



EnSoil

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

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

608897-64-LE21

INFORME DE FINAL

Rev. 2

Junio 2022



Información del documento

Estudio	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		
Mandante	Ministerio del Medio Ambiente		
ID licitación	608897-64-LE21	Código proyecto	P2110
Informe	Informe final	Versión	Rev2

Control de cambios

	Revisión 0	Revisión 1	Revisión 2
Elaborado por	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Christian Betancourt Pablo Moya Paul Lorca Francisco Díaz Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Christian Betancourt Pablo Moya Paul Lorca Francisco Díaz Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Christian Betancourt Pablo Moya Paul Lorca Francisco Díaz Fernanda Carrasco
Fecha	17-05-2022	16-06-2022	30-06-2022
Revisado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno
Fecha	18-05-2022	17-06-2022	30-06-2022
Aprobado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno
Fecha	18-05-2022	17-06-2022	30-06-2022

EnSoil Ambiental SpA

Av. Apoquindo 6410 Of 605
Las Condes, Santiago
www.ensoil.cl

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	11
1.1	ANTECEDENTES	11
1.2	ALCANCE	18
1.3	OBJETIVO GENERAL	19
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.5	ORGANIZACIÓN DEL INFORME	20
2	OBJETIVO ESPECÍFICO 1 – REVISAR Y ANALIZAR LOS MONITOREOS HISTÓRICOS DEL BORDE COSTERO DE HUASCO, CON ÉNFASIS EN LOS REALIZADOS EN BAHÍA CHAPACO DESDE 1993 A LA FECHA	21
2.1	GENERACIÓN DE UNA BASE DE DATOS CON LA INFORMACIÓN DE ESTUDIOS EXISTENTES DEL ESTADO ECOLÓGICO/AMBIENTAL DEL BORDE COSTERO Y AMBIENTE MARINO DE HUASCO, CON ÉNFASIS EN LA BAHÍA CHAPACO	21
2.1.1	Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL)	21
2.1.2	Monitoreo POAL en bahía de Chapaco	23
2.1.3	Monitoreo POAL en bahía de Huasco	36
2.1.4	Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) “Depósito submarino de colas de proceso de la planta de pellets de la Compañía Minera del Pacífico S.A. en Huasco”	49
2.2	MUESTREO Y ANÁLISIS DENTRO DE BORDE COSTERO DE LA COMUNA DE HUASCO ENFOCADO EN CHAPACO	82
2.2.1	Sitio de estudio	82
2.2.2	Muestreo	82
2.2.3	Protocolos de terreno y laboratorio	85
2.2.4	Resultados	85
2.3	COMUNIDADES INTERMAREALES DE FONDO ROCOSO	95
2.3.1	Metodología	95
2.3.2	Resultados	96
2.4	ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACIÓN LEVANTADA BAJO EL PRISMA DE LA EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES/ECOLÓGICAS DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS, Y LAS POBLACIONES/COMUNIDADES INTERMAREALES Y SUBMAREALES EMBLEMÁTICAS DE LA BAHÍA DE CHAPACO Y, SI LA INFORMACIÓN LO AMERITA, AQUELLAS DEL BORDE COSTERO DE HUASCO	108
2.4.1	Análisis global de base de datos levantada de agua y sedimentos	108
2.4.2	Análisis del estado ecológico de la macro-infauna de Ensenada Chapaco	123
3	OBJETIVO ESPECÍFICO 2 – REALIZAR UN CATASTRO DE FUENTES EMISORAS, AUTORIZADAS Y NO AUTORIZADAS, EN TODA LA ZONA OBJETIVO DEL ESTUDIO	132
3.1	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FUENTES EMISORAS	132
3.2	ENSENADA CHAPACO (PLANTA DE PELLETS)	133
3.2.1	Planta de Pellets	133
3.2.2	Cronología de la descarga	134
3.2.3	Descripción actual del footprint de relaves	137
3.3	BAHÍA DE HUASCO	138
3.3.1	Central Guacolda	138

3.3.2	Central Huasco Enel.....	140
3.3.3	Emisario submarino (Nueva Atacama, ex Aguas Chañar)	142
3.3.4	Fuentes no autorizadas.....	143
3.4	CARACTERIZACIÓN DE DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS.....	145
3.4.1	Planta de Pellets	145
3.4.2	Central Huasco Enel.....	153
3.4.3	Central Guacolda	154
3.4.4	Emisario submarino (Nueva Atacama, ex Aguas Chañar)	155
3.4.5	Comparación de emisiones anuales entre las fuentes caracterizadas.....	157
3.5	ANÁLISIS DE PROS Y CONTRAS Y PROPONER UNA HOJA DE RUTA CON ALTERNATIVAS Y OPCIONES CONDUCTENTES A TERMINAR CON LAS EMISIONES DE RESIDUOS LÍQUIDOS VERTIDOS A LA BAHÍA DE CHAPACO	160
4	OBJETIVO ESPECÍFICO N°3 – ANALIZAR Y JUSTIFICAR SI PROCEDE O NO RESTAURAR EL BORDE COSTERO DE HUASCO Y REALIZAR PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA SITUACIÓN DE SU ESTADO ECOLÓGICO/AMBIENTAL, CON ÉNFASIS EN BAHÍA CHAPACO	162
4.1	DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES ALTERACIONES DEL BORDE COSTERO Y AMBIENTE MARINO DE HUASCO, CON UN ENFOQUE CRÍTICO/ANALÍTICO, IDENTIFICANDO CAUSAS ASOCIADAS A EVENTUALES DETERIOROS.....	162
4.1.1	Determinación de contaminantes ambientalmente relevantes para el área de estudio... ..	162
4.2	DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES ALTERACIONES DEL BORDE COSTERO Y AMBIENTE MARINO DE LA BAHÍA DE CHAPACO, CENTRADO EN COMUNIDADES DE MACROFAUNA DE ECOSISTEMAS DEL INTERMAREAL ROCOSO Y SUBMAREALES DE FONDOS BLANDOS, PRINCIPALMENTE DE ESPECIES SOMETIDAS A EXTRACCIÓN PARA CONSUMO HUMANO (PECES, MOLUSCOS, CRUSTÁCEOS Y ALGAS).....	171
4.3	RECOPILACIÓN DE ESTUDIOS NACIONALES, MACROZONALES Y REGIONALES DE ANTECEDENTES RESPECTO A CRITERIOS PARA PROPUESTAS DE MEJORA DEL BORDE COSTERO Y AMBIENTE MARINO DE HUASCO, CON ÉNFASIS EN LA BAHÍA CHAPACO	173
4.3.1	Conclusiones con respecto a propuestas de mejoras presentadas en los estudios.....	185
4.4	DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS QUE, DE ACUERDO CON LA LEGISLACIÓN VIGENTE, LA BIBLIOGRAFÍA TÉCNICA IDÓNEA Y LAS EVIDENCIAS ENCONTRADAS EN ESTE ESTUDIO, PUEDAN RESULTAR GENERADORAS DE CONTAMINACIÓN O SUPONER UN POTENCIAL IMPACTO, GENERAR EFECTOS ADVERSOS Y/O DE RIESGO PARA LOS ECOSISTEMAS, POBLACIÓN Y BIODIVERSIDAD DEL BORDE COSTERO Y EL MEDIO AMBIENTE MARINO DE HUASCO	186
4.4.1	Normativa internacional propuesta.....	187
4.4.2	Objetos de protección ambiental	188
4.5	MAPEO DE BRECHAS DE INFORMACIÓN EXISTENTE, RESPECTO DEL ESTADO ECOLÓGICO/AMBIENTAL DEL BORDE COSTERO DE HUASCO, CON ÉNFASIS EN BAHÍA CHAPACO	190
4.6	ANÁLISIS DE LA NECESIDAD DE RESTAURACIÓN DEL BORDE COSTERO DE HUASCO CON ÉNFASIS EN BAHÍA CHAPACO	192
5	OBJETIVO ESPECÍFICO N°4 – PROPONER RECOMENDACIONES DE MANEJO Y RESTAURACIÓN RESPECTO DEL ESTADO ECOLÓGICO/AMBIENTAL DEL BORDE COSTERO DE HUASCO, CON ÉNFASIS EN BAHÍA CHAPACO Y SOCIABILIZAR LOS RESULTADOS	194
5.1	PROPUESTA DE RECOMENDACIONES DE MANEJO Y RESTAURACIÓN DEL BORDE COSTERO Y AMBIENTE MARINO DE HUASCO, CON ÉNFASIS EN LA BAHÍA CHAPACO, DE ACUERDO AL DIAGNÓSTICO Y EVIDENCIAS EMANADAS DE ESTE ESTUDIO.....	194

5.1.1	Realización de estudios complementarios.....	194
5.1.2	Conformación de entidad a cargo de la vigilancia ambiental de la bahía	195
5.1.3	Avanzar en los esfuerzos para el desarrollo de una norma de calidad de agua secundaria 196	
5.2	PROPUESTA DE MONITOREO ANUAL DEL BORDE COSTERO Y AMBIENTE MARINO DE HUASCO, CON ÉNFASIS EN LA BAHÍA CHAPACO.....	198
5.2.1	Aspectos generales	198
5.2.2	Columna de agua	198
5.2.3	Sedimentos.....	199
5.2.4	Biota.....	200
5.2.5	Evaluación de intermareal rocoso	200
5.2.6	Ubicaciones y costos de implementación	201
5.3	ESTADO ECOLÓGICO/AMBIENTAL DEL BORDE COSTERO Y AMBIENTE MARINO DE HUASCO, CON ÉNFASIS EN LA BAHÍA CHAPACO	202
5.4	MATERIAL DE DIFUSIÓN PARA SOCIABILIZAR LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO	203
5.5	TALLER INFORMATIVO PARA PRESENTAR LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	203
5.6	REUNIONES CON DIVERSOS ACTORES A LO LARGO DEL ESTUDIO.....	203
5.6.1	Reuniones con MMA.....	203
5.6.2	Reuniones con CMP	205
6	CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	206
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	209
8	EQUIPO CONSULTOR	213

Tablas

Tabla 1	– Principales hitos asociados a la actividad portuaria e industrial en Huasco.....	12
Tabla 2	– Soluciones propuestas por el CRAS, al objetivo “Contar con una adecuada compatibilización de usos y calidad ambiental del borde costero”	15
Tabla 3	– Resultados generales del POAS para aguas marinas y sedimentos	16
Tabla 4	– Otras actividades productivas con potencial de impactos sinérgicos en el medio marino.....	17
Tabla 5	– Ubicación de monitoreo POAL de agua en Chapaco	23
Tabla 6	– Ubicación de monitoreo POAL de sedimentos en Chapaco	24
Tabla 7	– Ubicación de monitoreo POAL de biota en Chapaco.....	24
Tabla 8	– Ubicación de monitoreo POAL de agua en Huasco	36
Tabla 9	– Ubicación de monitoreo POAL de sedimentos en Huasco	37
Tabla 10	– Ubicación de monitoreo POAL de biota en Huasco.....	37
Tabla 11	– Informes de Plan de Vigilancia Ambiental	50
Tabla 12	– Ubicación de los puntos de monitoreo del PVA semestral.....	51
Tabla 13	– Abundancia total principales grupos taxonómicos período 2012-2019 en sector Ensenada Chapaco.....	69
Tabla 14	– Abundancia total período 2012-2019 en Huasco 1	70
Tabla 15	– Abundancia total período 2014-2019 en Huasco 2	71
Tabla 16	– Abundancia total 2012-2019 en Punta Lachos 1	72

Tabla 17 – Abundancia total principales grupos taxonómicos período 2012-2019 en sector Punta Lachos 2	73
Tabla 18 – Abundancia total período 2012-2019 en Cabo Norte 1	74
Tabla 19 – Abundancia total principales grupos taxonómicos período 2012-2019 en sector Cabo Norte 2	75
Tabla 20 – Ubicación de estaciones de muestreo.....	83
Tabla 21 – Parámetros fisicoquímicos de la columna de agua	86
Tabla 22 – Metales disueltos en muestras de agua de mar	86
Tabla 23 – Sólidos suspendidos, macro-nutrientes y otros parámetros en muestras de agua de mar.....	88
Tabla 24 – Resultados de hidrocarburos para muestras de agua	88
Tabla 25 – Metales en sedimento.....	90
Tabla 26 – Hidrocarburos en sedimento.....	91
Tabla 27 – Valores de pH en sedimento	91
Tabla 28 – Granulometría del sedimento	91
Tabla 29 – Metales en muestras de lapa y valores de referencia	93
Tabla 30 – Resumen estadístico de base de datos de agua para analitos con mayor cantidad de mediciones respecto al total de muestras	109
Tabla 31 – Resumen estadístico de base de datos de sedimentos para analitos con mayor cantidad de mediciones respecto al total de muestras	111
Tabla 32 – Ficha de caracterización fuente emisora Planta de Pellets	133
Tabla 33 – Ficha de caracterización fuente emisora Guacolda	138
Tabla 34 – Ficha de caracterización fuente emisora ENEL Huasco	140
Tabla 35 – Ficha de caracterización fuente emisora Emisario Aguas Chañar	142
Tabla 36 – Distribución de tamaño de partículas de la fase sólida de la pulpa de relave	149
Tabla 37 – Principales fracciones de la composición cristalina del relave	150
Tabla 38 – Composición química del relave.....	150
Tabla 39 – Contenido multi-elemental analizado en muestras de relaves	151
Tabla 40 – Composición química del agua de relave en dos años de monitoreo	152
Tabla 41 – Caracterización química de la descarga del emisario submarino	156
Tabla 42 – Contaminantes seleccionados y relevancia ambiental	162
Tabla 43 – Contaminantes seleccionados y líneas de evidencia	167
Tabla 44 – Contaminantes de alta relevancia y referencias adicionales.....	168
Tabla 45 – Valores propuesto de parámetros químicos para agua.....	187
Tabla 46 – Valores propuesto de parámetros químicos para sedimentos.....	188
Tabla 47 – Analitos seleccionados para monitoreo y sus motivos de incorporación.....	191
Tabla 48 – Parámetros a monitorear en columna de agua	198
Tabla 49 – Parámetros a monitorear en sedimentos.....	199
Tabla 50 – Parámetros a monitorear en biota	200

Figuras

Figura 1 – Número de medidas de solución por dimensiones ambiental, social y transversales PRAS Huasco	14
Figura 2 – Ubicaciones donde se realiza el POAL.....	22
Figura 3 – Ubicación de los monitoreos POAL realizados	24
Figura 4 – Resultados de monitoreo POAL de agua para arsénico	26
Figura 5 – Resultados de monitoreo POAL de agua para cobre.....	26
Figura 6 – Resultados de monitoreo POAL de agua para nitrato	27

Figura 7 – Resultados de monitoreo POAL de agua para fosfato.....	28
Figura 8 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para arsénico.....	30
Figura 9 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para mercurio	30
Figura 10 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para cobre.....	31
Figura 11 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para cromo.....	32
Figura 12 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para fósforo.....	33
Figura 13 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para nitratos.....	33
Figura 14 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para materia orgánica	34
Figura 15 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría muestra 010-S-Ec.....	35
Figura 16 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría muestra 050-S-Ec.....	35
Figura 17 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría muestra 020-S-Ec.....	36
Figura 18 – Ubicación de los monitoreos POAL realizados en Huasco.....	37
Figura 19 – Resultados de monitoreo POAL de agua promedio anual de mediciones para arsénico disuelto.	39
Figura 20 – Resultados de monitoreo POAL de agua, promedio anual de mediciones para cobre disuelto	39
Figura 21 – Resultados de monitoreo POAL de agua, promedio anual de mediciones para cadmio total ..	40
Figura 22 – Resultados de monitoreo POAL de agua, promedio anual de mediciones para zinc total	40
Figura 23 – Resultados de monitoreo POAL de agua para promedio anual de aceites y grasas.....	41
Figura 24 – Resultados de monitoreo POAL de agua para promedio anual de nitrógeno total Kjeldahl	41
Figura 25 – Resultados de monitoreo POAL de agua para promedio anual de fosfato	42
Figura 26 – Resultados de monitoreo POAL de agua, promedio anual de mediciones para sólidos suspendidos.....	42
Figura 27 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de cobre total	44
Figura 28 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de cadmio total.....	44
Figura 29 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de plomo total	45
Figura 30 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de fósforo total	46
Figura 31 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de nitrógeno total Kjeldahl	46
Figura 32 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de materia orgánica.....	47
Figura 33 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría año 2015	48
Figura 34 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría año 2019.....	49
Figura 35 – Ubicación de los puntos de monitoreo del PVA semestral	52
Figura 36 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para arsénico	53
Figura 37 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para arsénico	53
Figura 38 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para bario	54
Figura 39 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para bario	54
Figura 40 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para cobre	55
Figura 41 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para cobre	55
Figura 42 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para cromo	56
Figura 43 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para cromo	56
Figura 44 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para hierro.....	57
Figura 45 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para hierro	57
Figura 46 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para manganeso	58
Figura 47 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para manganeso	58
Figura 48 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para plomo	59
Figura 49 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para plomo	59
Figura 50 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para zinc	60
Figura 51 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para zinc	60

Figura 52 – Resultados de monitoreo PVA de aguas para oxígeno disuelto (diciembre 2019).....	61
Figura 53 – Resultados de monitoreo PVA de aguas para oxígeno disuelto (abril 2020).....	62
Figura 54 – Resultados de monitoreo PVA de aguas para oxígeno disuelto (junio 2021).....	62
Figura 55 – Abundancia total período 2012-2019 en Ensenada Chapaco	70
Figura 56 – Abundancia total período 2012-2019 en Huasco 1.....	71
Figura 57 – Abundancia total período 2014-2019 en Huasco 2.....	72
Figura 58 – Abundancia total período 2012-2019 en Punta Lachos 1	73
Figura 59 – Abundancia total período 2012-2019 en Punta Lachos 2	74
Figura 60 – Abundancia total período 2012-2019 en Cabo Norte 1	75
Figura 61 – Abundancia total principales grupos taxonómicos período 2012-2019 en sector Cabo Norte 2	76
Figura 62 – Curva abundancia macro-infaunal año 2019	77
Figura 63 – Curva abundancia macro-infaunal año 2018	77
Figura 64 – Curva abundancia macro-infaunal año 2017	78
Figura 65 – Curva abundancia macro-infaunal año 2016	78
Figura 66 – Curva abundancia macro-infaunal año 2015	79
Figura 67 – Curva abundancia macro-infaunal año 2014	79
Figura 68 – Curva abundancia macro-infaunal año 2013	80
Figura 69 – Curva abundancia macro-infaunal año 2012	80
Figura 70 – Ubicación de las estaciones de muestreo en la Ensenada Chapaco.....	83
Figura 71 – Ubicación de la estación de muestreo en Bahía Huasco.....	84
Figura 72 – (a) Línea de costa mostrando los sitios de estudio y estaciones de muestreo (círculos rojos) de la macro-infauna submareal en la Ensenada Chapaco (3 profundidades) y Huasco (1 profundidad). (b) Curvas de acumulación de abundancia y biomasa y estadístico W para Chapaco y Huasco. (c) Perfiles de temperatura, turbidez y oxígeno disuelto para Chapaco y Huasco	95
Figura 73 – Mapa mostrando los sitios de estudio y estaciones de muestreo	96
Figura 74 – Fotografías de la franja supralitoral	98
Figura 75 – Fotografías de la franja mediolitoral	98
Figura 76 – Fotografías de la franja infralitoral.....	99
Figura 77 – Fotografías de la franja supralitoral	99
Figura 78 – Fotografías de la franja mediolitoral	100
Figura 79 – Fotografías de la franja infralitoral	101
Figura 80 – Fotografías de la franja supralitoral	102
Figura 81 – Fotografías de la franja supralitoral	103
Figura 82 – Fotografías de la franja mediolitoral	103
Figura 83 – Fotografías de la franja infralitoral	104
Figura 84 – Fotografías de la franja supralitoral	104
Figura 85 – Fotografías de la franja mediolitoral	105
Figura 86 – Fotografías de la franja infralitoral.....	106
Figura 87 – Fotografías de la franja supralitoral	106
Figura 88 – Fotografías de la franja mediolitoral	107
Figura 89 – Fotografías de la franja infralitoral.....	107
Figura 90 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de arsénico disuelto	112
Figura 91 – Concentración de arsénico disuelto según fecha de muestreo	113
Figura 92 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de cobre disuelto	114
Figura 93 – Concentración de cobre disuelto según fecha de muestreo.....	114
Figura 94 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de plomo disuelto	115
Figura 95 – Concentración de plomo disuelto según fecha de muestreo.....	116

