduce en errores, omisiones e inconsistencias que perduran a través de los años. Lo anterior puede resultar en recursos malgastados o al menos manejo ineficiente de estos, impidiendo una interpretación fidedigna de la calidad ambiental de la Bahía de Iquique.

Respecto las fuentes de emisión al aire en la comuna de Iquique, según la información de fuentes puntuales, se ve un importante aporte de fuentes industriales y las fuentes en ruta. Los aportes residenciales en las fuentes difusas pasan a segundo plano si se comparan en magnitudes.

Estos diagnósticos fueron utilizados como línea de base para elaborar un programa de monitoreo para la evaluación de variables bióticas y abióticas en la bahía de Iquique. Se propone que el muestreo sea estacional e idealmente trimestral (con campañas en primavera, verano, otoño e invierno), por una duración mínima de 2 años; y se recomienda monitorear las matrices columna de agua (análisis fisicoquímico), sedimentos (cambios poblacionales y de ensambles macro-infaunales submareales, análisis fisicoquímico) y biota (bioacumulación). La propuesta considera el monitoreo de 30 estaciones en las zonas submareal e intermareal a lo largo y ancho de la bahía; 24 de estas ubicadas dentro del área de influencia costera de la actividad industrial de Iquique, y 6 estaciones control. Se espera que la correcta implementación de este programa permitirá evaluar los impactos antrópicos en la zona costera.

9 Referencias bibliográficas

Acuña, E. y Jaramillo, E. 2015. Macroinfauna en playas arenosas de la costa del norte grande de Chile sometidas a diferentes presiones antrópicas. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 50: 299-313.

Alizada, N., Malik, S. y Muzaffar, S. 2020. Bioaccumulation of heavy metals in tissue of Indian anchovy (*Stolephorus indicus*) from the UAE coast, Arabian Gulf. Marine Pollution Bulletin. 154: 111033.

ANZG. 2018. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. Australian and New Zealand Governments and Australian state and territory governments, Canberra ACT, Australia. Disponibles en www.waterquality.gov.au/anz-guidelines y https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/search

Arcadis. 2018. Capítulo 3.2 Calidad del Aire, EIA "Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi".

Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ). 2000. Sediment quality guidelines. Disponible en: https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/sediment-quality-toxicants

Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ). 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, Volume 1, The Guidelines. Disponible en: https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/anzecc-armcanz-2000-guidelines-vol1.pdf

Australian Government. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water (DCCEEW). 2022. Organo-tin compounds. Disponible en: https://www.dcceew.gov.au/environment/protection/npi/substances/fact-sheets/organo-tin-compounds#tabs-4

Bradley, P., Yee, S. 2015. Using the DPSIR Framework to Develop a Conceptual Model: Technical Support Document.

Brown, R., Bump, H., Muncher, D.A. 1988. An In Situ Method for Determining Decomposition Rates of Shipwrecks. International Journal of Nautical Archaeology 17.2 (1988), 143-45.

Buschmann et al. 2029. Acuicultura, pesca y biodiversidad. COP25

Cabanes, C., Grouazel, A., von Schuckmann, K., Hamon, M., Turpin, V., Coatanoan, C., et al. 2013. The CORA dataset: Validation and diagnostics of in-situ ocean temperature and salinity measurements. Ocean Science, 9, 1–18

Cahuin, S., Cubillos, L., Escribano, R., Blanco, J., Ñiquen, M. y Serra, R. 2013. Sensitivity of recruitment rates anchovy (*Engraulis ringens*) to environmental changes in Southern Peru-Northern Chile. Environmental Development. 7: 88-101.

Calderón, N. 2019. Índice de Calidad de Aguas Costeras para Chile. Tesis de la Universidad de Chile. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168096

Camanchaca S. A. 2004. Estudio Zona de Protección Litoral "Proyecto Mejoramiento Emisario Submarino" Universidad Arturo Prat, Departamento Ciencias del Mar.

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). s.f. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Disponible en: https://ccme.ca/en/resources/sediment#

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). s.f. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Disponible en: https://ccme.ca/en/resources/water-aquatic-life

Carrasco, F., Gallardo, V. 1994. Diversidad, distribuci6n y abundancia del macrobentos sublitoral y observaciones sobre la dinámica temporal de corto termino de los sedimentos de la Bahía Concepción, Chile. Gayana Oceanol. 2(2): 49-68.