Figura 96 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de cromo disuelto	117
Figura 97 – Concentración de cromo disuelto según fecha de muestreo.....	117
Figura 98 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de zinc disuelto	118
Figura 99 – Concentración de zinc disuelto según fecha de muestreo.....	119
Figura 100 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de arsénico.....	120
Figura 101 – Concentración de arsénico según fecha de muestreo	121
Figura 102 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de cadmio	122
Figura 103 – Concentración de cadmio según fecha de muestreo	123
Figura 104 – Línea de costa mostrando los sitios de estudio y estaciones de muestreo (círculos rojos) ubicados en el costado norte de la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia hacia el sur y norte. Ubicación aproximada de las estaciones de muestreo fueron extraídas desde el informe anual 2019 del Programa de Vigilancia Ambiental, y para Punta Alcalde desde el estudio publicado por Lancellotti y Stotz (2004)	125
Figura 105 – (a y b) Series de tiempo de abundancia y riqueza macro-infaunal promedio en la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia hacia el sur (Punta Alcalde, Punta Lachos 1 y 2) y norte (Huasco 1 y 2, Cabo Norte 1 y 2). (c) Curvas de k-dominancia para la macro-infauna habitando en Chapaco y 6 sitios de referencia durante 2013, 2015 y 2018.....	127
Figura 106 – (a) Serie de tiempo de biomasa promedio macro-infaunal promedio en la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia hacia el sur (Punta Lachos 1 y 2) y norte (Huasco 1 y 2, Cabo Norte 1 y 2). (b) Proporción de biomasa compuesta por poliquetos, moluscos y crustáceos para el periodo 2012-2019. (c) Serie de tiempo de riqueza, abundancias y biomasa en la Ensenada Chapaco en 1994, entre 2012-2019 y 2022. Para 2018 y 2019 un promedio de 6 y 26 ind. • 0.1 m ⁻² no son reportados como biomasa (para más detalles ver Metodología).....	129
Figura 107 – (a y b) Resultados del análisis de varianza comparando las abundancias y riqueza promedio macro-infaunal en la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia al sur (Punta Lachos 1 y 2) y norte (Huasco 1 y 2, Cabo Norte 1 y 2).	130
Figura 108 – Curvas de rarefacción para la macro-infauna submareal en la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia al sur (PL1) y norte (HU1 y CN1) para el periodo 2012-2019 (agrupado) y años 2013, 2015 y 2018 (individual). Para cada curva el intervalo de confianza al 95% es mostrado en gris. Para más detalles ver Metodología	131
Figura 109 – Ubicación fuentes emisoras a cuerpos de agua marítimos en área del proyecto	132
Figura 110 – Ubicación y trayecto del relaveducto de CMP	134
Figura 111 – Relaveducto histórico de CMP	135
Figura 112 – Relaveducto histórico de CMP (vista de la ensenada Chapaco)	135
Figura 113 – Footprint del Relave	137
Figura 114 – Footprint del Relave y predicción al 2023	138
Figura 115 – Ubicación Unidades generadoras de Guacolda.....	139
Figura 116 – Ubicación Unidades generadoras de ENEL Huasco	141
Figura 117 – Ubicación de descarga y emisario Huasco	143
Figura 118 – Tubería histórica, posible fuente no autorizada en sector emisario submarino	144
Figura 119 – Ubicación tubería histórica, posible fuente no autorizada en sector emisario submarino ...	144
Figura 120 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Fluoruros, (c) Cobre, (d) Cloruros, (e) Cromo Hexavalente y (f) Boro para fuente Planta de Pellets	146
Figura 121 – Porcentaje de la emisión anual total por contaminante	147
Figura 122 – Medición de pH en fase líquida del relaveducto	148
Figura 123 – Medición de Temperatura en fase líquida del relaveducto, antes y al momento de la descarga	149

Figura 124 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Hidrocarburos totales, (c) Sólidos Suspendedos Totales y (d) Fluoruros para fuente Enel Huasco	153
Figura 125 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Nitrógeno Total Kjeldahl, (c) Fluoruros, (d) Arsénico, (e) Hidrocarburos totales y (f) Sólidos Suspendedos Totales para fuente Guacolda.....	154
Figura 126 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Sulfuros, (c) Hidrocarburos totales y (d) Sólidos Suspendedos Totales para fuente Emisario submarino	155
Figura 127 – Comparación de emisiones anuales por fuente para (a) Arsénico, (b) Cobre y (c) Hierro	157
Figura 128 – Comparación de emisiones anuales por fuente para (a) Aceites y Grasas, (b) Hidrocarburos Totales y (c) Nitrógeno Total Kjeldahl	158
Figura 129 – Comparación de emisiones anuales por fuente para (a) Cloruros, (b) Fluoruros y (c) Sulfatos	159
Figura 130 – Estaciones de muestreo del footprint de relave comprometidas por nuevo PVA	161
Figura 131 – Estaciones de muestreo y footprint del relave	168
Figura 132 – Concentraciones en relave y sedimentos (1)	169
Figura 133 – Concentraciones en relave y sedimentos (2)	170
Figura 134 – Concentraciones en relave y sedimentos (3)	170
Figura 135 – Ubicación área de estudio en Tocopilla	174
Figura 136 – Ubicación área de estudio en Mejillones	177
Figura 137 – Ubicación área de estudio en Antofagasta.....	180
Figura 138 – Ubicación área de estudio en Quintero	182
Figura 139 – Sitio web de Great Barrier Reef Marine Park Authority	196
Figura 140 – Proceso para elaboración de normas.....	197
Figura 141 – Ubicación de los puntos de monitoreo propuestos	201

Anexos

Anexo 1 – Base de datos de monitoreo POAL Chapaco de agua
Anexo 2 – Base de datos de monitoreo POAL Chapaco de sedimentos
Anexo 3 – Base de datos de monitoreo POAL Huasco de agua
Anexo 4 – Base de datos de monitoreo POAL Huasco de sedimentos
Anexo 5 – Base de datos de monitoreo PVA de agua
Anexo 6 – Base de datos de monitoreo PVA de biota
Anexo 7 – Informes de laboratorio muestreo EnSoil
Anexo 8 – Base de datos completa de agua
Anexo 9 – Base de datos completa de sedimentos
Anexo 10 – Base de datos de fuentes emisoras RETC
Anexo 11 – Archivos SIG del estudio
Anexo 12 – Tríptico de difusión del estudio
Anexo 13 – Video informativo del estudio
Anexo 14 – Minutas de reuniones
Anexo 15 – Presentación final

1 Introducción

El presente documento corresponde al informe final del estudio “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”, encargado por el Ministerio del Medio Ambiente mediante la licitación pública 608897-64-LE21.

El estudio busca evaluar el estado ecológico actual del borde costero de Huasco, con énfasis en la bahía de Chapaco, que incluya la identificación de las fuentes de emisión de contaminantes que impactan su calidad (incluyendo descargas irregulares), la identificación de impactos acumulativos producto de las actividades industriales y otras que se desarrollan en el borde costero, además de medidas de prevención, control o recuperación, en caso de que se constate impactos o riesgos.

En este informe en particular, se entregan antecedentes preliminares que dan cuenta del proceso histórico de evolución del territorio comunal, principalmente asociado al desarrollo de actividades industriales desde mediados del siglo XX en la zona costera, asociada a su vez a antecedentes que permitan la contextualización de los trabajos de monitoreo de matrices ambientales realizados en la bahía de Chapaco desde el año 1983 y otros efectuados en Bahía de Huasco y el identificar fuentes emisoras autorizadas y no autorizadas en la zona.

1.1 Antecedentes

La comuna de Huasco, fundada a mediados del siglo XVII, se localiza en el sector sur poniente de la región de Atacama, limitando al norte con Copiapó, Freirina y Vallenar por el este, y con el océano Pacífico al Oeste. Una de las principales características es el desarrollo y auge de la minería desde mediados del siglo XIX, aunque históricamente ha estado ligada al desarrollo de dicho rubro desde la colonia y en periodos prehispanicos, complementada con el desarrollo de la agricultura y la pesca.

En la actualidad, la comuna cuenta con una población de 10147 habitantes, y datos de la encuesta de caracterización económica CASEN indican que al año 2015 la comuna concentra un 13,4% de pobreza de ingresos, casi doblando las cifras de la región de Atacama y por sobre el promedio país para dicho año.

Respecto a la actividad portuaria, esta se desarrolló primeramente en la bahía que corresponde a la desembocadura del río del mismo nombre, y de manera posterior al sector de la Isla Guacolda (actual península de Guacolda desde 1960). Como señala el PRAS, la industrialización del territorio comenzó en la década del 50, dada la necesidad de mineral de hierro para la reconstrucción posterior de Europa luego de la II Guerra Mundial, y fueron desarrollándose diversas obras de infraestructura e industriales, cuyos principales hitos podemos observarlos en Tabla 1.

Tabla 1 – Principales hitos asociados a la actividad portuaria e industrial en Huasco

Año	Hito
1956	<ul style="list-style-type: none"> ● Se construye el puerto mecanizado Las Losas 2 kms al sur de Huasco.
1957	<ul style="list-style-type: none"> ● Compañía de Aceros del Pacífico compra mina Algarrobo. ● Se construye la vía férrea de 48 km entre El Algarrobo y Maitencillo y otra de 8 km entre Huasco Bajo y Guacolda, para transporte de mineral.
1962-1965	<ul style="list-style-type: none"> ● Se construye el Puerto Mecanizado de Guacolda para barcos de hasta 40.000 T ● Se construye la primera planta generadora termoeléctrica para el pueblo. ● Se construye Central Termoeléctrica Huasco, de Endesa, en terminal Guacolda.
1970 -1976	<ul style="list-style-type: none"> ● Se construye en 1973 el puerto Guacolda II, para barcos de hasta 250.000 toneladas de almacenaje y canchas de almacenamiento y mezcla para 1.800.000 toneladas de mineral ● Se comienza a construir la planta de pellets de hierro de CAP
1977 - 1981	<ul style="list-style-type: none"> ● La planta de Pellets inicia operaciones, aumentando su capacidad hacia 1979 y plena operación hacia el año 1981, lo que permite una óptima explotación de yacimiento el Algarrobo
1992 – 1997	<ul style="list-style-type: none"> ● Se desarrolla el estudio de factibilidad de yacimiento Los Colorados, que reemplaza de manera definitiva el yacimiento El Algarrobo el año 1997. ● Se construye la Central Termoeléctrica Guacolda, de CAP en asociación con Termoeléctrica Guacolda, entrando la primera en operación en 1992, y posteriormente una segunda en 1996. Dichas centrales son a carbón. ● Se construye la línea de transmisión Maitencillo - Cardones
2000 -2010	<ul style="list-style-type: none"> ● Se construyen la tercera y cuarta generadora de Central Termoeléctrica de Guacolda en 2009 y 2010, año en que es aprobada la quinta central en el SEIA. ● Se construye nuevo puerto Las Losas, perteneciente a CAP y Agrosuper
2012	<ul style="list-style-type: none"> ● Luego de varios años, se declara la zona de latencia por la concentración anual de material particular MP10.
2014	<ul style="list-style-type: none"> ● Se inicia el proceso de construcción del Plan de Recuperación Ambiental y Social de Huasco
2015	<ul style="list-style-type: none"> ● Se inicia a la elaboración del anteproyecto del plan de prevención de contaminación

Fuente: PRAS de Huasco

En temas ambientales, es necesario indicar que Huasco, al igual que las comunas de Quintero-Puchuncaví en la región de Valparaíso y Coronel en la región del Biobío, cuenta con un Plan de Recuperación Ambiental y Social (PRAS), cuyo proceso de construcción se inició el año 2014, lo que en conjunto con otros antecedentes, como el documento “Evaluación y caracterización del polvo negro en la comuna de Huasco e implementación de medidas de mitigación” (2017), entrega claves para comprender la problemática que los vecinos y vecinas perciben del territorio, toda vez que la contaminación es causada multifactorialmente (Ilustre Municipalidad de Huasco, 2019).

Para la comprensión de dicha problemática, es necesario contextualizar la vocación histórica de la comuna y el desarrollo industrial hasta el día de hoy. El puerto de Huasco desde mediados del siglo XIX ha cumplido un rol de puerto de salida de materias primas a mercados extranjeros, de cobre en un principio, salitre consecutivamente, para finalizar con mineral de hierro luego de la inauguración del puerto mecanizado de Lozas en 1956.

Posteriormente, en 1959, CAP comienza la construcción del puerto mecanizado, obra con cual se unió la isla de Guacolda con el continente conformando la península y la bahía del mismo nombre, lo cual dio pie a un periodo de gran auge económico a la comuna.

Ya hacia 1963, ENDESA desarrolla el proyecto de Central Termoeléctrica Huasco, a la que se suma en 1973 la construcción del puerto de embarque Guacolda II.

De manera progresiva se fueron sumando instalaciones industriales en años siguientes, entre ellas la Central Termoeléctrica Guacolda (CAP-Guacolda) en la actualidad perteneciente a AES Gener, la cual está compuesta de cinco unidades generadoras que fueron implementadas en un proceso progresivo, y ya hacia fines del siglo 20 se construye el nuevo puerto Las Losas para carga y descarga de maquinarias.

Todas estas intervenciones antrópicas en el territorio son las que han configurado la actual problemática ambiental de la comuna principalmente asociadas a su borde costero, en diversas componentes ambientales, y entre ellas, aire, agua, mar, suelo, siendo identificadas como las principales fuentes emisoras de material particulado la Planta de Pellet de Compañía Minera del Pacífico CMP (ex CAP) y la Empresa Eléctrica Guacolda S.A., y que han determinado que el área comprendida por la localidad de Huasco y su zona circundante fuese declarada zona latente por material particulado respirable (MP10), como concentración anual el año 2011.

Plan de Recuperación Ambiental Social PRAS

En este contexto ambiental, el Estado impulsa un proceso de planificación estratégica, esfuerzo conjunto con la sociedad civil comunal a partir del año 2014, mediante un programa multisectorial liderado por el Ministerio del Ambiente denominado Plan de Recuperación Ambiental y Social de Huasco (PRAS de Huasco), instrumento construido participativamente mediante un diálogo ciudadano y la conformación del Consejo para la Recuperación Ambiental y Social (CRAS) de Huasco.

Dicho programa identifica con 16 objetivos territoriales y un conjunto de 67 medidas de solución, debidamente consensuadas por el CRAS¹, que abordan diversas acciones que contribuyen hacia el logro de las medidas de recuperación y/o mitigación ambiental en el territorio de Huasco, asociados a componentes aire, agua, mar, suelo, paisaje y biodiversidad, sociedad, salud e infraestructura.

Entre ellas, podemos relevar hacia el año 2019 el desarrollo de programas para capacitación para la comunidad, publicación en diario oficial de la norma SO₂, diversos monitoreos de humedal en desembocadura de río Huasco, y de calidad de agua y caudal en la cuenca de dicho río, (insumo para el AGIES de la norma de calidad del agua), muestreos de suelo, programas de recuperación y conservación de especies nativas entre otras.

¹ El Consejo para la Recuperación Ambiental y Social CRAS, comenzó a sesionar mensualmente en julio de 2015 en el marco de la elaboración del PRAS, y estaba compuesto por representantes de organizaciones públicas, privadas y de la sociedad civil, y entre ellas la Unión Comunal de JVV, Consejo de la Organización de la Sociedad Civil COSOC, Agricultores, entre diversas otras, el Alcalde, Concejales y representantes de servicios públicos regionales y provinciales, CAP y Guacolda.

Ya hacia el año 2020 se continúan con los programas de capacitaciones, difusión del proceso de consulta por norma secundaria, implementación de mecanismos de consulta ciudadana a pueblos indígenas, elaboración de indicadores del PRAS, entre diversas otras acciones en desarrollo y futura implementación.

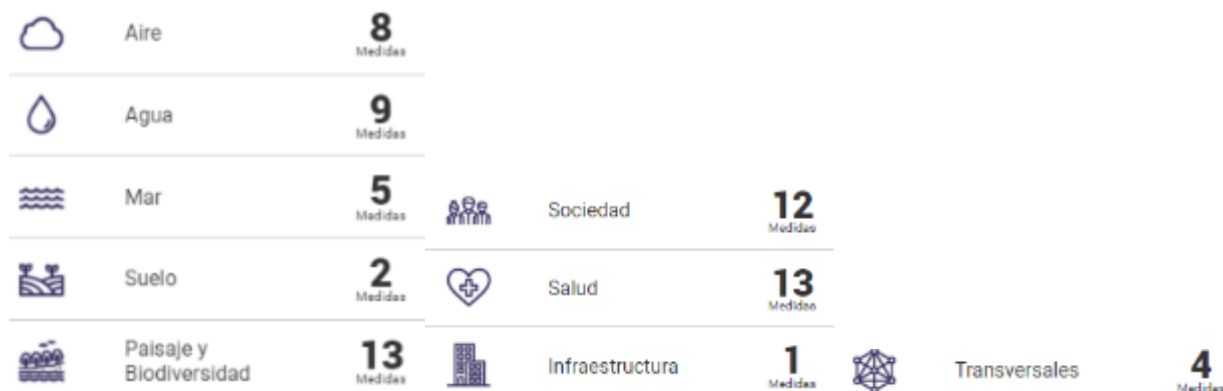


Figura 1 – Número de medidas de solución por dimensiones ambiental, social y transversales PRAS Huasco
Fuente: PRAS de Huasco

Respecto a matriz aire, Huasco cuentan con normas de emisión de material particulado sedimentable, de las cuales en un 99% son responsabilidad de la Planta de Pellets de CAP y Empresa Eléctrica Guacolda S.A.

Respecto a la situación del borde costero Huasco, y como se puede inferir de párrafos anteriores, la comuna cuenta con dos bahías de importancia, la bahía de Huasco entre Punta Escorial y Punta Larga, y la bahía de Guacolda o Santa Bárbara, entre Punta Larga y península de Guacolda, cinco km al sur de la ciudad. Ambientalmente a su vez, debe destacarse la presencia del humedal estuarino del río Huasco, localizado al norte de la comuna.

Según el PRAS, las condiciones de la Bahía de Huasco presentan características diferenciadas a otras de la región en relación con parámetros como temperatura, pH, y que posiblemente sean atribuible al desarrollo de las actividades antrópicas, con afectaciones por sedimentación de metales como cadmio y cobre, con valores por sobre los de referencia nacionales e internacionales.

Es recurrente a su vez encontrar antecedentes relativos a las descargas de aguas a altas temperaturas y residuales en la bahía, considerando que existen cuatro emisarios en ella, y a su vez descargas de relaves, con diversas afectaciones en los recursos hidrobiológicos de la bahía.

Respecto a la Bahía de Chapaco, donde se localiza una planta de pellet (CAP), podemos indicar que los emisarios han provocado posibles afectaciones en términos de turbidez y sedimentación, dada la descarga de relaves de hierro en el fondo marino desde hace más de 40 años, en cuyo primer periodo (1978 a 1993) fueron descargados en el intermareal, posteriormente hasta el año 2004 al submareal (25m) y que en la actualidad se descarga a 35m.

En este sentido y en relación con el mar y al borde costero, el PRAS cuenta con el objetivo territorial N°5 que **es contar con una adecuada compatibilización de usos y calidad ambiental del borde costero** y con el objetivo institucional de desarrollar instrumentos, estudios, mejores tecnologías e iniciativas que permitan compatibilizar los usos y calidad ambiental del borde costero.

Respecto a la percepción de la comunidad, el PRAS indica que “un problema relevante de la comuna es la afectación del medio marino. Ven con preocupación que el uso industrial del borde costero está afectando negativamente al mar y señalan el uso de tecnología inapropiada en las empresas. Perciben también que no hay transparencia en la información respecto a sus procesos e impactos en el ecosistema marino, así como una falta de fiscalización y de monitoreos, los que no estarían localizados en las inmediaciones de los puntos de descarga” (PRAS).

Entre las causas identificadas por la comunidad para esta problemática se indican el vertido de aguas a altas temperaturas; los relaves mineros que desde hace décadas que CAP vierte al mar, su deficiente fiscalización y dudas sobre su composición y la afectación que generan, en específico en la biota, como moluscos y otras especies del litoral; el impacto asociado a residuos industriales, como carbón y hierro; el vertido de aguas servidas al mar y el derramamiento accidental de hidrocarburos.

A esto se suma las afectaciones al desarrollo de la pesca artesanal por los impactos en la biodiversidad y la ausencia de líneas de base que permitan estimar las afectaciones que el desarrollo portuario e industrial ha provocado en ambas bahías y el borde costero en general.

Las soluciones propuestas en torno a este objetivo son:

Tabla 2 – Soluciones propuestas por el CRAS, al objetivo “Contar con una adecuada compatibilización de usos y calidad ambiental del borde costero”

Soluciones propuestas por CRAS	Priorización IGO
Que los relaves no se descarguen al mar, sino sean localizados en tierra	RETO
Realizar un mayor tratamiento de los relaves previo a ser descargados al mar y disminuir en un 80% la cantidad de descarga	RETO
Ordenamiento del territorio costero, determinando zonas específicas para la localización de las plantas desaladoras	Inmediata

Fuente: PRAS de Huasco

Para abordarlas existen tres cuerpos legales asociados a los espacios marinos costeros, vinculadas a la regulación del litoral chileno, a la gestión del espacio y los recursos litorales, a las normas primarias de calidad ambiental, a la que se suma la vinculada al control de emisiones y las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas.

Por otro lado, existen a nivel regional el proceso de uso y zonificación del borde costero, cuya elaboración recae en las Comisiones Regionales de Uso de Borde Costero CRUB, constituida en la región en 1997, la elaboración de un instrumento al año 2009, un proceso de readecuación posterior hasta el año 2015, y actualmente en proceso de Evaluación Ambiental Estratégica.

Respecto a las aguas marinas, se ha desarrollado el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), en cuyo marco se tomaron muestras bianuales de agua del mar en tres puntos de monitoreo en el borde costero de Huasco, específicamente en desembocadura río Huasco, descarga Guacolda y muelle Guacolda II (PRAS). A lo que se sumaron el 2013 la Estación control Playa Grande, y en el 2014 las estaciones norte Muelle Guacolda y Playa Grande Control.

Tabla 3 – Resultados generales del POAS para aguas marinas y sedimentos

Estación de monitoreo	Estado
<p>Desembocadura Río Huasco</p>	<p>No se presentan superaciones de los valores máximos establecidos en el D.S. 144 desde el año 2000. A su vez, el agua se presenta en su mayoría como Clase 1 de acuerdo a la Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. La clase 1 se define como aguas de muy buena calidad, apta para la conservación de comunidades acuáticas, para la desalinización de agua para consumo humano y demás usos definidos, cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta Clase.</p>
<p>Descarga Guacolda</p>	<p>No se presentan superaciones de los valores máximos establecidos en el D.S. 144 desde el año 2000. A su vez, el agua se presenta para la mayoría de los parámetros, con excepción de los Sólidos Suspendidos, como Clase 1 de acuerdo a la Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. La concentración de Sólidos Suspendidos lo ubica en la Clase 3 a partir del año 2010. La Clase 3 corresponde a agua de Regular calidad, apta para actividades portuarias, navegación u otros usos de menor requerimiento de calidad de agua.</p>
<p>Muelle Guacolda</p>	<p>No se presentan superaciones de los valores máximos establecidos en el D.S. 144. A su vez, el agua se presenta para la mayoría de los parámetros, con excepción de los Sólidos Suspendidos, como Clase 1 de acuerdo a la Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. La concentración de Sólidos Suspendidos lo ubica en la Clase 3 el año 2010 (segundo monitoreo), y en la Clase 2 el año 2011 (primer monitoreo).</p>
<p>Sedimentos Marinos</p>	<p>A modo general, en base a los antecedentes de calidad de sedimentos marinos recopilados, es posible constatar una afectación de la bahía principalmente por cadmio y cobre, presentándose para ambos metales concentraciones por sobre los valores de referencias nacionales e internacionales utilizados para su evaluación. El elemento cobre presenta concentraciones elevadas en la actualidad en cinco de las estaciones de monitoreo del programa POAL y también en las estaciones de monitoreo de CAP Minería. A su vez, cadmio presenta concentraciones elevadas en las estaciones de monitoreo del programa POAL hasta el año 2011 y en las estaciones del proyecto Termoeléctrica Punta Alcalde de ENDESA del año 2009. En estas últimas estaciones también se detectaron concentraciones por sobre los valores de referencia para mercurio los años 2008 y 2009.</p>

Fuente: PRAS de Huasco

Respecto a sedimentos, el PRAS suma a los antecedentes levantados por el POAL recopilación de antecedentes públicos sobre calidad fisicoquímica de sedimentos marinos de monitoreo de sedimentos de proyectos Puerto Las Losas (febrero 2012), Ampliación emisario Planta de Pellets (2011), Central Termoeléctrica Punta Alcalde (enero 2009), Puerto Las Losas CMP (marzo de 2006), Unidad 5 Central Termoeléctrica (agosto 2009) y Central Termoeléctrica Punta Alcalde (septiembre 2007 y junio 2008).

A todo lo anterior se suman el desarrollo de otras actividades productivas con impactos asociados y sinérgicos con potencial de afectar el ecosistema marino, indicadas a continuación, siendo la pesca

artesanal la que entra en evidente conflicto con las actividades industriales, quienes han responsabilizado históricamente a las termoeléctricas por la disminución de bancos de especies, lo que ha redundado en la disminución de las cuotas de extracción y la veda de algas, con afectación directa a los sistemas de vida por tanto de dichas comunidades.

Tabla 4 – Otras actividades productivas con potencial de impactos sinérgicos en el medio marino

Actividad	Antecedentes
Puerto	Se centra en la península Guacolda, donde se encuentran las instalaciones del Puerto Guacolda perteneciente a CAP Minería, con los muelles Guacolda I y Guacolda II. Entre la ciudad y la península se ubica el Terminal Santa Bárbara, también de CAP Minería. Adicionalmente se encuentra el Puerto Las Losas ubicado en la bahía Puerto Huasco, en la punta denominada Pta. Loros.
Centrales Termoeléctricas	<ul style="list-style-type: none"> • Central Térmica Guacolda S.A., de propiedad de Guacolda Energía S.A. y GIP, posee cuatro unidades termoeléctricas en Huasco, que operan a carbón y que totalizan 608 MW. Actualmente se construye la unidad N°585. • Endesa opera actualmente dos centrales, Huasco TG y Huasco Vapor, ambas con una potencia de generación de 46,8 MW y 64,23 MW respectivamente. Estas centrales no funcionan permanentemente, son de respaldo ante caídas de carga y demandas especiales del sistema.
Emisarios de Aguas Servidas	El sistema de alcantarillado de aguas servidas de la ciudad de Huasco posee 4 emisarios, los cuales conducen las aguas servidas hasta el lugar de descarga en el mar. Tres de estos sistemas pertenecen a la Empresa de Servicios Sanitarios de Atacama (EMSSAT S.A.) y uno a CAP Minería. A su vez Huasco Bajo no cuenta con sistema de alcantarillado público de aguas servidas, existiendo un estudio de red pública con planta de tratamiento.
Descargas de Relaves	La planta de Pellets de Huasco en el proceso de extracción y concentración del hierro genera desechos en forma de relave y estos eran depositados históricamente en la zona intramareal y poco profunda cercana a la planta en la ensenada Chapaco. Esto cambió en el año 1994, cuando se implementó un sistema para la descarga submarina del relave a una profundidad aproximada de 35 metros.
Pesca Artesanal	La presencia de 4 caletas pesqueras en la comuna en las cuales se desarrolla la pesca artesanal, con 8 organizaciones de pescadores a nivel comunal, 5 de ellas localizados en Huasco Puerto, con 280 afiliados al año 2019 (IM de Huasco).

Fuente: PRAS de Huasco

Descarga de relaves al mar en Chapaco

El sector minero, a pesar de ser un reconocido motor de crecimiento económico en Chile (10-15 % PIB anual 2013-2021 según BCCh), históricamente ha utilizado el medio marino para verter millones de toneladas de residuos líquidos (Rodríguez et al., 2021; Vare et al., 2018). Un caso emblemático para Chile es el de la Compañía Minera del Pacífico (CAP) que, desde finales de los 70s, ha vertido residuos del proceso de pelletización de hierro en la Ensenada Chapaco (Huasco, Región de Atacama). Este vertido ha ocurrido hasta el día de hoy, sin embargo, luego de inspecciones realizadas por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y denuncias presentadas en contra de CMP por organismos y particulares, la SMA presentó 20 cargos en contra de CMP (R. Ex. N° 1 ROL D-002-2018 del 10 de enero 2018) de los cuales, el cargo N° 15 constituye

una falta gravísima y se relaciona específicamente con el vertido de relaves al mar. Este cargo indica lo siguiente:

“El Titular se encuentra operando un sistema de depositación de relaves, que descarga dicho efluente en el mar, a 35 metros de profundidad, sin contar con la autorización ambiental respectiva. Ello se ha verificado, al menos, desde el 31 de marzo de 2017”.

Posterior a estos cargos CMP presento un programa de cumplimiento que incluía evaluar ambientalmente y obtener una RCA favorable de un proyecto de cese de descarga de relaves en ensenada de Chapaco como se indica en la CMP (R. Ex. N° 18/ROL D-002-2018 del 26 marzo 2019).

Mundialmente, la descarga de relaves al mar es una práctica en retirada, no obstante los estándares de la industria indican que esta debiese ser realizada a una profundidad de al menos 100 metros, de manera que esté bajo la termoclina², zona eufótica³ y las capas de mezcla de la superficie. Actualmente solo se utiliza actualmente en contadas operaciones entre las que se cuentan (Mining Watch Canada, 2002)⁴:

- En Chile, en la Planta de Pellets operada por la Compañía Minera del Pacífico
- En Indonesia en las minas Minahasa Raya and Batu Hijau operadas por Newmont Corporation
- En Turquía, en la mina Cayeli Bakir Mine operada por Inmet Mining
- En Papúa Nueva Guinea en la mina Lihir MENE operada por Lihir Management Company y Rio Tinto
- En Papúa Nueva Guinea en la mina Misima operada por Placer Dome
- En Inglaterra en la mina Boulby Potash Mine operada por Cleveland Potash
- En las Filipinas en la mina Atlas operada por Atlas Consolidated Mining and Development Corporation

La disposición de relaves en el mar es un tema polémico, ya que si bien se ha utilizado como una solución económica al problema de los relaves, conlleva una serie de problemas ambientales los que incluyen:

- Rotura del emisario y dispersión de relaves no controlada
- Dispersión en áreas mayores a las planificadas
- Generación de condiciones anóxicas y sofocamiento de organismos benthicos
- Aumento de turbidez del agua
- Descarga de metales y otros contaminantes al mar y sedimentos

1.2 Alcance

El alcance de este proyecto es el de realizar un estudio del estado ecológico del borde costero de Huasco, con énfasis en Bahía Chapaco, lo que ha sido indicado en las bases de la licitación y está de acuerdo a la Ficha C.1.2 del Programa para la Recuperación Ambiental y Social (PRAS) para Huasco. Es importante sí recalcar, como lo indica el PRAS, que existen obstáculos técnicos, como que la “falta de datos y monitoreos dificulta la realización de un buen diagnóstico, sobre todo para establecer estado natural o punto de

² Termoclina: capa en que la temperatura desciende bruscamente con la profundidad en el cuerpo de agua

³ Zona eufótica: Profundidad en la que la intensidad de la luz queda reducida a un 1% de la que ha penetrado la superficie

⁴ https://miningwatch.ca/sites/default/files/01.STDtoolkit.intr_.pdf

referencia”, y financieros, ya que “es posible que se requieran una amplia gama de estudios adicionales o complementarios y un monitoreo permanente” para cumplimiento cabal de los objetivos planteados. En este sentido, este estudio apunta a una revisión bibliográfica extensiva del área, no obstante, por recursos dispuestos, se prevé que posiblemente serán necesarios estudios y monitoreos adicionales para comprender el estado ecológico con un nivel de certeza apropiado para afinar futuras acciones.

Relación del PRAS con el estudio

Cabe notar que las soluciones planteadas en el PRAS para el componente “Mar” incluyen las siguientes:

- C.1.1 Implementar una norma de calidad de agua secundaria en la bahía de Chapaco, su zona circundante y sector la Isla
- C.1.2 Realizar un estudio del estado ecológico del borde costero y sociabilizar los resultados.
- C.1.3 Mejorar el Programa de Observación del Ambiente Litoral, (P.O.A.L.).
- C.1.4 Analizar los diferentes sistemas de disposición de relaves.
- C.1.5 Evaluar e implementar medidas tendientes a reducir el impacto de las centrales termoeléctricas asociado a la succión de agua y descarga de residuos líquidos.

El presente estudio se enmarca específicamente en la solución C.1.2 que refiere a la evaluación del estado ecológico del borde costero. No obstante, se discuten también las soluciones C.1.1 y C.1.3 referentes a la implementación de una norma de calidad de agua secundaria para la bahía de Chapaco y mejoramiento del POAL. Esto es abordado en más detalle en la Sección 5.1.3.

1.3 Objetivo general

El objetivo general es realizar un diagnóstico completo, con énfasis en la Bahía de Chapaco, del estado ecológico/ambiental del borde costero de Huasco, con recomendaciones de manejo y propuestas de restauración.

1.4 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de esta consultoría son los siguientes:

- a) **Objetivo específico N°1:** Revisar y analizar los monitoreos históricos del borde costero de Huasco, con énfasis en los realizados en Bahía Chapaco desde 1993 a la fecha.
- b) **Objetivo específico N°2:** Realizar un catastro de fuentes emisoras, autorizadas y no autorizadas, en toda la zona objetivo del estudio, identificando el grado de deterioro asociados al tipo de impacto que podrían generar cada una de ellas, ya sea a largo plazo o inmediato.
- c) **Objetivo específico N°3:** Analizar y justificar si procede o no restaurar el borde costero de Huasco y realizar propuestas de mejora para la situación de su estado ecológico/ambiental, con énfasis en Bahía Chapaco.
- d) **Objetivo específico N°4:** Proponer recomendaciones de manejo y restauración respecto del estado ecológico/ambiental del borde costero de Huasco, con énfasis en Bahía Chapaco y sociabilizar los resultados.

1.5 Organización del informe

Este informe está organizado según los objetivos específicos, según 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 el presente Informe final, se incluyen las actividades relacionadas con todos los objetivos específicos anteriormente mencionados.

2 Objetivo específico 1 – Revisar y analizar los monitoreos históricos del borde costero de Huasco, con énfasis en los realizados en Bahía Chapaco desde 1993 a la fecha

2.1 Generación de una base de datos con la información de estudios existentes del estado ecológico/ambiental del borde costero y ambiente marino de Huasco, con énfasis en la Bahía Chapaco

Esta actividad consiste en revisar, sistematizar y analizar la información de los estudios y monitoreo del estado ecológico/ambiental de la zona de estudio (estudios y documentos de ecología, ambientales, del borde costero, ambiente marino y columna de agua de la comuna de Huasco).

Para esta actividad se revisaron y analizaron los siguientes estudios y programas de monitoreo:

- Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) de la DIRECTEMAR para la Bahía de Chapaco años 2014 a 2019.
- Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) de la DIRECTEMAR para la Bahía de Huasco años 1999 a 2011, 2013 a 2017 y 2019.
- Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) “Depósito submarino de colas de proceso de la planta de pellets de la compañía minera del pacífico S.A. en Huasco” de la Compañía Minera del Pacífico (CMP) años 2013 a 2021.
- Declaración de Impacto Ambiental “Cese de la descarga de relaves en Ensenada Chapaco” de 2018 de CMP.
- Estudio de Impacto Ambiental año 2016 Proyecto Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets.
- “Estudio oceanográfico y selección del sitio de descarga en Ensenada Chapaco” realizado por Rescan Consultants Inc. para CMP (1993).

2.1.1 Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL)

El objetivo del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) es el de 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 2 a continuación.

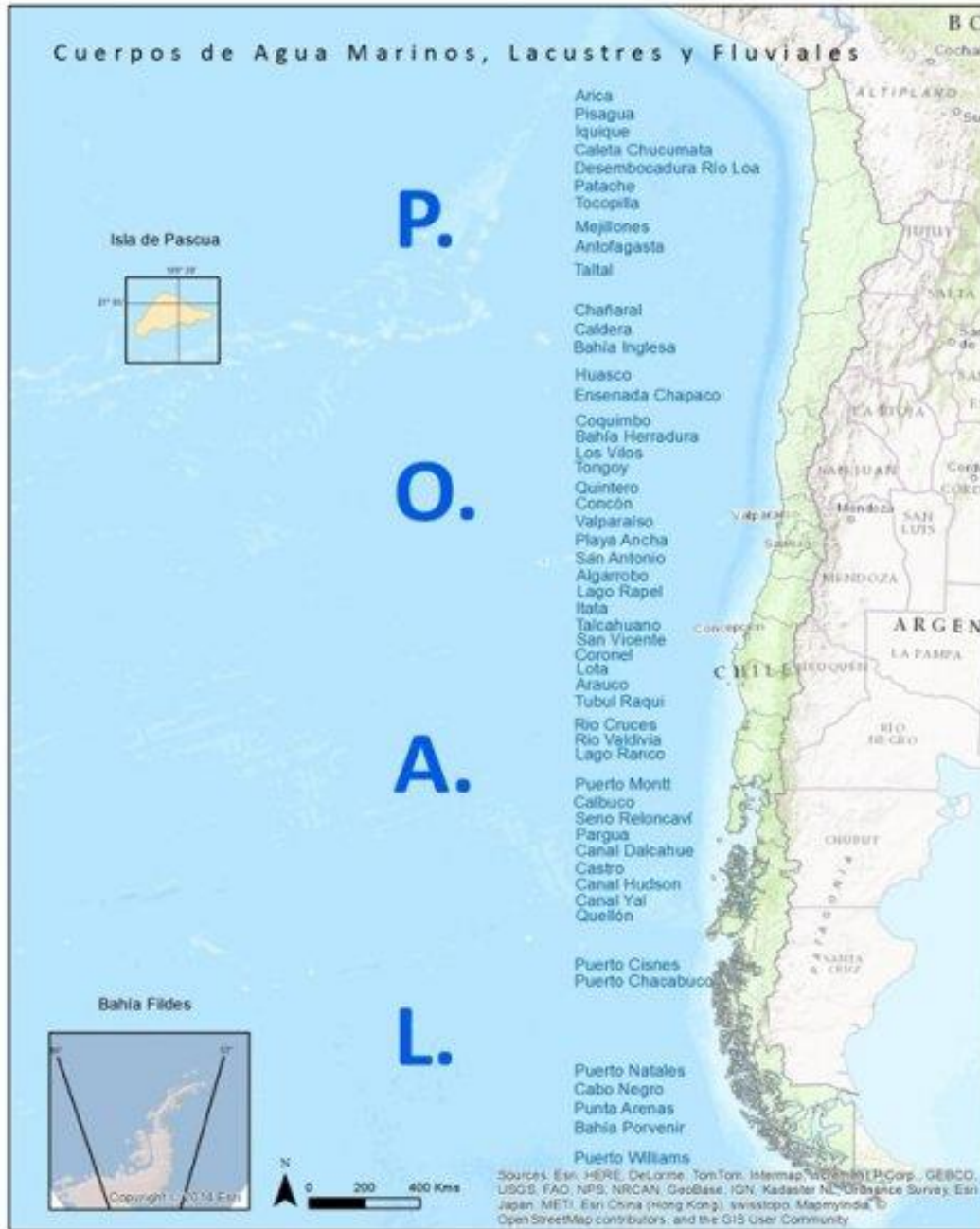


Figura 2 – Ubicaciones donde se realiza el POAL

Fuente: Sitio web de Directemar⁵

⁵ <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>

Los parámetros y matrices ambientales consideradas en el POAL son las siguientes⁶:

Aguas:

- Metales totales: cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, zinc.
- Metales disueltos: cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, zinc.
- Compuestos inorgánicos: nitrato, fosfato, amonio, fósforo total, nitrógeno total Kjeldahl.
- Compuestos Orgánicos: grasas/aceites, hidrocarburos aromáticos policíclicos.
- Indicadores Microbiológicos: coliformes fecales
- Indicadores Químicos: sólidos suspendidos, sólidos disueltos, oxígeno disuelto, DBO5, DQO, clorofila A.

Sedimentos:

- Metales Totales: cadmio; cobre; cromo; mercurio; plomo; zinc.
- Compuestos Inorgánicos: fósforo total; nitrógeno total Kjeldahl.
- Compuestos Orgánicos: materia orgánica total; hidrocarburos totales y bifenilos policlorados.

Biota:

- Metales Totales: cadmio; cobre; cromo; mercurio; plomo; zinc.
- Indicadores Microbiológicos: coliformes fecales.

2.1.2 Monitoreo POAL en bahía de Chapaco

El monitoreo parte del POAL de la bahía Chapaco se encuentra disponible en el sitio web de la Directemar y contiene los siguientes datos:

- Monitoreo de matriz agua para los años 2014 a 2017 (4 bases de datos)
- Monitoreo de matriz sedimento para los años 2014 a 2017 y 2019 (5 bases de datos⁷)
- Monitoreo de matriz biota para los años 2013 a 2014 (3 bases de datos)

Este monitoreo consta de cuatro ubicaciones para agua, dos para sedimentos y una para biota, como indica la Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7 y la Figura 3.