Carrasco, F., Gallardo, V. 1995. La macrofauna del sublitoral arenoso del Golfo de Arauco, Chile: Alta afinidad faunal del conjunto bentónico asociado. Gayana Oceanol. 3(2):53-73.

Castilla, J., Fariña, J. y Camaño, A. (Eds.). 2020. Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada". Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 320 pp.

Chandía, C., Salamanca, M., Loyola, R., Pinto, V. y Franyola, G. 2020. Consideraciones para el muestreo y análisis de compuestos orgánicos en agua, sedimentos y organismos marinos. En Castilla, J., Fariña, J. y Camaño, A. (Eds.) Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada". Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 320 pp.

Clarke, K. y Warwick, R. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, Natural Environment Research Council, UK, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, pp 144.

Corporación Financiera Internacional (IFC). 2007. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad. Disponible en: www.ifc.org/ehsguidelines

COREMA I Región. s.f. Diagnóstico y Propuestas de Acción de los Problemas Ambientales de la Región de Tarapacá

Corpesca S. A. 2006. Línea de Base Bioceanográfica "Suministro Petróleo Diesel a Naves de Pesca – Planta Pesquera Iquique". Oikos Chile S. A.

Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., et al. 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(656), 553–597. https://doi.org/10.1002/qj.828

DIRECTEMAR. 2017. Mapa sensibilidad ambiental bahía de Iquique y caletas Patillo y Patache. Disponible en: https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20170216/20170216113238/02_msa_iquique_patillos_patache.pdf

DIRECTEMAR. s.f. Metodologías de análisis POAL períodos 2005-2006 / 2007-2011 / 2013-2017. Disponible en: https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20210728/20210728122632/metodologias_de_analisis_poal_2005_2017.pdf

DIRECTEMAR. s.f. Metodologías de análisis POAL períodos 2018-2023. Disponible en: https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20210728/20210728122632/metodolog__as_de_an__lisis_poal_2018_2023_1.pdf

DIRECTEMAR. s.f. Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) de la DIRECTEMAR para la Bahía de Iquique.

DIRINMAR. 2021. Protocolo de Muestreo. Aseguramiento y control de calidad para la toma de muestras en terreno del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL). Disponible en: https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20210728/20210728122632/protocolo_poal.pdf

Escribano, R., Daneri, G., Farias, L., Gallardo, V.A., González, H.E., Gutiérrez, D., Lange, C.B., Morales, C.E., Pizarro, O., Ulloa, O. y Braun, M. (2004). Biological and chemical consequences of the 1997–1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. Deep-Sea Research I.

Ezraty, R., Girard-Ardhuin, F., Piolle, J. F., Kaleschke, L., & Heygster, G. 2007. Arctic and Antarctic Sea ice concentration and Arctic Sea ice drift estimated from Special Sensor Microwave data, User's Manual. CERSAT Version 2.1.

Fisher TT, Law RJ, Rumney HS, Kirby MF, Kelly C. Towards a scheme of toxic equivalency factors (TEFs) for the acute toxicity of PAHs in sediment. Ecotoxicol Environ Saf. 2011 Nov;74(8):2245-51. doi: 10.1016/j.ecoenv.2011.07.023. Epub 2011 Aug 31. PMID: 21885125.

Fliedner, A., Rüdel, H., Dreyer, A. et al. Chemicals of emerging concern in marine specimens of the German Environmental Specimen Bank. Environ Sci Eur 32, 36 (2020). https://doi.org/10.1186/s12302-020-00312-x

Foroutan, H. 2020. Special Issue “Emissions, Transport and Fate of Pollutants in the Atmosphere” de Atmosphere ISSN 2073-4433.

Fuenzalida, R. 1990. Variabilidad temporal de un índice de surgencia para la zona de Iquique (Lat. 20°S). Investigación Científica y Tecnológica, Serie Ciencias

Galatchi, M., Oros, A., Coatu, V., Costache, M., Coprean, D. y Galatchi, L. 2017. Pollutant bioaccumulation in anchovy (Engraulis encrasicolus) tissue, fish species of commercial interest at the Romanian Black Sea coast. Ovidius University Annals of Chemistry. 28: 11-17.

Garric, G., Parent, L., Greiner, E., Drévillon, M., Hamon, M., Lellouche, J. M., et al. 2018. In E. Buch, V. Fernandez, G. Nolan, & D. Eparkhina (Eds.), Performance and quality assessment of the global ocean eddy-permitting physical reanalysis GLORYS2V4 operational oceanography serving sustainable marine development. Proceedings of the eight EuroGOOS international conference. 3-5 October 2017, Bergen, Norway (p. 516). EuroGOOS (ISBN:978-2-9601883-3-2).

Gobierno Regional de Tarapacá. 2008. Diagnóstico Macro-Zonificación de usos del Borde Costero Región de Tarapacá.

Gobierno Regional de Tarapacá. 2010. Memoria explicativa zonificación de usos del borde costero, región de Tarapacá. Disponible en: https://www.goretarapaca.gov.cl/wp-content/uploads/2017/09/Memoria-Zonificaci%C3%B3n-Tarapac%C3%A1.pdf

Gobierno Regional de Tarapacá. 2016. Zonificación de usos del borde costero, región de Tarapacá. Disponible en: https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/04_Anteproyecto-Planos_Macro_ZBC_Tarapaca.pdf.pdf

Gobierno Regional de Tarapacá. 2017. Informe Ambiental Macro zonificación de Borde Costero.

Guiñez, M., Valdés, J. y Castillo, A. 2015. Contenido de metales en sedimentos y en *Emerita analoga* (Stimpson, 1857), en bahía Mejillones del sur, Chile. Lat. Am. J. Aquat. Res. 43: 94-106.

Hale, S.E.; Arp, H.P.H.; Schliebner, I.; Neumann, M. What's in a Name: Persistent, Mobile, and Toxic (PMT) and Very Persistent and Very Mobile (vPvM) Substances. Environ. Sci. Technol. 2020, 54, 14790–14792

Hernández-Miranda, E., Veas, R., Krautz, M., Hidalgo, N., San Martin, F. y Quiñones, R. 2020. En Castilla, J., Fariña, J. y Camaño, A. (Eds.) Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada". Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 320 pp.

International Marine Organization (IMO). 2009. Guidance on best management practices for removal of anti-fouling coatings from ships, including TBT hull paints, AFS.3/Circ.3, 22 July 2009. Disponible en: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/AFS.3-Circ.3.pdf

Iriarte, J.L. y González, H.E. 2004. Phytoplankton size structure during and after the 1997/1998 El Niño in a coastal upwelling area of the northern Humboldt Current System. Marine Ecology Progress Series 269, 83–90.

Juliano, C., Magrini, G.A. 2017. Cosmetic Ingredients as Emerging Pollutants of Environmental and Health Concern. A Mini-Review. Cosmetics 2017, 4, 11. https://doi.org/10.3390/cosmetics4020011

Jaramillo, E. 2020. Playas arenosas expuestas: características físicas y biológicas para la implementación de programas de línea de base y monitoreos. En Castilla, J., Fariña, J. y Camaño, A. (Eds.) Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada". Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 320 pp.

Krautz, M., Hernández-Miranda, E., Veas, R., Anabalón, V. y Quiñones, R. 2020. En Castilla, J., Fariña, J. y Camaño, A. (Eds.) Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada". Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 320 pp.

Lancellotti, D.A. 2002. Midiendo cambios en comunidades macrobentónicas marinas. M.Sc. thesis, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.

Lancellotti, D. y Stotz, W. 2004. Effects of shoreline discharge of iron mine tailings on a marine soft-bottom community in northern Chile. Marine Pollution Bulletin. 48: 303-312.

Lellouche, J.-M., Greiner, E., Le Galloudec, O., Garric, G., Regnier, C., Drevillon, M., et al. 2018. Recent updates to the Copernicus Marine Service global ocean monitoring and forecasting real-time 1⁄12° high-resolution system. Ocean Science, 14, 1093–1126. https://doi.org/10.5194/os-14-1093-2018

Lett, C., Verley, P., Mullon, C., Parada, C., Brochier, T., Penven, P., et al. 2008. A Lagrangian tool for modelling ichthyoplankton dynamics. Environ Model Softw. 28: 1210–1214.

Madec, G., y The NEMO team. 2016. NEMO ocean engine. Note du Pôle de modélisation. Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France. No 27 ISSN No 1288-1619.

Manríquez, P. 2020. Muestreos y análisis de comunidades intermareales de fondos duros. En Castilla, J., Fariña, J. y Camaño, A. (Eds.) Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada". Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 320 pp.