Monitoreo agua

Tabla 5 – Ubicación de monitoreo POAL de agua en Chapaco

Punto de monitoreo	Referencia	Latitud	Longitud
010-A-Ec	Ensenada Chapaco	-28,48416	-71,2552
020-A-Ec	Ensenada Chapaco	-28,48473	-71,26239
030-A-Ec	Este Ensenada Chapaco	-28,48611	-71,2706
050-A-Ec	NE Punta Huasco Sur Control	-28,49921	-71,2704

⁶ De acuerdo a <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>

⁷ Datos para el año 2018 no están disponibles

Monitoreo sedimentos

Tabla 6 – Ubicación de monitoreo POAL de sedimentos en Chapaco

Ubicación	Descripción	Profundidad (m)	Latitud	Longitud
010-S-Ec	Ensenada Chapaco	9	-28,48416	-71,2552
020-S-Ec	Ensenada Chapaco	10	-28,48473	-71,26239
050-S-Ec	Este Ensenada Chapaco	8-12	-28,48611	-71,2706

Monitoreo biota

Tabla 7 – Ubicación de monitoreo POAL de biota en Chapaco

Ubicación	Descripción	Latitud	Longitud
040-B-Ec	Sur Planta Pellets	-28,48765	-71,254



Figura 3 – Ubicación de los monitoreos POAL realizados

2.1.2.1 Monitoreo de agua

Como comentado anteriormente, se tuvo acceso a 4 bases de datos de monitoreos de agua realizados los años 2014 a 2017 con un evento anual realizado el 2014 (16/12/2014), 2015 (03/11/2015) y 2016 (31/05/2016) y tres eventos el 2017 (03/01/2017, 11/04/2017 y 11/04/2017).

En estos eventos se muestrearon selectivamente los siguientes analitos: arsénico disuelto, cadmio disuelto, cobre disuelto, mercurio disuelto, plomo disuelto hidrocarburos volatiles, hidrocarburos fijos, hidrocarburos totales, hap's, 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(1,2,3d)pireno, naftaleno, pireno, amonio, nitrato, nitrito, p - fosfato, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, coliformes fecales.

Los datos de todos estos eventos tabulados se presentan en el Anexo 1.

El análisis de los datos muestra que la mayoría de los analitos estuvieron en todos los eventos bajo los niveles de detección del laboratorio, incluyendo compuestos orgánicos tales como hidrocarburos totales e hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAPs).

Los analitos que presentaron niveles detectables son los siguientes:

- Metales y metaloides: arsénico y cobre.
- Iones mayores: nitrato y fosfato.
- Parámetros físicos y otros: sólidos suspendidos, oxígeno disuelto y coliformes fecales.

Los analitos anteriores se evaluarán con respecto a la norma australiana para aguas Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ), 2000, “*Water Quality Guidelines*” de ahora en adelante referida como la “norma australiana”; y valores de referencia indicados por la tesis “*Índice de Calidad de Aguas Costeras para Chile*” de la Universidad de Chile (Calderón, 2019). Con respecto a la norma australiana, se utilizarán valores para la protección del 95% de las especies. Cabe notar que donde no exista un valor normado para agua de mar, se podrá utilizar el valor de agua dulce, o los valores interinos que también aporta la norma australiana (de ser estos aplicables).

A continuación, se presenta una discusión de estos analitos además de gráficos que muestran los promedios por evento de muestreo.

Metales y metaloides

Con respecto a los niveles de arsénico, estos estuvieron bajo el nivel de referencia de la norma australiana para la especie arsénico V (más común) de 13 µg/L con valores máximos de 1,4 µg/L alcanzado en el punto 050-A-Ec (NE Punta Huasco Sur Control) durante el monitoreo realizado el 03/11/2015. El promedio de las concentraciones fue de 1,03 µg/L y la mediana de 1,05 µg/L. No se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito.

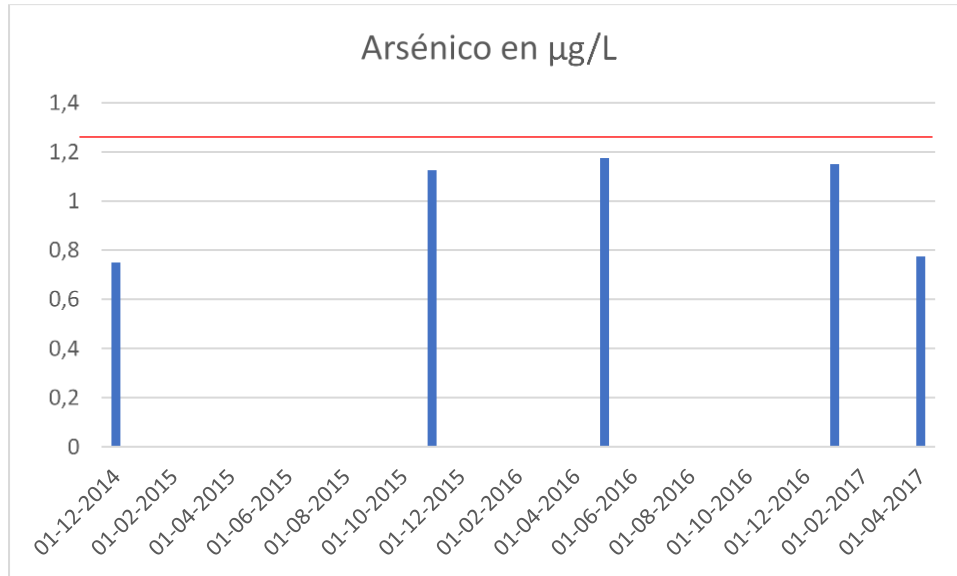


Figura 4 – Resultados de monitoreo POAL de agua para arsénico

Fuente: Elaboración propia

Los niveles de cobre estuvieron en ocasiones sobre el nivel de referencia de la norma australiana de 1,3 µg/L con valores máximos de 3 µg/L alcanzados en el punto 050-A-Ec (NE Punta Huasco Sur Control) en el monitoreo realizado el 03/11/2015, al igual que arsénico. Aparte del caso anterior, se nota el evento de monitoreo realizado el 11/04/2017 donde todos los puntos (salvo 030-A-Ec) estuvieron sobre el nivel de referencia.

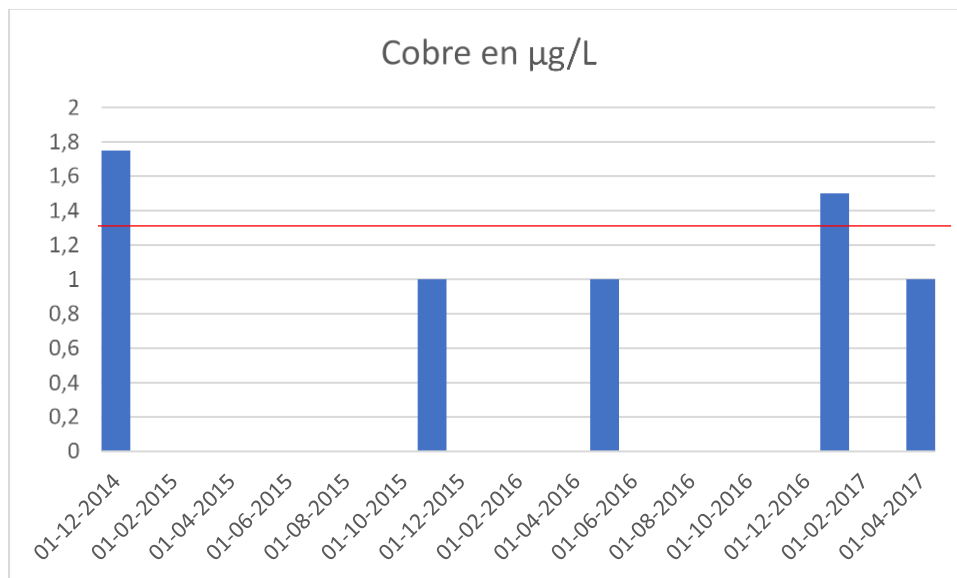


Figura 5 – Resultados de monitoreo POAL de agua para cobre

Fuente: Elaboración propia

iones mayores

Las concentraciones para nitrato estuvieron dentro del nivel considerado “óptimo” (de 0 a 3 mg/L) a “adecuado” (de 3 a 4 mg/L) según lo indicado por Calderón (2019), con un máximo registrado de 3,92 mg/L en el punto 050-A-Ec (NE Punta Huasco Sur Control) en el monitoreo realizado el 31/05/2016 (cabe notar que no se realizó monitoreo el año 2015 para este analito). Existe un *peak* de concentraciones en este mismo año con respecto a otros años, con un promedio de 3,2 mg/L versus un promedio general de 2,42 mg/L. No se observan tendencias espaciales evidentes con respecto a este analito, salvo una leve tendencia a mayores concentraciones en el mismo punto mencionado (050-A-Ec) en todos los años, salvo en el muestreo del 02/11/2017.

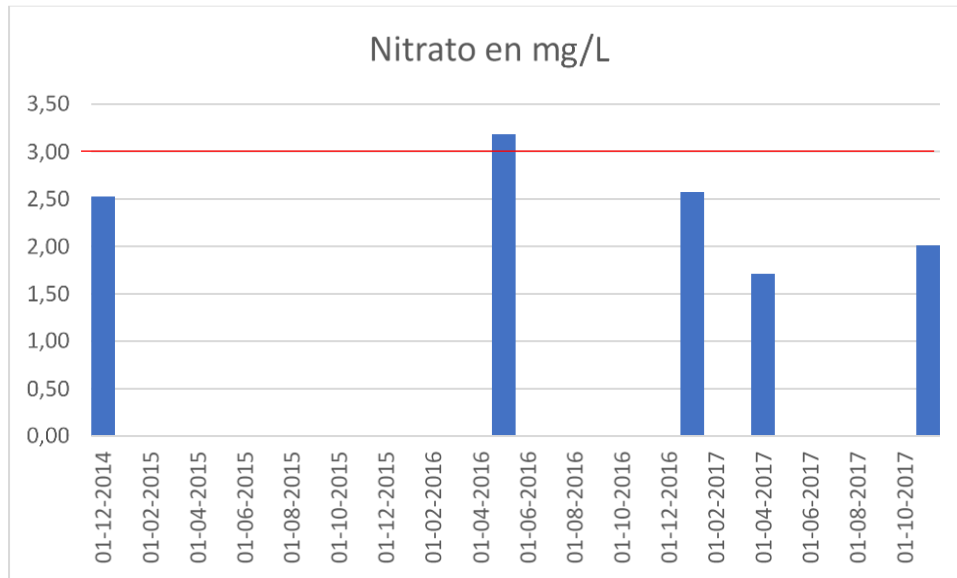


Figura 6 – Resultados de monitoreo POAL de agua para nitrato

Fuente: Elaboración propia

Las concentraciones para fosfatos estuvieron dentro del nivel considerado “aceptable” (de 0,02 a 0,05 mg/L) a “pésima” (mayor a 0,08 mg/L) indicado por Calderón (2019), con un máximo registrado de 3,92 mg/L en el punto 050-A-Ec (NE Punta Huasco Sur Control) en el monitoreo realizado el 11/04/2017 (cabe notar que no se realizó monitoreo el año 2015 para este analito). Existe un *peak* de concentraciones en este mismo monitoreo con respecto a otros, con un promedio de 0,27 mg/L versus un promedio general de 0,09 mg/L. No se observa una tendencia espacial evidente con respecto a este analito, pero sí un aumento sostenido que en el último monitoreo muestra una baja en concentraciones.

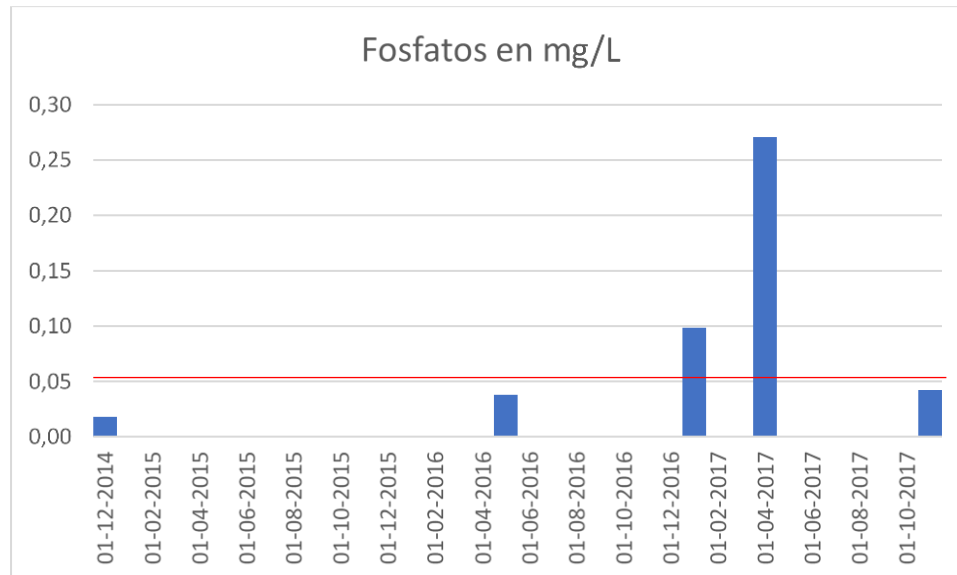


Figura 7 – Resultados de monitoreo POAL de agua para fosfato

Fuente: Elaboración propia

Parámetros físicos

Los parámetros de sólidos suspendidos y oxígeno disuelto fueron medidos esporádicamente. En cuanto a sólidos suspendidos estos variaron de <5 mg/L (menor al límite de detección) a 30 mg/L, con un promedio de 14,92 mg/L, lo que se encuentra dentro de lo indicado como adecuado por Calderón (2019). Por otra parte, el oxígeno disuelto varió de 7 mg/L a <0,1 mg/L, con un promedio de 3,63 mg/L, considerado “inadecuado” por Calderón (2019).

2.1.2.2 Monitoreo de sedimentos

Como comentado anteriormente se tuvo acceso a 5 bases de datos de monitoreos anuales de sedimentos realizados los años 2014 a 2017 y 2019 con los siguientes eventos de monitoreo:

- 16/12/2014: ubicaciones 010-S-Ec y 050-S-Ec
- 03/11/2015: ubicaciones 010-S-Ec y 050-S-Ec
- 31/05/2016: ubicaciones 010-S-Ec y 050-S-Ec
- 02/11/2017: solo ubicación 010-S-Ec
- 11/04/2017: ubicaciones 010-S-Ec y 050-S-Ec
- 09/05/2019: ubicaciones 010-S-Ec y 050-S-Ec
- 12/12/2019: ubicaciones 010-S-Ec, 020-S-Ec y 050-S-Ec

En estos eventos se muestrearon selectivamente los siguientes analitos: arsénico total, mercurio total, cadmio total, cobre total, plomo total, cromo total, HV C5-C10, HF C34-C50, hidrocarburos totales, xileno, pentaclorofenol, HAP'S, fósforo total, nitrógeno total Kjeldahl, materia orgánica, carbono orgánico total,

fango, arena muy fina 0.063mm, arena fina 0.125mm, arena media 0.25mm, arena gruesa 0.5, arena muy gruesa 1.0mm, grava muy fina 2.0mm.

Adicionalmente en los eventos de muestreo del 2019 se evaluaron compuestos HAPs los que incluyeron: 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.

Los datos de todos estos eventos tabulados se presentan en el Anexo 2.

Análisis de los datos muestra que los siguientes analitos estuvieron bajo el nivel de detección:

- Metales/metaloideos: Cadmio
- Hidrocarburos totales
- Xilenos
- Pentaclorofenol
- HAPs

Los analitos se evaluaron con respecto a la norma australiana para sedimentos Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ), 2000, “*sediment quality guidelines*” de ahora en adelante referida como la “norma australiana para sedimentos”. La norma australiana para sedimentos contempla dos niveles de riesgo en orden ascendente: el ISQG-L que representa un nivel donde podría haber efectos a la biota, y el ISQG-H donde habrá probablemente efectos a la biota.

A continuación, se presenta una discusión de los analitos detectados además de gráficos que valores por estación por evento de muestreo.

Metales y metaloides

Con respecto a los niveles de arsénico, estos estuvieron sobre el nivel de referencia ISQG-L de 20 mg/kg en dos oportunidades (03/11/2015 y 02/11/2017) ambos en la ubicación 010-S-Ec (Ensenada Chapaco) con 32,80 mg/kg y 22,60 mg/kg respectivamente. Se observa una clara tendencia a mayores concentraciones en esta ubicación con respecto al punto de 050-S-Ec (NE Punta Huasco Sur control). No obstante, también se identifica que los últimos eventos de monitoreo registraron considerablemente menos concentraciones del elemento, con el último evento mostrando niveles bajo detección.

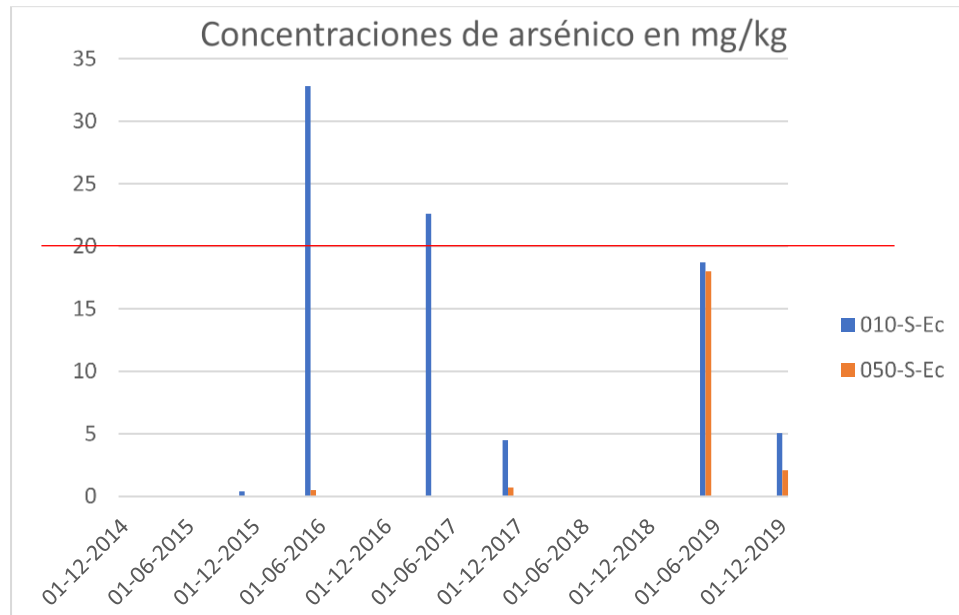


Figura 8 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para arsénico

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los niveles de mercurio, estos estuvieron bajo el nivel de referencia ISQG-L de 0,15 mg/kg en todos los eventos de muestreo, con la mayor parte de los resultados bajo el nivel de detección. El máximo se obtuvo en la ubicación 010-S-Ec con 0,05 mg/kg.

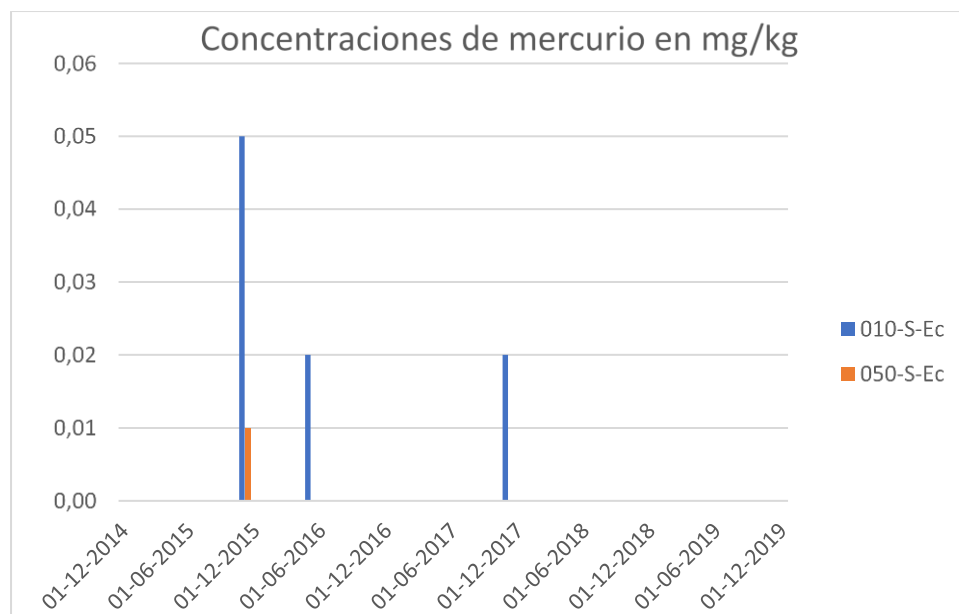


Figura 9 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para mercurio

Fuente: Elaboración propia

Para cadmio, solo se registraron concentraciones medibles en dos ocasiones ambas para la ubicación 050-S-Ec (03/11/2015 y 11/04/2017), las que fueron iguales al nivel de detección 0,01 $\mu\text{g/L}$ por lo que no se consideran relevantes.