Mellios, G. y Ntziacrhistos, L. 2019. 1.A.3.b.v Gasoline evaporation. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Ministerio del Medio Ambiente/EnSoil. 2022. Diagnóstico del estado ecológico/ambiental del borde costero de Huasco, con énfasis en la bahía de Chapaco, con recomendaciones de manejo y propuestas de remediación. Disponible en: http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=0188e749-0af7-4a49-940e-d79ad9581c75&fname=P2110%20Informe%20final%20SAIP%208107.pdf&access=public

Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Japón. s/f. Standard Guidelines for the Environmental Monitoring of Chemicals. Disponible en: https://www.env.go.jp/en/chemi/pops/Appendix/04-GuideLine/guidelines.pdf

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 2008. Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo (D.S. 144/2008). Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1001042

Ministry of Environment and Climate Change Strategy British Columbia, Canada. 2021. Mercury Water Quality Guidelines (reformatted from: British Columbia Ministry of Environments and Parks, 1989. Water quality criteria for mercury). Water Quality Guideline Series, WQG-13. Prov. B.C., Victoria B.C. Disponible en: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/water-quality-guidelines/approved-wqgs/bc_env_mercury_waterqualityguideline_technical.pdf

Montes, R.; Méndez, S.; Carro, N.; Cobas, J.; Alves, N.; Neuparth, T.; Santos, M.M.; Quintana, J.B.; Rodil, R. Screening of Contaminants of Emerging Concern in Surface Water and Wastewater Effluents, Assisted

by the Persistency-Mobility-Toxicity Criteria. Molecules 2022, 27, 3915. https://doi.org/10.3390/molecules27123915

Moreno, R., Sepúlveda, R., Badano, E., Thatje, S., Rozbaczylo, N. y Carrasco, F. 2008. Subtidal macrozoobenthos communities from northern Chile during and post El Niño 1997/1998. Helgol. Mar. Res. 62(1): S45-S55.

Noble-James, T., Jesus, A. y McBreen, F. 2018. Monitoring guidance for marine benthic habitats. JNCC Report No. 598. JNCC, Peterborough, UK. 118 pp.

Ntziacrhistos, L. y Boulter, P. 2019. 1.4.3.b.vi Road transport: Automobile tyre and break wear. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019

Ntziacrhistos, L. y Samaras, Z. 2021. 1.A.3.b.i, 1.A.3.b.ii, 1.A.3.b.iii, 1.A.3.b.iv Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019

Olavarría, Y. 2007. Determinación de trazas de cadmio en cholga (*Aulacomya ater*), chorito (*Mytilus chilensis*) y ostra chilena (*Ostrae chilensis*) en la zona de Chiloé (Hueihue). Tesis Facultad de Ciencias Escuela de Química y Farmacia. Universidad Austral de Chile. pp. 117.

Oyarzún, P., Toro, J., Garces-Vargas, J., Alvarado, C., Guiñez, R., Jaramillo, R., Briones, C. y Campos, B. 2018. Reproductive patterns of mussel *Perumytilus purpuratus* (Bivalvia: Mytilidae), along the Chilean coast: effects caused by climate change? Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 98: 375-385.

Parlamento Europeo. 2013. Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo – Diario Oficial de la Unión Europea. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0039&from=es

Parris et al., "NIST/NOAA NS&T/EPA EMAP Intercomparison Exercise Program for Organic Contaminants in the Marine Environment: Description and Results of 1995 Organic Intercomparison Exercises", NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 104, 1996

Pihl, L. y Wennhage, H. 2002. Structure and diversity of fish assemblages on rocky and soft bottom shores on the Swedish west coast. Journal of Fish Biology. 61, 148–166.

Plan Bleu/ONU, 2021, Contaminants of Emerging Concern in the Mediterranean Sea Link: https://planbleu.org/wp-content/uploads/2021/05/Pollution-emergentes-EN.pdf

Pujol, M. I., Faugère, Y., Taburet, G., Dupuy, S., Pelloquin, C., Ablain, M., y Picot, N. 2016. DUACS DT2014: The new multi-mission altimeter data set reprocessed over 20 years. Ocean Science, 12(5), 1067–1090.

Quiroga, E., Soto, R. y Rozbaczylo, N. 1999. Los poliquetos espiónidos (Polychaeta: Spionidae) y su importancia en la estructura de una comunidad: un caso de estudio en bahía Iquique, norte de Chile (20°11′S, 70°10′W). Gayana 63, 1–16.

Ramorino, L., Muniz L., 1970. Estudio cuantitativo general sobre la fauna del fondo de la Bahía Mejillones. Rev. Biol. Mar. Valparaíso. 14(2):79-93.

RETC. 2020 Emisiones al aire de fuentes difusas 2020.xlsx. Link: http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/6e214ccc-c73f-41b5-b7d6-c4d874b7401c/resource/d4c46814-3371-43ce-9b2b-d8c894c67433/download/fuentes-difusas-2020.xlsx.

RETC. 2020. Emisiones al aire de fuentes puntuales 2020.xlsx. Link: http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/2733b0f0-428a-4594-afeb-17780c8d47c1/resource/9101859d-555f-48ad-becc-caf3aacd03f2/download/ruea_2020_ckan_v6.xlsx.

RETC. 2020. Emisiones al aire de transporte en ruta 2020.xlsx. Link: http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/5607a220-9c27-4f0c-b0a0-094450f8d160/resource/a3e57159-e1c2-4c20-952d-c18b5181b607/download/final_v1_.xlsx.

RStudio Team (2022) RStudio: Integrated Development Environment for R.

Salamanca, M., Chandía, C. y Bermedo, L. 2020. Metodologías de muestreo y análisis de metales traza en agua y organismos marinos. En Castilla, J., Fariña, J. y Camaño, A. (Eds.). Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños Experimentales, Muestreos, Métodos de Análisis y Estadística Asociada". Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 320 pp.

Salud Climent Bellido, M. s.f. "Aspectos Químicos de la Contaminación Atmosférica" de la Universidad de Córdoba.

Schlitzer, R. 2018. Ocean Data View, disponible en: https://odv.awi.de/ 2018.

SERNAPESCA. 2021. Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura. Disponible en http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura

SETEC LTDA. 2005. "Diagnósticos y Seguimiento Calidad del Aire para Arica – Iquique – Alto Hospicio". CONAMA.

SGA LTDA. s.f. "Diagnóstico y Propuestas de Acción de los Problemas Ambientales de la Región de Tarapacá"

Shaffer, G., Hormazabal, S., Pizarro, O. y Salinas S. 1999. Seasonal and interannual variability of currents and temperature off central Chile. J Geophys Res 104:29951–29961

Simpson, S., Batley, G. 2016. Sediment quality assessment: a practical guide. Second edition.

Strub, P., Mesias, J., Montecino, V., Rutllant, J. y Salinas, S. 1998. Coastal ocean circulation off western South America, in The Sea, vol. 11, edited by A. R. Robinson, and K. H. Brink, pp. 273–314, John Wiley, Hoboken, N. J.

Strub, P., Combes, V., Shillington, F. y Pizarro, O. 2013. Currents and processes along the eastern boundaries. In: In: Siedler, G., Griffies, S.M., Gould, J., Church, J.A. (Eds.), Ocean Circulation and Climate, A 21st Century Perspective, vol. 103. Academic Press, pp. 339–384.

Szekely, T., Gourrion, J., Pouliquen, S. y Reverdin, G. 2016. CORA, coriolis, ocean dataset for reanalysis. SEANOE. https://doi.org/10.17882/46219

SUBPESCA (2021) Estado de situación de las principales pesquerías, año 2021. Link: https://www.subpesca.cl/portal/618/w3-article-114817.html

SUBPESCA (2018) Estado de situación de las principales pesquerías, año 2018. Link: https://www.subpesca.cl/portal/618/w3-article-103742.html

Tarazona, J., Canahuire, E., Salzwedel, H., Jeri, T., Arntz, W., Cid, L. 1991. Macrozoobenthos in two shallow areas of the Peruvian upwelling exosystem. Estuaries and coast: spatial and temporal intercomparisons. Estuarine and coastal Sciences Associations Symposium 19. Olsen & Olsen, Fredensborg. Denmark. pp: 251-258.

Thiel, M., Macaya, E., Acuña, E., Arntz, W., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P., Castilla, J., Castro, L. + 29 autores. 2007. The Humboldt current system of northern and central Chile. Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomical feedback. Oceanography and Marine Biology: an annual review. 45: 195-344.

Torres, R., Pantoja, S., Harada, N., González, H., Daneri, G., Frangopulos, M., Rutllant, J., Duarte, C., Rúiz-Halpern, S., Mayol, E. y Fukasawa, M. 2011. Air-sea CO2 fluxes along the coast of Chile: From CO2 outgassing in central northern upwelling waters to CO2 uptake in southern Patagonian fjords. J. Geophys. Res. 116, C09006.