Con respecto a los niveles de cobre, estos estuvieron sobre el nivel de referencia ISQG-L de 65 mg/kg en una oportunidad (03/11/2015) en la ubicación 010-S-Ec (Ensenada Chapaco) con 147 mg/kg. De cualquier modo, se observa una clara tendencia a mayores concentraciones en esta ubicación con respecto al punto de 050-S-Ec (NE Punta Huasco Sur control).

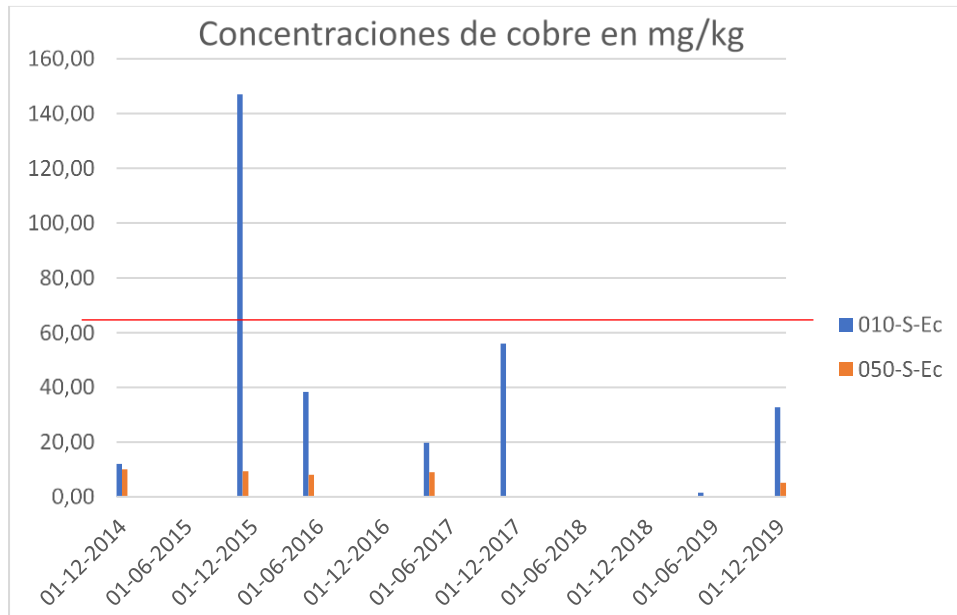


Figura 10 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para cobre

Fuente: Elaboración propia

Para plomo, solo se registraron concentraciones medibles en dos ocasiones para los puntos 010-S-Ec y 050-S-Ec (11/04/2017), de 1,6 mg/kg y 1,5 mg/kg, respectivamente, las que fueron considerablemente menor al nivel ISQG-L de 50 mg/kg por lo que no se consideran relevantes.

Solo se evaluó cromo en el monitoreo realizado el 12/12/2019 donde se encontraron concentraciones menores al ISQG-L de 80 mg/kg. No se notaron diferencias sustanciales entre las ubicaciones monitoreadas.

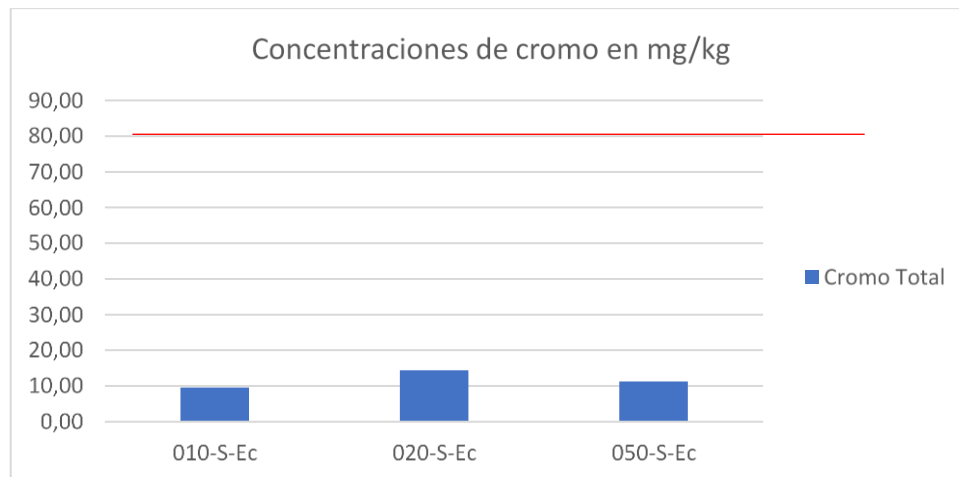


Figura 11 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para cromo
Fuente: Elaboración propia

Orgánicos

En cuanto a hidrocarburos totales, solo se registraron concentraciones medibles en una ocasión en el punto 010-S-Ec con 15 mg/kg. No existe norma para este analito, sin embargo, este valor está cercano al nivel de detección de 10 mg/kg, por lo que no se considera relevante. Adicionalmente, se puede indicar que este resultado coincide con el resultado para hidrocarburos fijos que van de los 34 a 50 carbonos, lo que indicaría que corresponde a una mezcla degradada.

Nutrientes

Con respecto a los niveles de fósforo, estos no tienen nivel de referencia en sedimentos, sin embargo, se observa una clara tendencia a considerables mayores concentraciones en el punto 010-S-Ec (máximo de 4886,87 mg/kg y promedio de 1029 mg/kg) con respecto al punto más alejado 050-S-Ec (máximo de 612 mg/kg y promedio de 167 mg/kg).

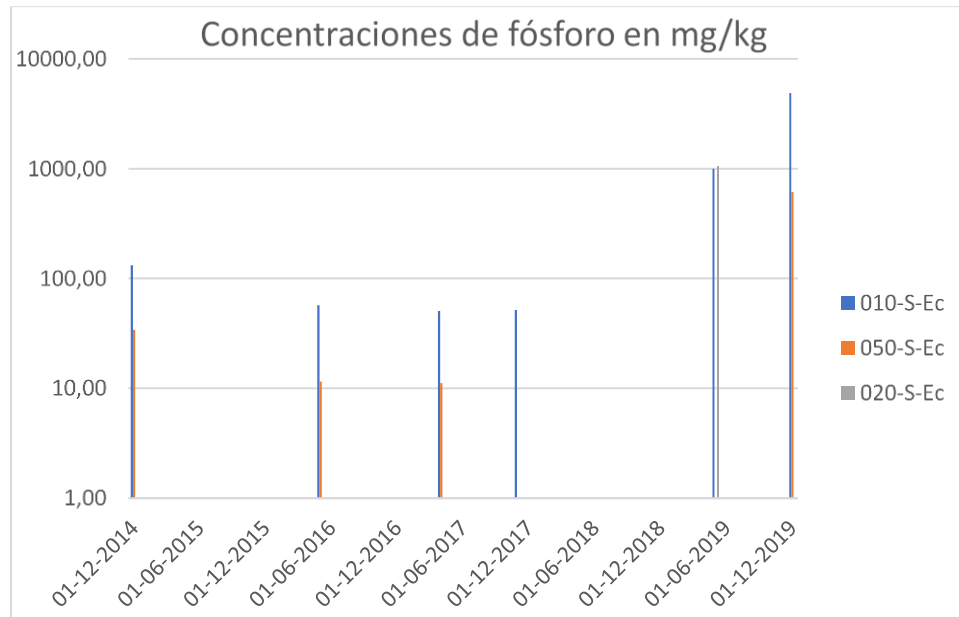


Figura 12 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para fósforo
 * Notar escala logarítmica en eje vertical. Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los niveles de nitrógeno, estos no tienen nivel de referencia en sedimentos. No se observa una tendencia a mayores concentraciones en un punto versus otro, así como tampoco una tendencia clara en el tiempo, manteniéndose estos relativamente constantes.

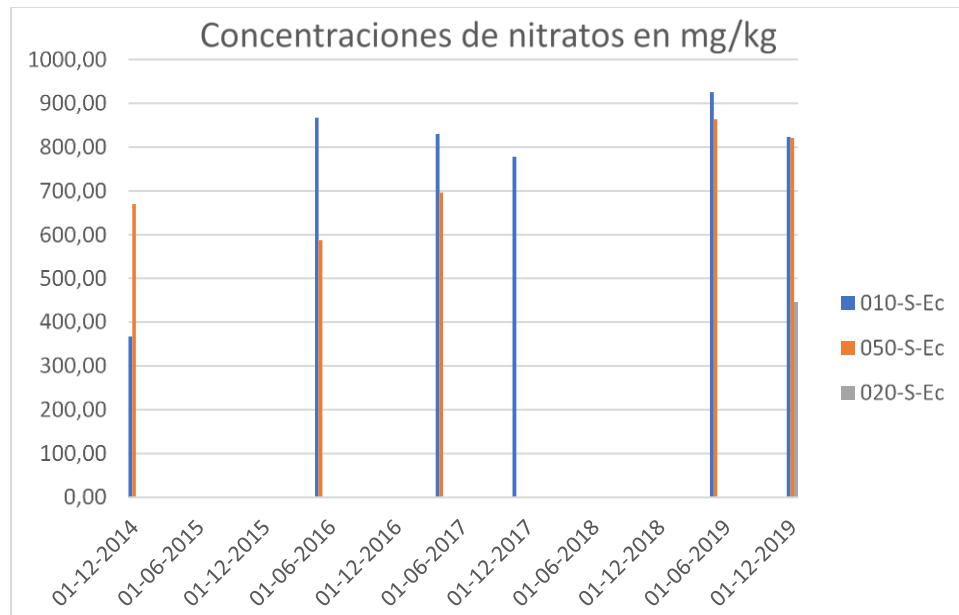


Figura 13 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para nitratos
 Fuente: Elaboración propia

No existe norma con respecto a la materia orgánica, como tampoco se observa una variación considerable entre puntos de monitoreo ni temporal. Esta ronda alrededor de 2,1% para todos los puntos, con un máximo registrado de 3,5% registrado en la ubicación 050-S-Ec el 03/11/2015.

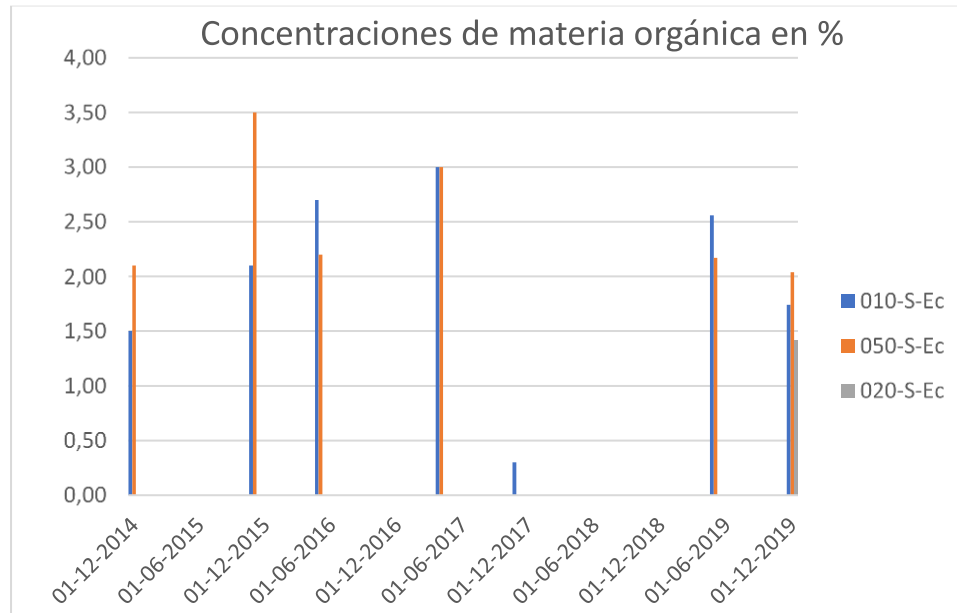


Figura 14 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para materia orgánica
Fuente: Elaboración propia

Granulometría

En cuanto a la granulometría, en el punto 010-S-Ec esta presentó dominancia de arena media el 2014, para luego ser dominada por fango con arena muy gruesa y grava muy fina. El punto 050-S-Ec presentó dominancia de arena gruesa y media (años 2014 y 2015) y luego arena muy gruesa y grava muy fina (2016 a 2019). El punto 020-S-Ec, presentó una composición dominada por arena gruesa y arena media (solo hubo un evento de muestreo para este punto).

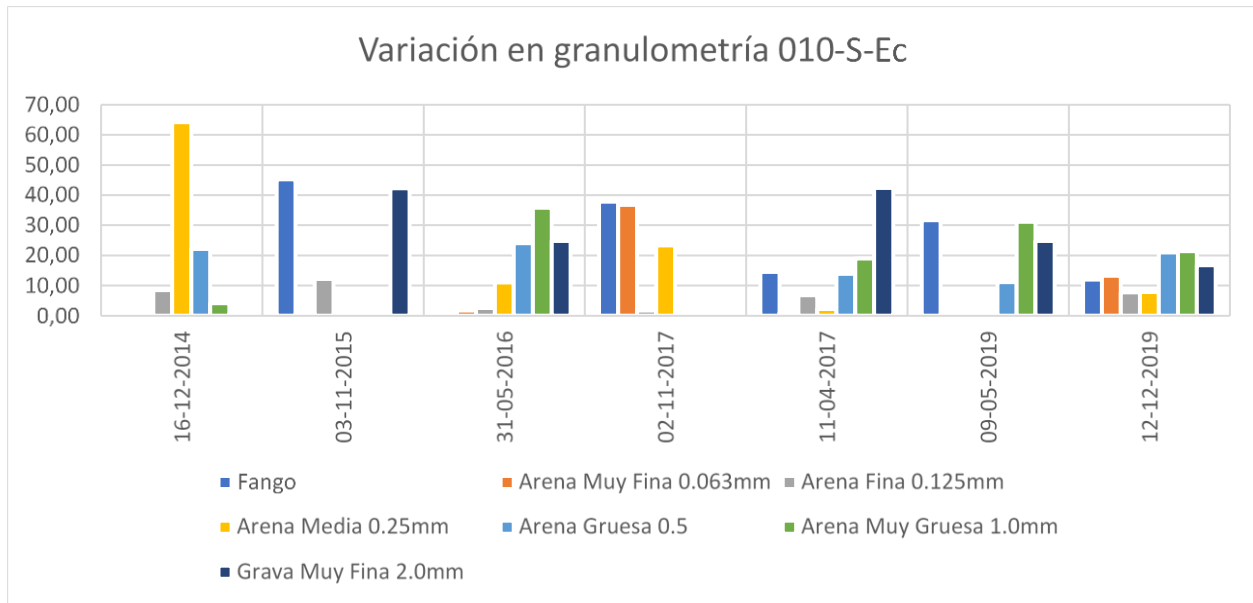


Figura 15 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría muestra 010-S-Ec
Fuente: Elaboración propia

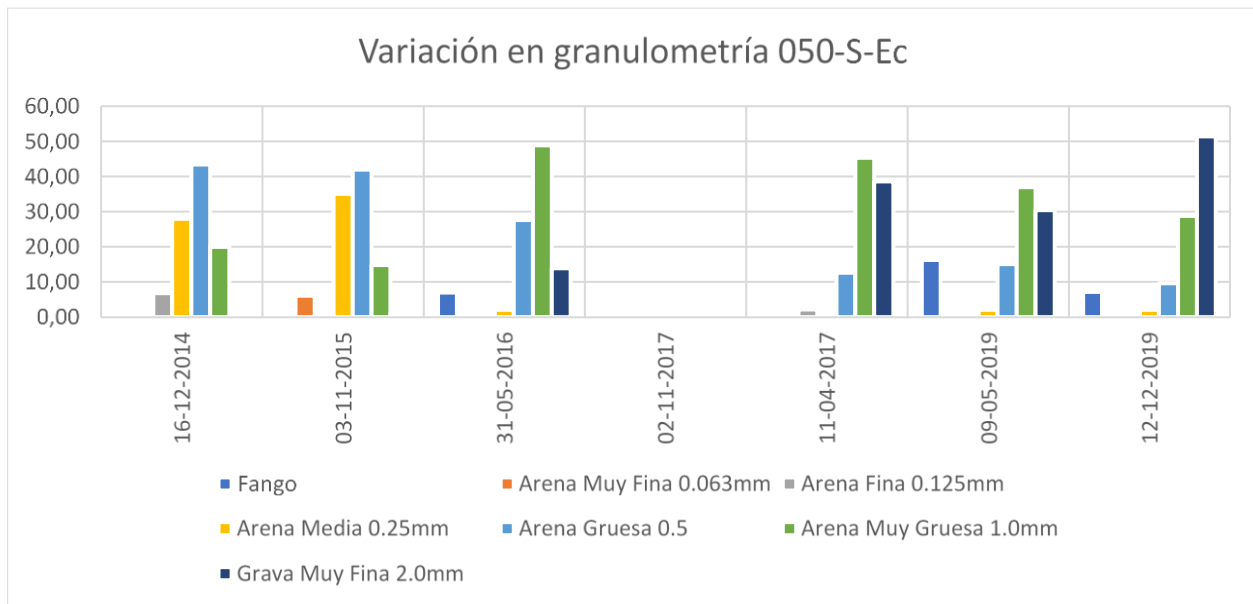


Figura 16 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría muestra 050-S-Ec
Fuente: Elaboración propia

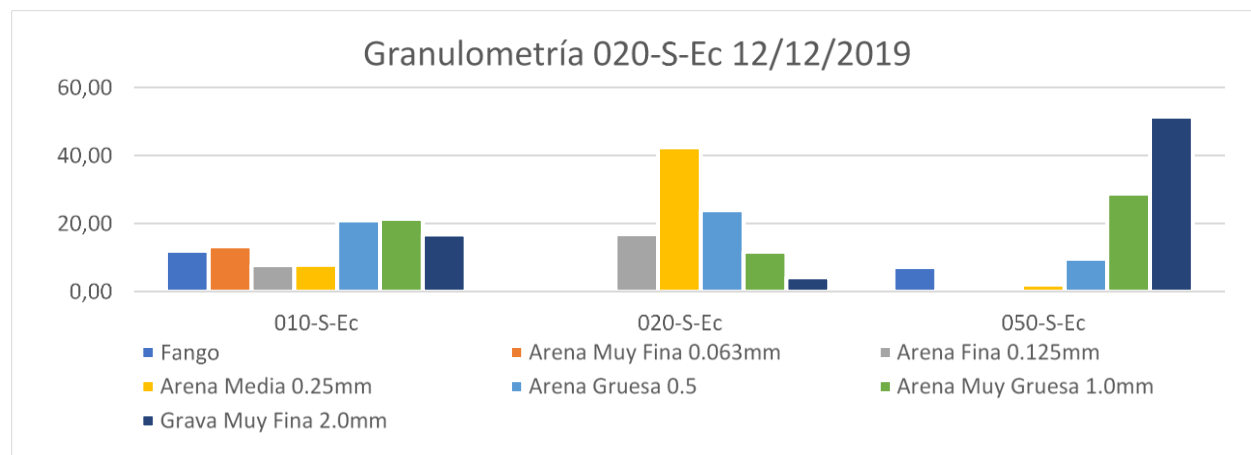


Figura 17 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría muestra 020-S-Ec
Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Monitoreo POAL en bahía de Huasco

El monitoreo parte del POAL de la bahía de Huasco se encuentra disponible en el sitio web de la Directemar y contiene los siguientes datos:

- Monitoreo de matriz agua para los años 1999 a 2011 y 2013 a 2019 (19 bases de datos)
- Monitoreo de matriz sedimento para los años 1999 a 2003, 2005 a 2011 y 2013 a 2019 (18 bases de datos)
- Monitoreo de matriz biota para los años 1999, 2000, 2004, 2006, 2007, 2008 y 2009 (7 bases de datos)

Este monitoreo consta de cinco ubicaciones de muestreo para agua de mar, ubicaciones que no fueron muestreadas con constancia, existiendo años donde no se realizaron muestreos en la totalidad de los puntos. Para la matriz de sedimentos existen 9 ubicaciones de muestreos, al igual que la matriz anterior el muestreo no fue sistemático a través de los años. De forma similar para el muestreo de Biota existen dos ubicaciones, una de ellas con monitoreo sistemático a través de los años, la segunda ubicación no fue constante el muestreo en los años. En la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10 se indican los puntos de monitoreo y sus coordenadas respectivas. En la Figura 18 se indica los puntos de muestreo para las tres matrices.