Vallejo, F. s.f. Fundamentos de Física Atmosférica de la Universidad de Santiago de Chile.

Warwick, R. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. Marine Biology. 92: 557-562.

Zopińska, M., Potapowicz, J., Jankowska, K., Łuczkiewicz, A., Svahn, O., Björklund, E., Nannou, C., Lambropoulou, D., & Polkowska, Ż., Pharmaceuticals and other contaminants of emerging concern in Admiralty Bay as a result of untreated wastewater discharge: Status and possible environmental consequences, Science of The Total Environment, Volume 835, 2022, 155400, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155400.

Zuñiga, O., Baeza, H., Castro, R. 1983. Análisis de la macrofauna bentónica del sublittoral de la Bahia de Mejillones del Sur. Estud Oceanol 3(I): 41-62.

10 Lecturas recomendadas

- Programas de Monitoreo del Medio Marino Costero: Diseños experimentales, muestreos, métodos de análisis y estadística asociada. Juan Carlos Castilla, José Miguel Fariña y Andrés Camaño.

11 Equipo consultor

A continuación, se presenta el organigrama con el que se ha trabajado durante la ejecución del estudio, donde se pueden observar los cargos de los distintos profesionales del equipo. Además, se presenta una explicación de funciones de cada cargo y una breve reseña de los participantes del proyecto y su formación.

Cargo	Miembro equipo	Función Principal
Jefe de proyecto	Jorge Alcaíno	Contacto principal con el cliente, responsable del cumplimiento contractual del servicio y acuerdos establecidos, disposición de recursos y validación de los informes entregados, entre otros.
Especialista ambiental / Coordinadora	Francisca Mihovilovic	Análisis de información de monitoreos de agua y sedimentos y caracterización de emisiones de fuentes de contaminantes a la bahía. Coordinación del proyecto.
Biólogo marino	Francisco Díaz	Encargado del análisis de información de monitoreos de biota, evaluación del estado ecológico de la zona en estudio y elaboración del plan de monitoreo.
Especialista en química ambiental	Pablo Moya	Encargado del análisis de información de monitoreos de agua y sedimentos, evaluación del estado ecológico de la zona en estudio y elaboración del plan de monitoreo.
Especialistas en ciencias biológicas	Christian Betancourt	Análisis de información de monitoreos biota, evaluación del estado ecológico de la zona en estudio y elaboración del plan de monitoreo.
Especialista socioambiental	Paul Lorca	Elaboración de modelo conceptual "emisión-concentración" de tipo DPSIR y otros aspectos socioambientales del estudio.
Especialista en calidad del aire	Max Heldt	Encargado del análisis de información de calidad del aire.

<u>Jorge Alcaíno – Jefe de proyecto</u>

Ingeniero Ambiental y **MSc en Ciencias del Medio Ambiente** (Universidad de Sydney, Australia), chileno-australiano, bilingüe, con más de 13 años de experiencia (7 de estos en Australia) como jefe de proyectos de evaluación y remediación de sitios contaminados además de evaluaciones de riesgo a la salud. Vasta experiencia en la gestión de sitios impactados tanto en el comportamiento de los contaminantes en agua y suelo, como en técnicas de muestreo y remediación in-situ y ex-situ. Ha trabajado con clientes privados (mineras, generadores de energía, inmobiliarias) y públicos (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, Estado de Queensland de Australia). Habilidades comprobadas en liderazgo de proyectos, legislación ambiental internacional con respecto a gestión de sitios contaminados, hidrogeoquímica, diseño y evaluación de investigaciones ambientales, evaluación de riesgos, calidad de agua y suelos, remediación ambiental y Sistemas de Información Geográficos. Acreditado como Científico del Suelo Profesional Certificado (Certified Professional Soil Scientist) por Soil Science Australia durante los años 2010-2015 (actividad en

Australia). Además, ha liderado estudios orientados a generar lineamientos para una futura norma de suelos en Chile y dado charlas en este respecto.