Monitoreo agua

Tabla 8 – Ubicación de monitoreo POAL de agua en Huasco

Punto de monitoreo	Referencia	Latitud	Longitud
010-A-Hu	Playa Grande Control	-28,43472	-71,20361
020-A-Hu	Desembocadura Río Huasco	-28,438889	-71,203611
050-A-Hu	Descarga Guacolda	-28,464167	-71,258889
065-A-Hu	Norte Muelle Guacolda II	-28,46684	-71,25063
070-A-Hu	Muelle Guacolda 2	-28,468333	-71,248889

Monitoreo sedimentos

Tabla 9 – Ubicación de monitoreo POAL de sedimentos en Huasco

Ubicación	Descripción	Profundidad (m)	Latitud	Longitud
010-S-Hu	Playa Grande	0 - 10	-28,434722	-71,203611
020-S-Hu	Desembocadura Río Huasco	0 - 10	-28,438889	-71,203611
030-S-Hu	NE Punta Península Guacolda	0 - 11	-28,461389	-71,254444
040-S-Hu	Islote Panulcillo	0 - 11,6	-28,4625	-71,231944
045-S-Hu	Planta Elevadora Agua Chañar	0 - 11	-28,46417	-71,2325
050-S-Hu	Descarga Guacolda	0 - 10	-28,464167	-71,258889
060-S-Hu	Aducción Guacolda	10	-28,46438	-71,25277
065-S-Hu	Norte Muelle Guacolda II	10 - 13	-28,46684	-71,25063
070-S-Hu	Muelle Guacolda 2	0 - 13	-28,468333	-71,248889
090-S-Hu	Punta Loros	0 - 12	-28,469167	-71,239167

Monitoreo biota

Tabla 10 – Ubicación de monitoreo POAL de biota en Huasco

Ubicación	Descripción	Latitud	Longitud
060-B-Hu	Descarga Guacolda	-28,465278	-71,258889
080-B-Hu	Norte Muelle Fiscal	-28,468611	-71,250556

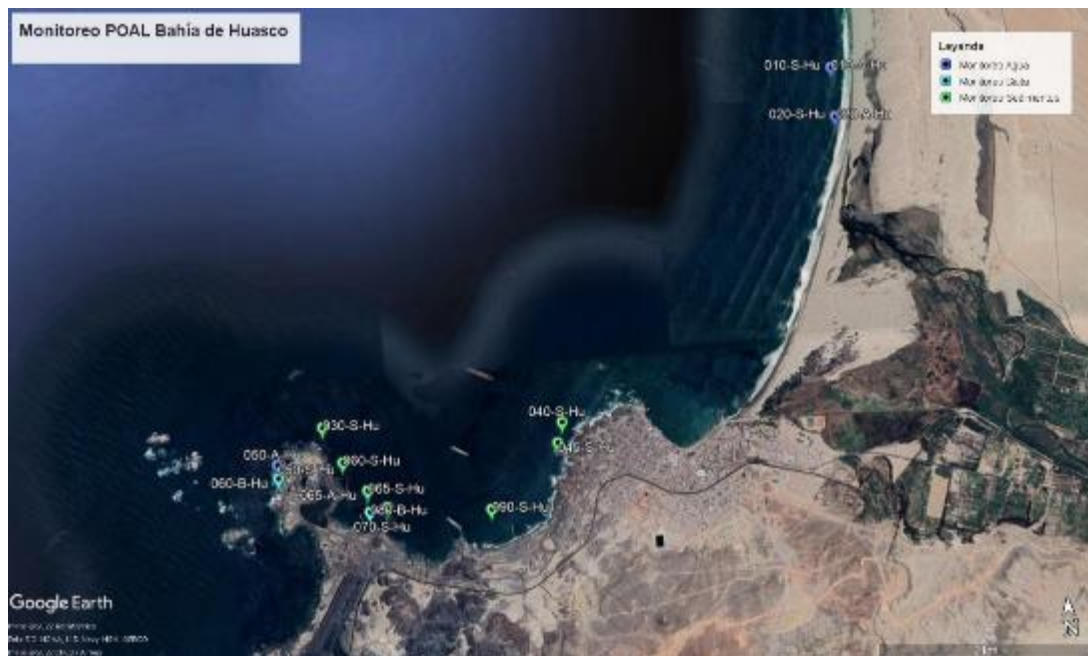


Figura 18 – Ubicación de los monitoreos POAL realizados en Huasco

2.1.3.1 Monitoreo de agua

Como se comentó anteriormente, se tuvo acceso a 19 bases de datos de monitoreos de agua realizados entre los años 1999 y 2019, exceptuando los años 2012 y 2018. Cada año tiene el registro de al menos dos mediciones a excepción de los años 2013 y 2016 donde se realizó solo una medición. Para el año 2017 se realizaron 3 eventos de medición.

En estos eventos se muestrearon los siguientes analitos de forma no consistente a lo largo de los años: aceites y grasas, acenafteno, acenaftileno, amonio, antraceno, arsénico disuelto, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, benzo(k)fluoranteno, cadmio disuelto, cadmio total, cobre disuelto, cobre total, coliformes fecales, criseno, cromo disuelto, cromo total, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, fosfato, fosforo total, HAPs, hidrocarburos fijos, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles, indeno(1 2 3-cd)pireno, mercurio disuelto, mercurio total, naftaleno, nitrato, nitrito, nitrógeno total Kjeldahl, nitrógeno-amonio, nitrógeno-nitrato, oxígeno disuelto, P - fosfato, pireno, plomo disuelto, plomo total, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, zinc disuelto, zinc total.

Los datos de todos estos eventos tabulados se presentan en el Anexo 3. En la presente sección se realiza un análisis de los años 1999, 2003, 2007, 2011, 2015 y 2019.

El análisis de los datos muestra que para los años 2003, 2011, 2015 y 2019 la mayoría de los analitos estuvieron en todos los eventos bajo los niveles de detección del laboratorio o cercano a estos, incluyendo compuestos orgánicos tales como hidrocarburos totales e hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAPs) en los años que fueron medidos.

Algunos analitos de interés con niveles detectables son los siguientes:

- Metales y metaloides: arsénico disuelto, cobre disuelto, cadmio total y zinc total.
- Parámetros físicos y otros: aceites y grasas, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, fosfato y nitrógeno total kjeldahl

Metales y metaloides

Con respecto a los niveles de arsénico disuelto, se registran mediciones para los años 2015 y 2019, en ambos años y en promedio los valores estuvieron bajo el nivel de referencia de la norma australiana para la especie arsénico V (más común) de 13 µg/L con valores máximos de 1,8 µg/L alcanzado en el punto 020-A-Hu (Desembocadura Río Huasco) durante el monitoreo realizado el 03/11/2015. Cabe destacar que para el año 2019 las mediciones de arsénico disuelto no superaron los límites de detección.

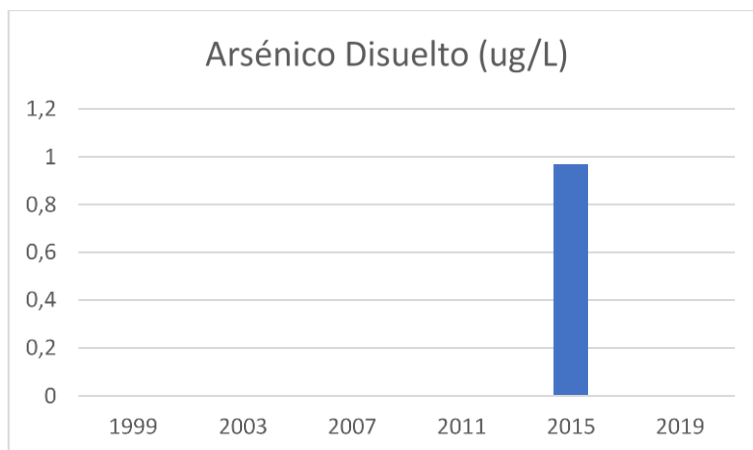


Figura 19 – Resultados de monitoreo POAL de agua promedio anual de mediciones para arsénico disuelto.
Fuente: Elaboración propia

Los niveles de cobre en promedio anual no superan el nivel de referencia de la norma australiana de 1,3 $\mu\text{g/L}$, pero existieron valores máximos de 4,67 $\mu\text{g/L}$ alcanzados en el punto 020-A-Hu (Desembocadura Río Huasco) en el monitoreo realizado el 02/06/2011. Además, cabe destacar que todos los monitoreos realizados el 02/06/2011 se encontraron en valores entre 3,46 y 4,67 $\mu\text{g/L}$. Se destaca por otro lado que las mediciones de cobre disuelto para el año 2019 se encuentran todas bajo los límites de detección.

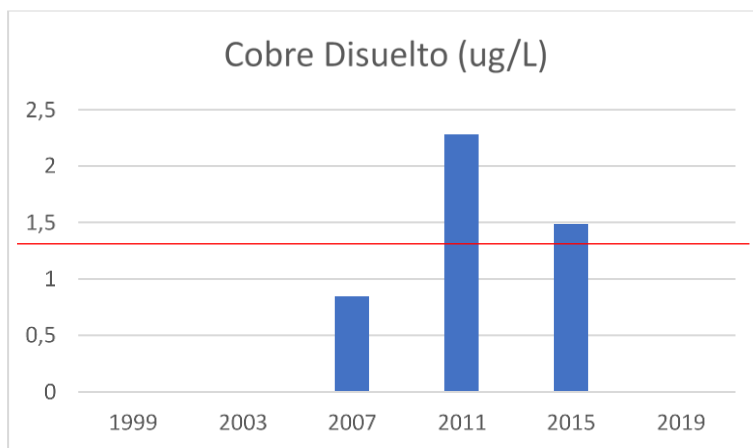


Figura 20 – Resultados de monitoreo POAL de agua, promedio anual de mediciones para cobre disuelto
Fuente: Elaboración propia

Para el caso del cadmio y zinc se observa que en promedio para los años 2003 y 1999, respectivamente, los valores de ambos analitos fueron altos con respecto al resto de la serie. En los monitoreos posteriores los valores disminuyen. Para el caso del Cadmio Total para el año 2011 todos los valores se encontraron bajo los límites de detección. Para el caso del Zinc total se destaca el valor obtenido en el punto 020-A-Hu (Desembocadura Río Huasco) en el día 23/02/1999 donde el valor de zinc total alcanzó los 780,1 $\mu\text{g/L}$.

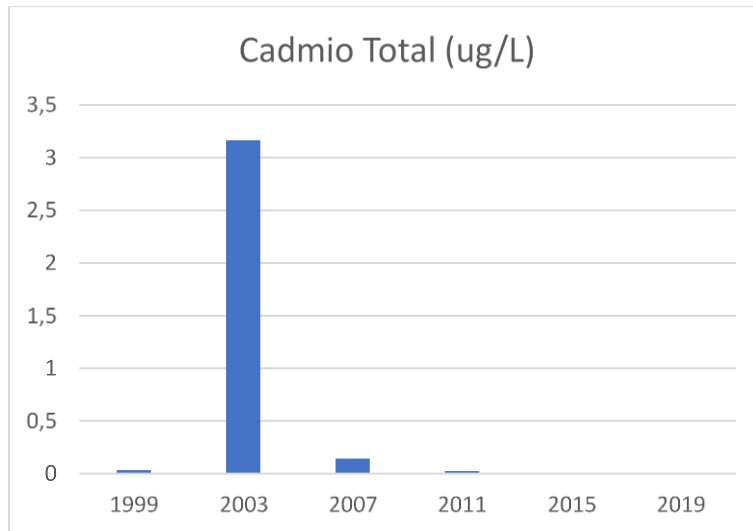


Figura 21 – Resultados de monitoreo POAL de agua, promedio anual de mediciones para cadmio total
Fuente: Elaboración propia

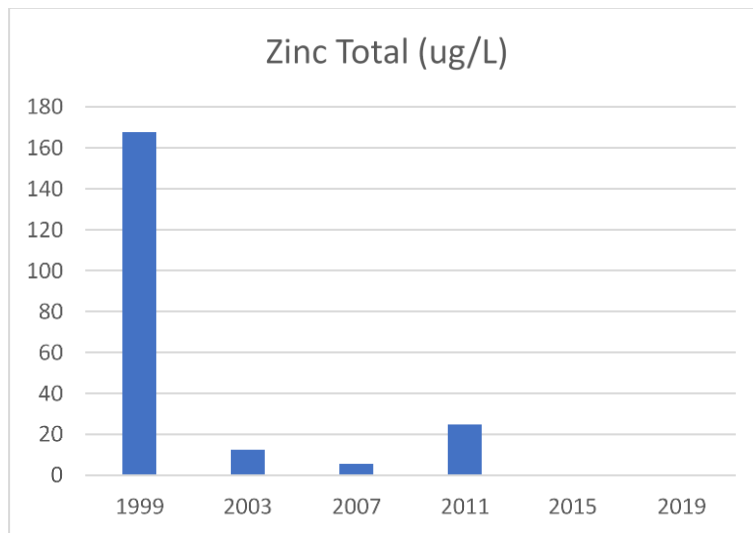


Figura 22 – Resultados de monitoreo POAL de agua, promedio anual de mediciones para zinc total
Fuente: Elaboración propia

Parámetros físicos y otros

El monitoreo de aceites y grasas muestra una tendencia a la disminución hasta el año 2011, para los monitoreos de 2015 y 2019 esta medición no fue realizada. Para el año 2011 los valores se encuentran bajo el límite de detección, se destaca también los altos valores medidos el 23/02/1999.

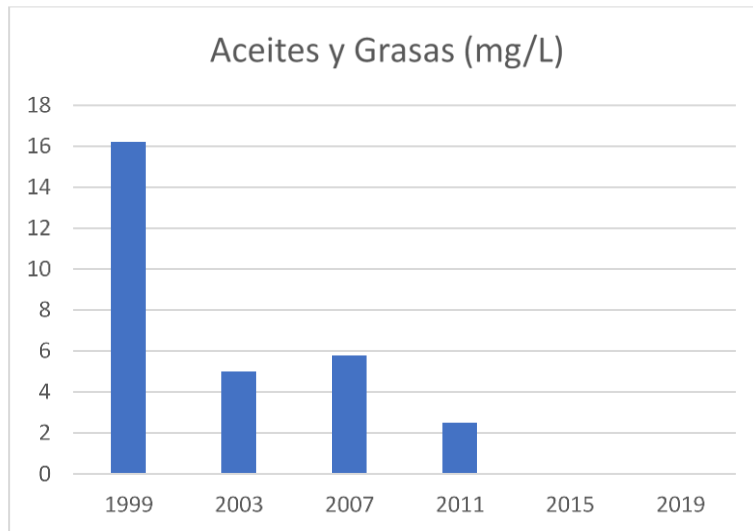


Figura 23 – Resultados de monitoreo POAL de agua para promedio anual de aceites y grasas
Fuente: Elaboración propia

Las concentraciones para nitrógeno total Kjeldahl variaron entre 0,078 y 2,46 mg/l entre los años 1999 y 2011.

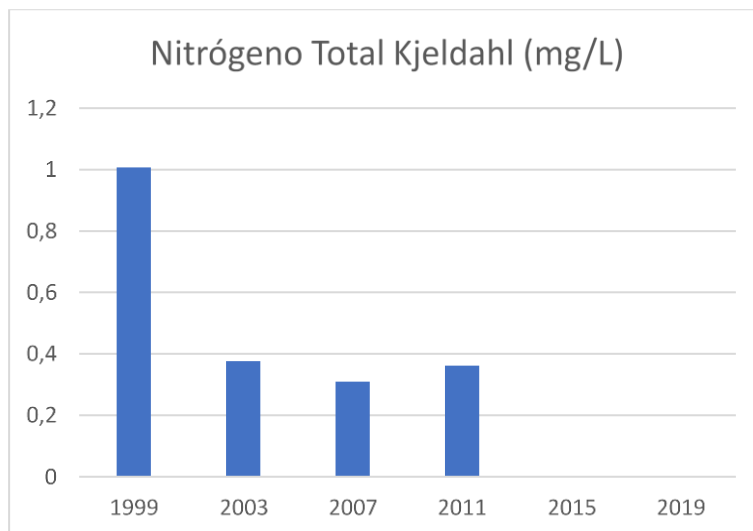


Figura 24 – Resultados de monitoreo POAL de agua para promedio anual de nitrógeno total Kjeldahl
Fuente: Elaboración propia

El fosfato fue medido en los monitoreos entre los años 1999 y 2011. Las concentraciones para fosfatos para los años 2003 y 2011 se encontraron bajo los límites de detección. Y para los años 1999 y 2007 los valores se encontraron levemente por sobre los límites de detección.

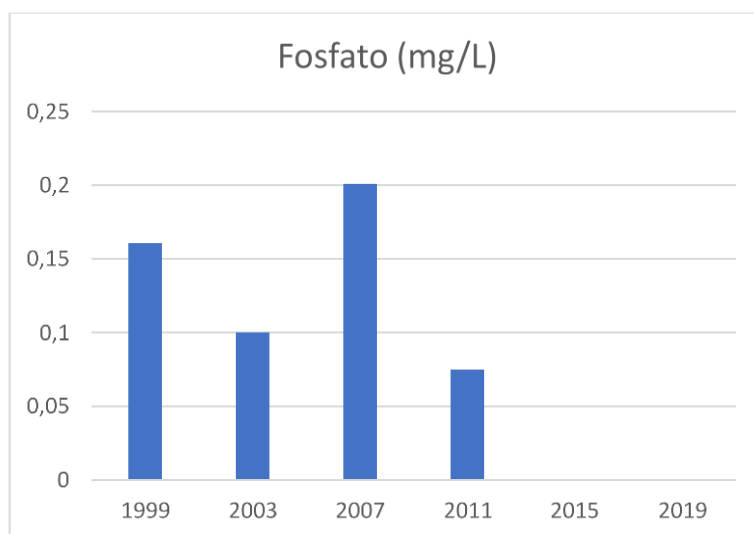


Figura 25 – Resultados de monitoreo POAL de agua para promedio anual de fosfato

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de sólidos suspendidos y oxígeno disuelto fueron medidos para los años 2007, 2011 y 2015. En cuanto a sólidos suspendidos estos variaron de <5 mg/L (menor al límite de detección) a 44 mg/L, con un promedio de 18,06 mg/L para los tres años medidos. Se destaca los valores elevados de sólidos suspendidos en los años 2011 y 2015 con respecto al año 2007. Por otra parte, el oxígeno disuelto varió de 7 mg/L a 8,91 mg/L, con un promedio de 8,13 mg/L.

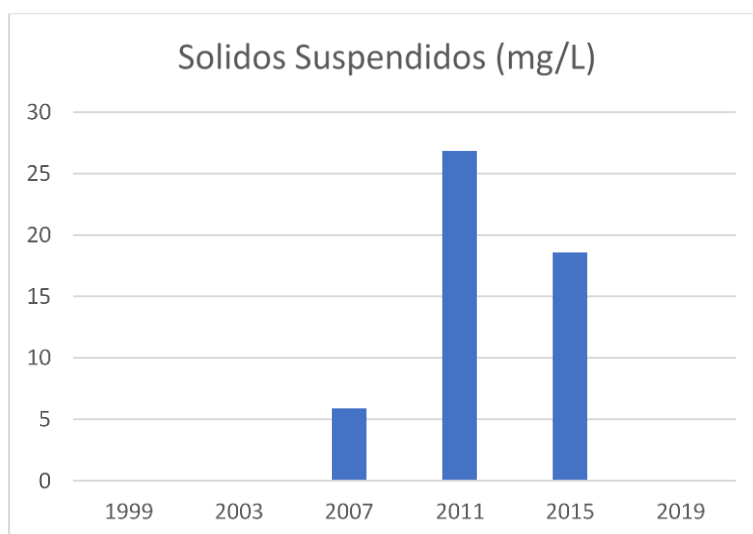


Figura 26 – Resultados de monitoreo POAL de agua, promedio anual de mediciones para sólidos suspendidos

Fuente: Elaboración propia

2.1.3.2 Monitoreo de sedimentos

Como se comentó anteriormente se tuvo acceso a 18 bases de datos de monitoreos anuales de sedimentos realizados entre los años 1999 y 2019. Los monitoreos se realizaron en una totalidad de 10 ubicaciones distintas en el transcurso de 20 años de monitoreo, estas ubicaciones no fueron evaluadas sistemáticamente existiendo años en que no se monitorearon los mismos sectores.

En estos eventos se muestrearon selectivamente los siguientes analitos: acenafteno, acenaftileno, antraceno, arena fina 0.125mm, arena gruesa 0.5, arena media 0.25mm, arena muy fina 0.063mm, arena muy gruesa 1.0mm, arsénico total, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, benzo(k)fluoranteno, cadmio total, carbono orgánico total, cobre total, criseno, cromo total, díbenzo(a,h)antraceno, fango, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, fósforo total, grava muy fina 2.0mm, HAP's, HF c34-c50, hidrocarburos totales, humedad 105c, humedad 35c, HV C5-C10, indeno(1 2 3-cd)pireno, materia orgánica, mercurio total, naftaleno, nitrógeno total Kjeldahl, pcbs, pentaclorofenol, pireno, plomo total, xileno, zinc total. adicionalmente en los eventos de muestreo del 2019 se evaluaron compuestos HAPs los que incluyeron: 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.

Los datos de todos estos eventos tabulados se presentan en el Anexo 4. En la presente sección se realiza un análisis de los años 1999, 2003, 2007, 2011, 2015 y 2019.

El análisis de los datos muestra que para los años 2003, 2007, 2011, 2015 y 2019 la mayoría de los analitos estuvieron en todos los eventos bajo los niveles de detección del laboratorio o cercano a estos.

Algunos analitos de interés con niveles detectables son los siguientes:

- Metales y metaloides: arsénico total, cobre total, cadmio total, cromo total, plomo total y zinc total.
- Parámetros físicos y otros: materia orgánica, granulometría, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total

Metales y metaloides

Con respecto a los niveles de arsénico total fueron medidos solo en 2015 y 2019, demostrando un aumento en las concentraciones monitoreadas, destacando puntos de altas concentraciones como en el Muelle Guacolda 2 para el 12-12-2019 con una concentración de 10,22 mg/kg. En el caso del cobre total este fue medido para los 6 años en evaluación variando entre 0,7 mg/kg y 1196,86 mg/kg, este último valor medido al igual que el arsénico total el día 12-12-2019 en el punto 070-S-Hu correspondiente a Muelle Guacolda 2.

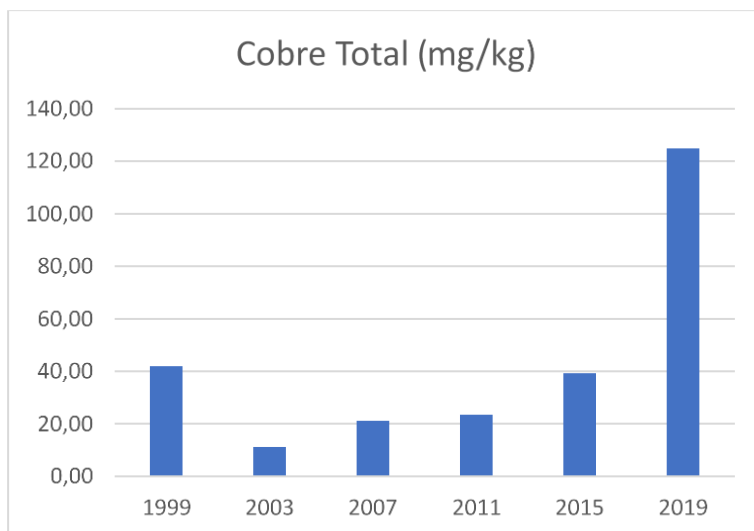


Figura 27 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de cobre total
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los niveles de cadmio total, este fue monitoreado en los 6 años evaluados. Se destaca que principalmente para los años 1999 y 2011 existieron concentraciones sobre los límites de detección que variaron entre 0,32 y 5 mg/kg. Destacando que la máxima concentración se midió en el punto 07-S-Hu el día 15-11-2011 correspondiente a Muelle Guacolda 2.

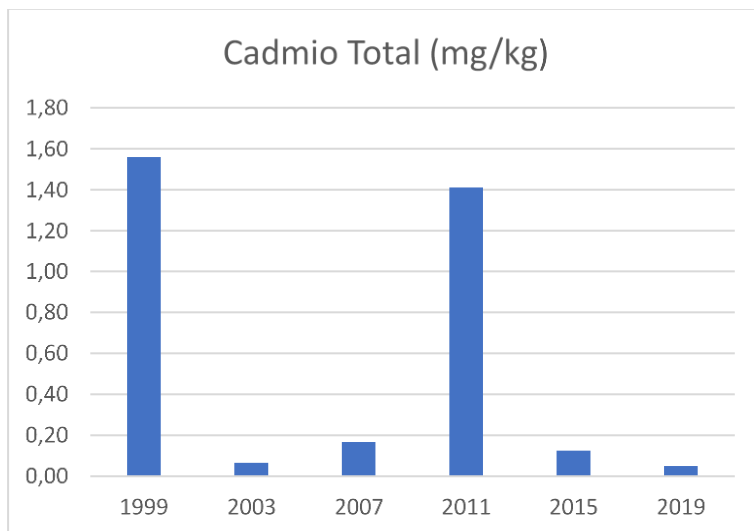


Figura 28 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de cadmio total
Fuente: Elaboración propia

Para el cromo total se realizó monitoreo en 5 años de los 6 evaluados, existiendo concentraciones entre 0.25 y 59.31 mg/kg, este último valor medido el 06-10-1999 en el punto 090-S-Hu Punta Loros.

Para el caso del plomo total, este analito fue medido para los 6 años evaluados, existió una variación de las concentraciones entre 0,25 mg/kg y 36,07 mg/kg. Se destacan las altas concentraciones de plomo durante ambos monitoreos del año 1999, que disminuyeron en los años posteriores.

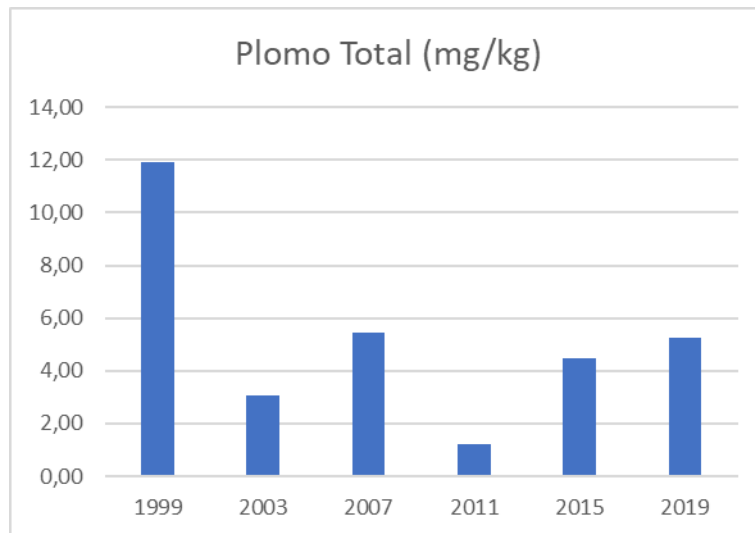


Figura 29 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de plomo total
Fuente: Elaboración propia

Por último, el zinc fue medido para los años 1999, 2003, 2007 y 2011. Se destaca nuevamente las mayores concentraciones zinc que fueron medidas durante el año 1999, concentraciones que disminuyen para los monitoreos realizados en los años posteriores.

Orgánicos

En cuanto a hidrocarburos totales, se registraron concentraciones medibles para los años 1999, 2007, 2011 y en cuatro muestras del año 2015. No existe norma para este analito, sin embargo, existen valores cercanos al nivel de detección de 10 mg/kg, por lo que no se considera relevante. Adicionalmente, se puede indicar que para el punto 090-S-Hu existió en el año 2007 y 2015 valores de 414 y 501 mg/kg de Hidrocarburos Totales, resaltando este punto como de interés frente al resto del monitoreo.

Por otro lado, para el año 2019 se realizaron mediciones de múltiples parámetros orgánicos como 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, pentaclorofenol, pireno y xileno. Solo dos muestras obtuvieron valores por sobre los límites de detección, correspondientes a la muestra obtenida en 065-S-Hu Norte Muelle Guacolda II en 09-05-2019 y la muestra obtenida en 070-S-Hu Muelle Guacolda 2 en 12-12-2019.

Nutrientes

Con respecto a los niveles de fósforo, estos no tienen nivel de referencia en sedimentos, sin embargo, se observa una tendencia a la disminución desde el año 1999 al 2015, en el año 2019 este analito no fue medido.

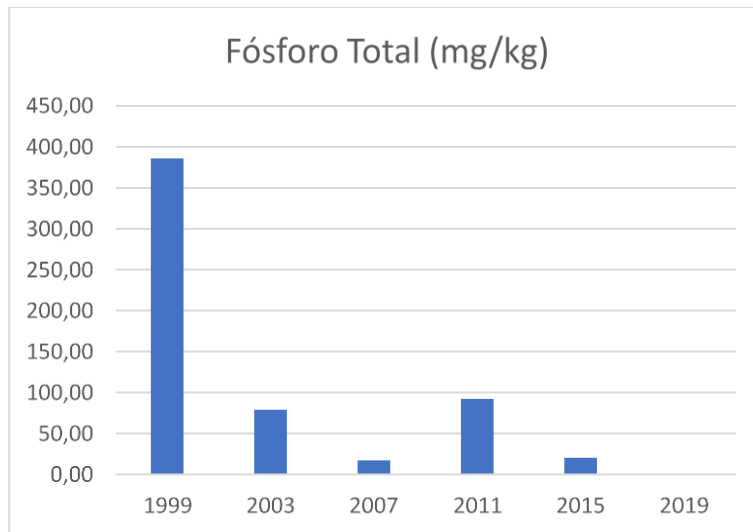


Figura 30 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de fósforo total
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los niveles de nitrógeno total Kjeldahl, no se observa una tendencia a mayores concentraciones a través de los monitoreos anuales, se destaca que existieron mayores concentraciones en el monitoreo del 2011 y que para el año 2019 no se realizó la medición.

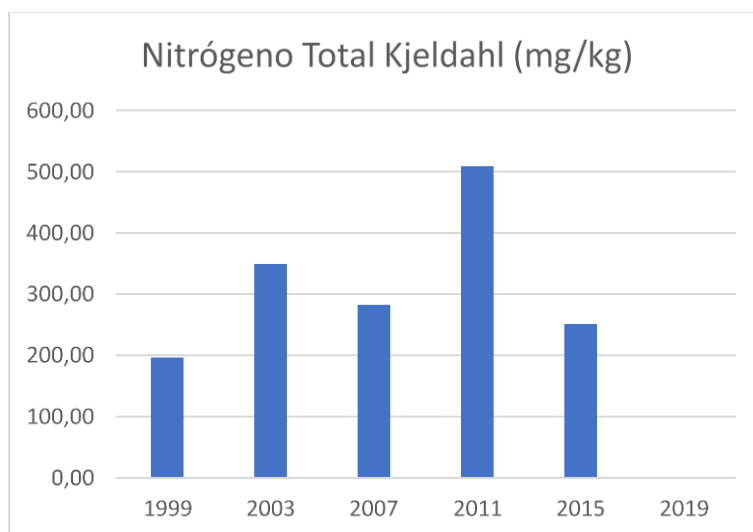


Figura 31 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de nitrógeno total Kjeldahl
Fuente: Elaboración propia

Respecto a la materia orgánica no se observa una variación considerable entre puntos de monitoreo ni temporalmente. Los porcentajes de Materia orgánica variaron entre 0,05% y 9%, siendo este último valor registrado en el punto 090-s-Hu el día 03-11-2015 Punta Loros.

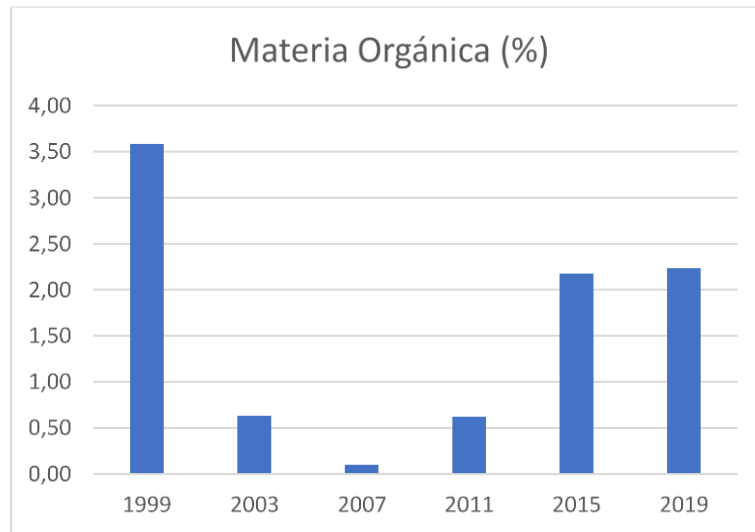


Figura 32 – Resultados de monitoreo POAL de sedimentos para promedio anual de materia orgánica
Fuente: Elaboración propia

Granulometría

En cuanto a la granulometría, se realizaron mediciones en todos los puntos monitoreados para el año 2015 y 2019. Se realizó la comparación entre ambos monitoreos realizados cada año y se adjuntan en la Figura 33 y Figura 34, para el año 2015 y 2019 respectivamente. Para ambos años la variación de granulometría fue considerable pasando desde muestras dominadas por el fango a ser dominadas por la Arena fina 0.125 mm a modo de ejemplo. Se destaca que la muestra obtenida en el año 2019 en el punto 050-S-Hu Descarga Guacolda fue la excepción, manteniendo a lo largo del año porcentajes similares de arena muy gruesa 1.0 mm y grava muy fina 2.0 mm.

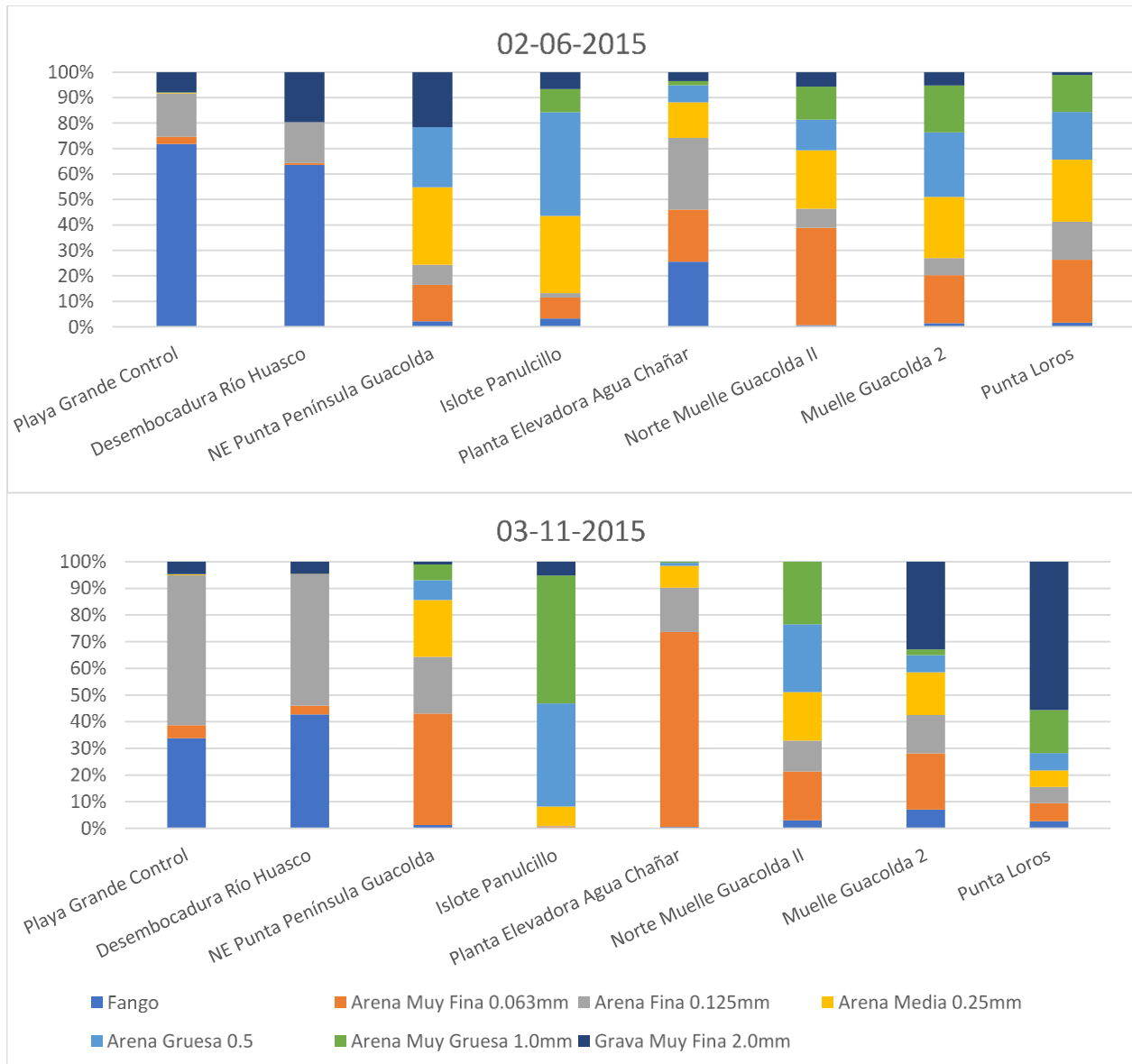


Figura 33 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría año 2015

Fuente: Elaboración propia

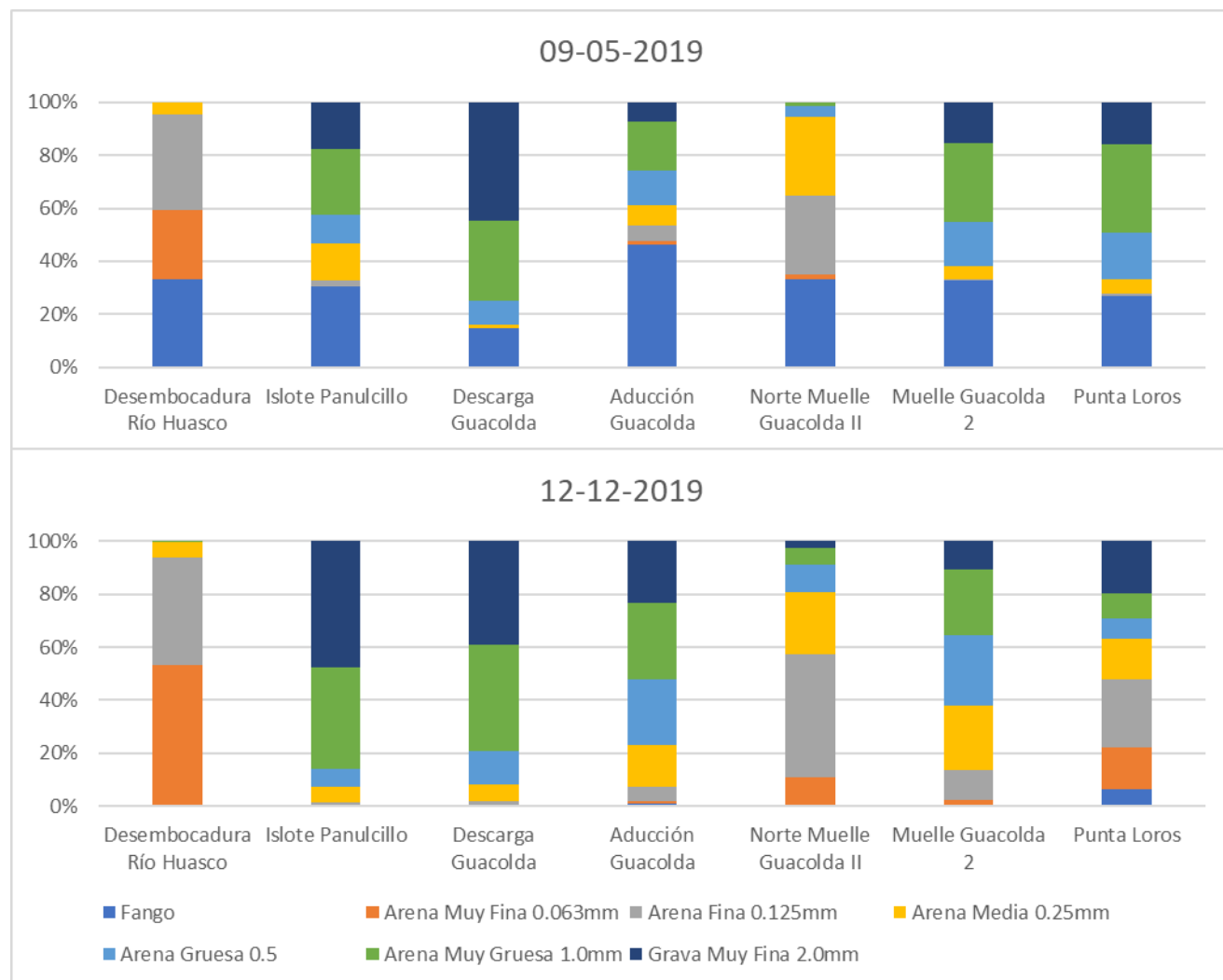


Figura 34 – Resultados de monitoreo POAL de granulometría año 2019
Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) “Depósito submarino de colas de proceso de la planta de pellets de la Compañía Minera del Pacífico S.A. en Huasco”

El Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) “Depósito submarino de colas de proceso de la planta de pellets de la compañía minera del pacifico S.A. en Huasco” realizado por CMP se enmarca dentro de los compromisos adoptados en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N°215 para el proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales en Planta de Pellets” y el cumplimiento del DS.90/2000 que establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales.