Francisca Mihovilovic – Especialista ambiental / Coordinadora

Ingeniera Civil Ambiental de la Pontificia Universidad Católica de Chile con 5 años de experiencia en investigaciones de sitios contaminados por metales e hidrocarburos, en particular aplicando la Guía para la gestión de suelos con presencia de contaminantes (MMA, 2013). En particular, ha realizado inspecciones de sitios, muestreos de suelos y aguas, análisis de resultados y comparación con normativas internacionales, evaluaciones de riesgo a la salud, desarrollo de valores objetivo y evaluación de alternativas de remediación. Además, ha realizado estudios orientados a generar lineamientos para una futura norma de suelos en Chile. Ha participado como consultora y coordinadora en diversos proyectos para el sector público (Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno Regional, SERVIU) y privado (construcción, minería, energía).

Francisco Díaz – Biólogo marino

Biólogo Marino de la Universidad de Los Lagos y **Doctor en Ciencias Biológicas m. Ecología** de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Ha acumulado 12 años de experiencia en muestreo de agua y biota en sistemas costeros y oceánicos, y en el análisis de interacciones entre el ambiente y organismos marinos. Ha realizado investigación en ecofisiología de macro-invertebrados marinos, ecología del plancton, y cambio climático (acidificación del océano) usando aproximación observacional y experimental. Es autor principal y coautor de publicaciones en revistas Q1 de su especialidad. Forma parte como Investigador Joven del Instituto Milenio de Oceanografía de Chile. También, ha realizado consultorías para la ONG Oceana Chile analizando información científica, así como en el "Diagnóstico del estado ecológico/ambiental del borde costero de Huasco, con énfasis en la bahía de Chapaco, con recomendaciones de manejo y propuestas de remediación" realizado por EnSoil SpA.

Pablo Moya – Especialista en química ambiental

Ingeniero Civil Ambiental con **Máster en Ciencias de la Ingeniería** (área de química ambiental, enfocado en temas de contaminación) de la Pontificia Universidad Católica de Chile con 8 años de experiencia en distintas áreas. Ha desarrollado investigación en contaminación urbana en suelos y polvos de calles para diversas ciudades del país como Chañaral, Copiapó, La Serena-Coquimbo, Andacollo y Santiago, además de ser parte de otros estudios en contingencias ambientales, como los aluviones del 2015 en la región de Atacama. Ha realizado muestreos, análisis de concentraciones y cumplimiento de normativas para sedimentos y aguas marinas. Además, como parte de Demos Lab SpA ha desarrollado estudios de intrusión salina en humedales costeros, consultorías, muestreos y análisis ambientales para el sector público (Ministerio de Obras Públicas). Posee certificaciones en SIG: "Análisis Multicriterio en SIG usando el software QGIS" y "Guía para la elaboración de planos para la tramitación ambiental".

Christian Betancourt – Especialista en ciencias biológicas

Biólogo Marino de la Universidad de Valparaíso, con más de 20 años de trayectoria en evaluación ambiental de proyectos de inversión. Con experiencia en el levantamiento de información de líneas base de componentes ambientales, procesamiento y análisis de datos, confección de Declaraciones y Estudios de Impacto Ambiental. Ha participado en la revisión y aplicación de normas ambientales a nivel nacional, y posee probada experiencia en liderazgo de equipos multidisciplinarios en el sector público (Servicio de Evaluación ambiental) como privado (Minería, Electricidad, Salud, etc.), en cargos de Jefatura, subgerencia y dirección siempre ligados a la gestión ambiental.

Paul Lorca – Especialista socioambiental

Geógrafo con **Magister en Estudios Socioambientales** con 15 años de experiencia en plataformas públicas, privadas y de cooperación internacional para el desarrollo en Chile, Ecuador, Colombia y El Salvador. Su experiencia se ha centrado en la formulación y coordinación de proyectos multidisciplinares en áreas de medio ambiente, medio humano, gestión del riesgo, a través de análisis territoriales, estudio de matrices agua, suelo y aire, y evaluación de impactos ambientales.

Max Heldt Yagi – Especialista en Calidad del Aire

Ingeniero Ambiental de la Universidad de Concepción con **Diplomado en Gestión de la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica,** con 5 años de experiencia en gestión de proyectos para evaluación ambiental enfocado principalmente en su aspectos e impactos al componente atmosférico. Ha participado en proyectos, tanto públicos como privados, desarrollando inventarios de emisión de contaminantes locales, huellas de carbono, análisis de medidas de abatimiento, líneas de base de calidad del aire y clima y meteorología.

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Gobierno de Chile

PERÚ

Ministerio de la Producción

gef

PNUD