Los objetivos del PVA son los siguientes:

- Verificar que las medidas de manejo ambiental sean las adecuadas y suficientes;

- Verificar que el estado de los elementos del medio ambiente evolucione según lo establecido en la evaluación respectiva, y
- Verificar el cumplimiento de las normas ambientales que le son aplicables al Proyecto.

Con respecto a los componentes que afectan el medio marino, se han revisado los informes parte del PVA detallados en la Tabla 11.

Tabla 11 – Informes de Plan de Vigilancia Ambiental

Tipo Informe	Parámetros	Método/Analitos
<i>Mensual</i>	Turbidez agua	Condición diaria aparente (coloración)
	Viento	Velocidad y dirección
	Marejadas	Condición aparente diaria
	Condición meteorológica	Estado del tiempo diario
	Calidad química y física de relaves	Cloruro, fluoruros sulfuros, sulfatos N Kjeldahl, CN-, Fe, V, Al, As, Bo, Cd, Cr, Cr VI, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, T°, pH y EC.
<i>Semestral</i>	Parámetros físicos del agua de mar	Temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y turbidez
	Calidad química del agua de mar	Metales disueltos: As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Pb y Zn
<i>Anual</i>	Corrientes lagrangianas	Tres puntos de lance derivadores
	Viento	Velocidad y dirección
	Turbidez	resumen de monitoreo mensual
	Sedimentación	Observación directa por buceo
	Indicadores biológicos	(a) Estructura de las comunidades intermareales, (b) Patrón de zonación de comunidades submareales, (c) Reclutamiento y características del alga parda <i>Lessonia trabeculata</i> y (d) Estructura de las comunidades de macroinfauna de fondos blandos

Estos informes fueron obtenidos del sitio web del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente para la unidad fiscalizable “CMP-Planta Pellets”⁸.

2.1.4.1 Monitoreo mensual

Los informes de monitoreo mensual, como se indica en la tabla anterior, poseen información sobre condiciones meteorológicas y turbidez de las aguas superficiales; además de las características de la descarga del efluente (caudal y caracterización físicoquímica, comparando con normativa ambiental) y su relación con las condiciones ambientales, a partir de parámetros de extensión del área de aguas turbias y

⁸ <https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable/Ficha/1104>

velocidad del viento. Estos informes incluyen un resumen de los resultados de registro diario de y analizan también la evolución de los parámetros con meses anteriores.

El análisis de lo anterior (turbidez de las aguas, viento, marejadas, condiciones meteorológicas y caracterización del efluente) se vuelve a recopilar en los informes de monitoreo anual, por lo que estos resultados se presentarán en la sección 2.1.3.3.

2.1.4.2 Monitoreo semestral

Monitoreo de agua

Se tuvo acceso a 3 informes semestrales donde se indicó monitoreo de agua para los años 2019 a 2021 con eventos realizados el 2019 (06/12/2019), 2020 (23/04/2020) y 2021 (28/06/2021). Los detalles de los puntos de monitoreo se presentan en la Tabla 12 y un mapa de las ubicaciones en la Figura 35.

Tabla 12 – Ubicación de los puntos de monitoreo del PVA semestral

Punto de monitoreo	Profundidad (m)	Latitud	Longitud
PVACH-1	19	-28.486610°	-71.256577°
PVACH-2	36	-28.486883°	-71.260770°
PVACH-3	58	-28.487268°	-71.265271°
PVACH-4	88	-28.487985°	-71.274192°
PVACH-5	97	-28.489258°	-71.287619°
PVACH-6	125 (123 ⁹)	-28.476785°	-71.289964°
PVACH-7	81 (120 ¹⁰)	-28.500734°	-71.287110°

⁹ Profundidad de 123 m reportada en 2020 y 2021

¹⁰ Profundidad de 120 m reportada en 2020 y 2021



Figura 35 – Ubicación de los puntos de monitoreo del PVA semestral

En estos eventos se muestrearon los siguientes analitos: As disuelto, Ba disuelto, Cd disuelto, Cu disuelto, Cr disuelto, Fe disuelto, Mn disuelto, Hg disuelto, Pb disuelto y Zn disuelto. Los datos de todos estos eventos tabulados se presentan en el Anexo 5.

Adicionalmente se midieron parámetros físicos de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y turbidez.

Metales y metaloides

Los datos mostraron solo un resultado equivalente al nivel de detección (0,0005 mg/L) para mercurio por lo que este metal no se considera relevante. Estos metales no se consideran por lo tanto relevantes desde un punto de vista ambiental.

Los analitos anteriores se evaluaron con respecto a la norma australiana para aguas. Con respecto a la norma australiana, se utilizaron valores para la protección del 95% de las especies.

Con respecto a los niveles de arsénico, estos estuvieron en algunas muestras del 2019 y 2020 sobre el nivel de referencia de la norma australiana para la especie arsénico V (más común) de 13 $\mu\text{g/L}$ con valores máximos de 13,2 $\mu\text{g/L}$ alcanzado para la muestra PVACH-6 (fondo). El promedio de las concentraciones fue de 7,66 $\mu\text{g/L}$. No existe mayor diferencia entre las concentraciones detectadas en muestras superficiales versus las de fondo. No se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito, salvo que las concentraciones reportadas para el periodo 2021 fueron todas menores al nivel de detección.

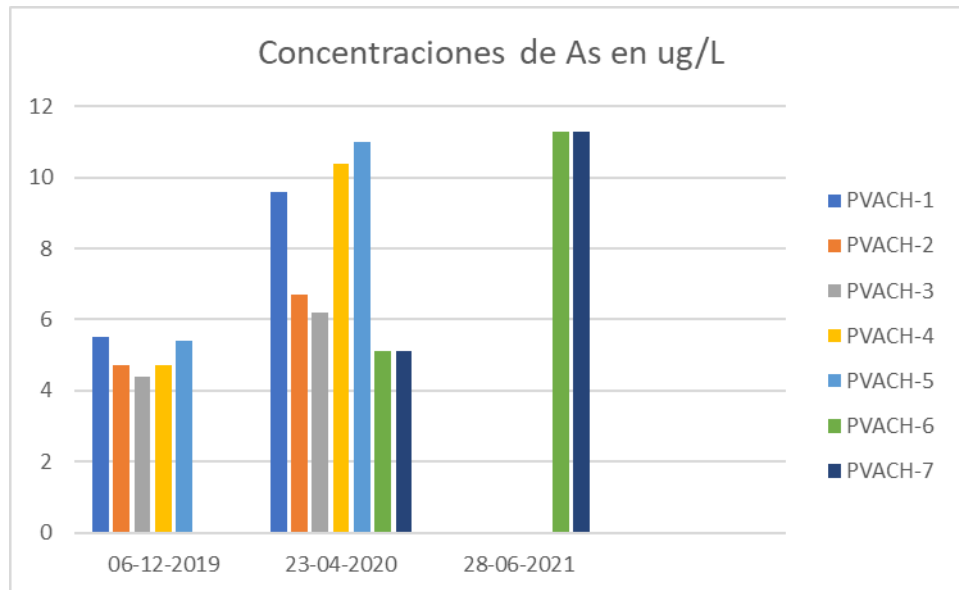


Figura 36 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para arsénico
Fuente: Elaboración propia

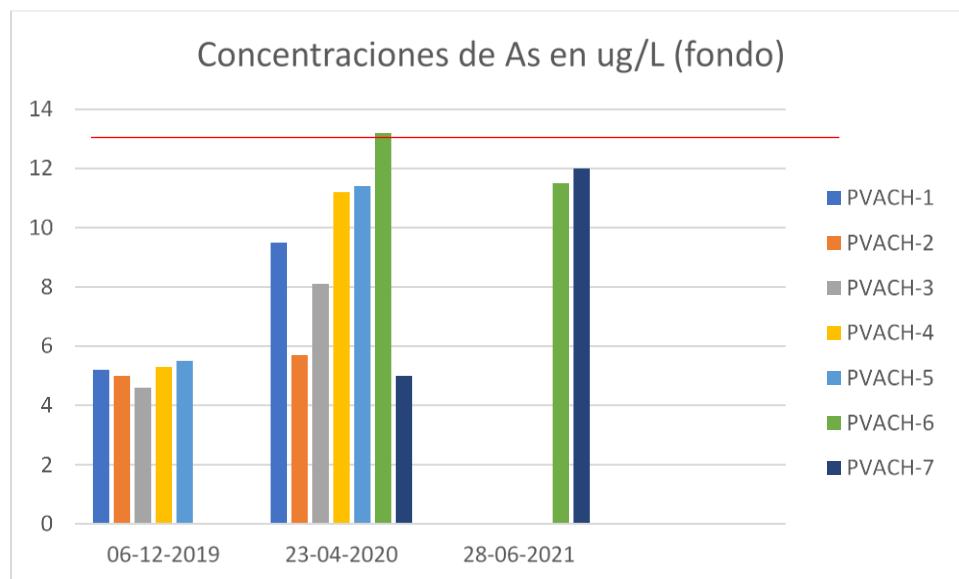


Figura 37 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para arsénico
Fuente: Elaboración propia

No existe nivel de referencia en la norma australiana para el bario. El valor máximo fue de 28,3 $\mu\text{g/L}$ alcanzado para la muestra PVACH-4 (superficie) y el promedio de las concentraciones fue de 6,41 $\mu\text{g/L}$. No existe mayor diferencia entre las concentraciones detectadas en muestras superficiales versus las de fondo. No se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito.

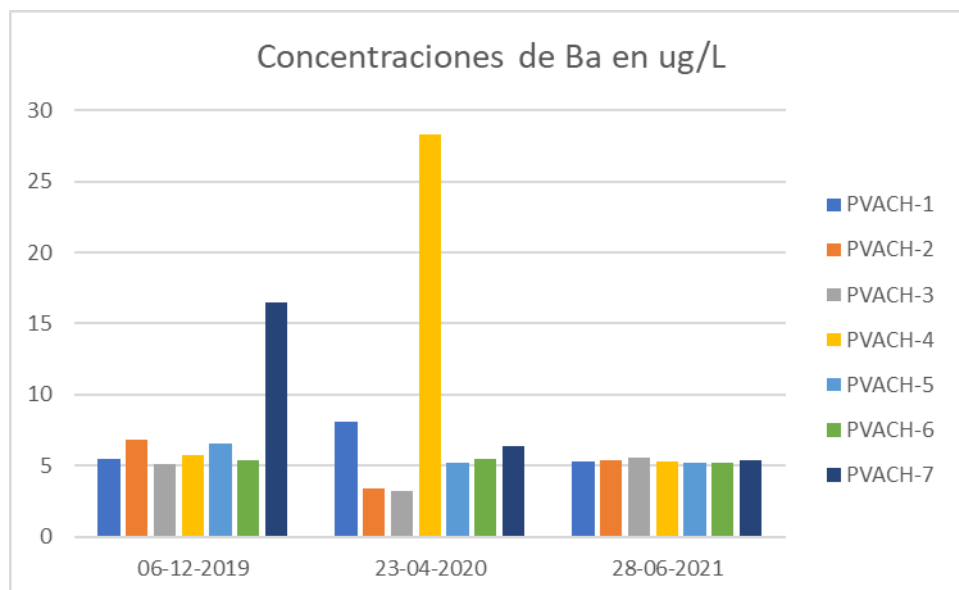


Figura 38 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para bario
Fuente: Elaboración propia

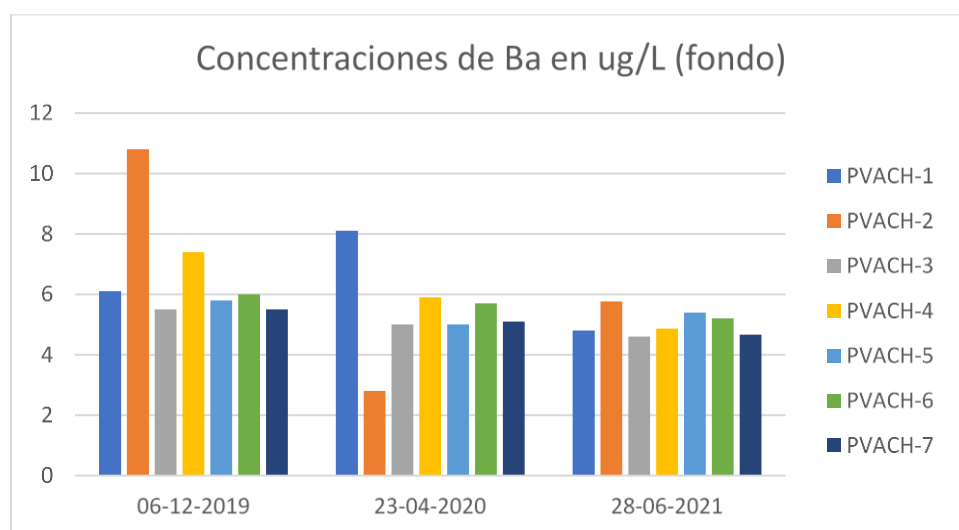


Figura 39 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para bario
Fuente: Elaboración propia

Para cadmio, los datos mostraron resultados bajo el nivel de detección en los años 2019 y 2020 y bajo la norma australiana para aguas de 5,5 µg/L. El máximo reportado fue de 0,3 µg/L y el promedio fue de 0,23 µg/L. No se presentan gráficos para este elemento por carecer de datos significativos.

Con respecto a los niveles de cobre, estos estuvieron generalmente por sobre el nivel de referencia de la norma australiana de 1,3 µg/L con valores máximos de 41,9 µg/L alcanzado para la muestra PVACH-4 (superficie). Se observa que las concentraciones en superficie son algo mayores que las de fondo. Fuera de

lo anterior, no se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito, salvo que las concentraciones reportadas para el periodo 2021 fueron todas menores al nivel de detección.

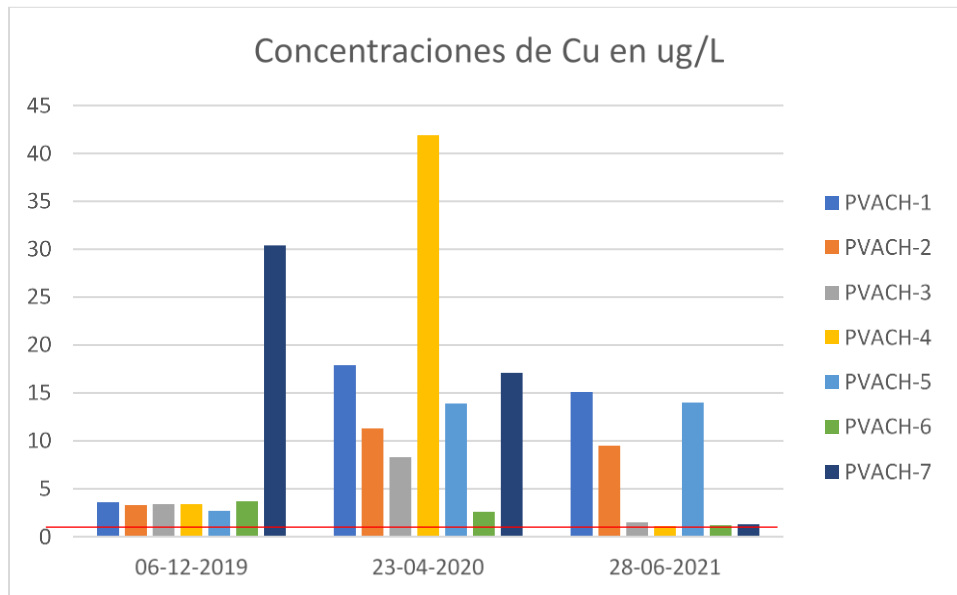


Figura 40 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para cobre
Fuente: Elaboración propia

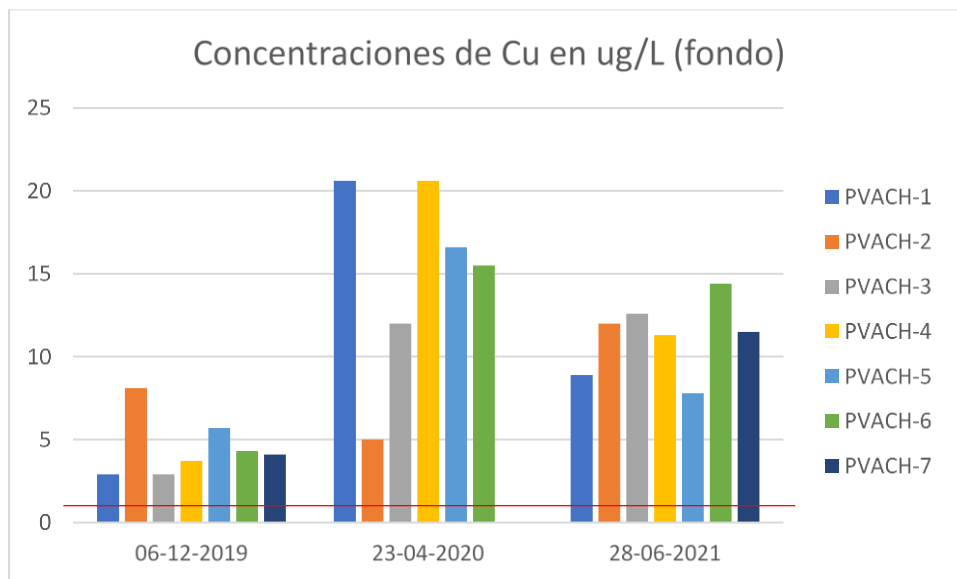


Figura 41 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para cobre
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los niveles de cromo, estos estuvieron solo sobre el nivel de referencia de la norma australiana de 27,4 $\mu\text{g/L}$ en tres oportunidades. El máximo se obtuvo en PVACH-4 (superficie) el 23/04/2020 con un valor de 161,6 $\mu\text{g/L}$. No se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito, salvo que las concentraciones reportadas en muchas ocasiones fueron menores al nivel de detección.

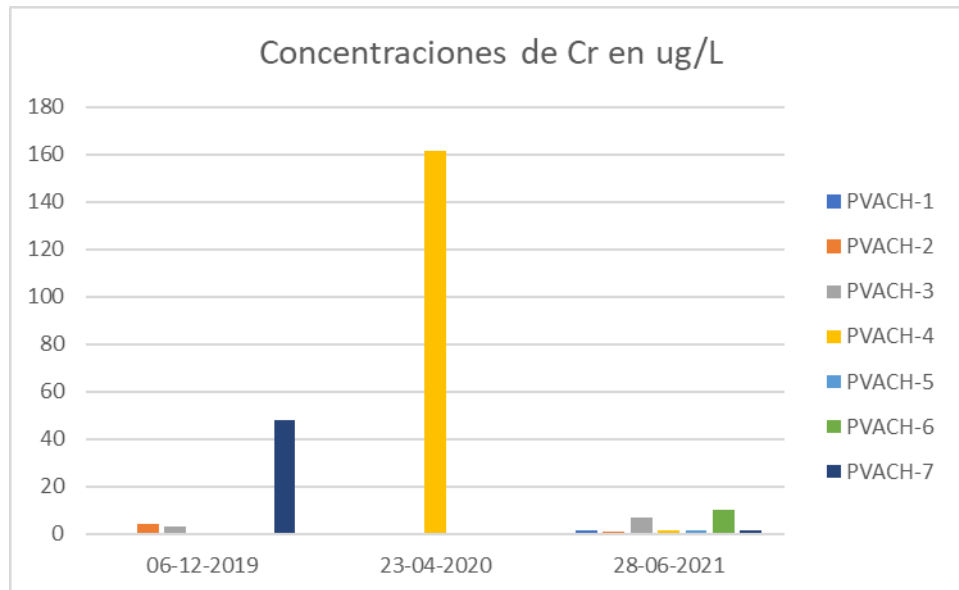


Figura 42 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para cromo
Fuente: Elaboración propia

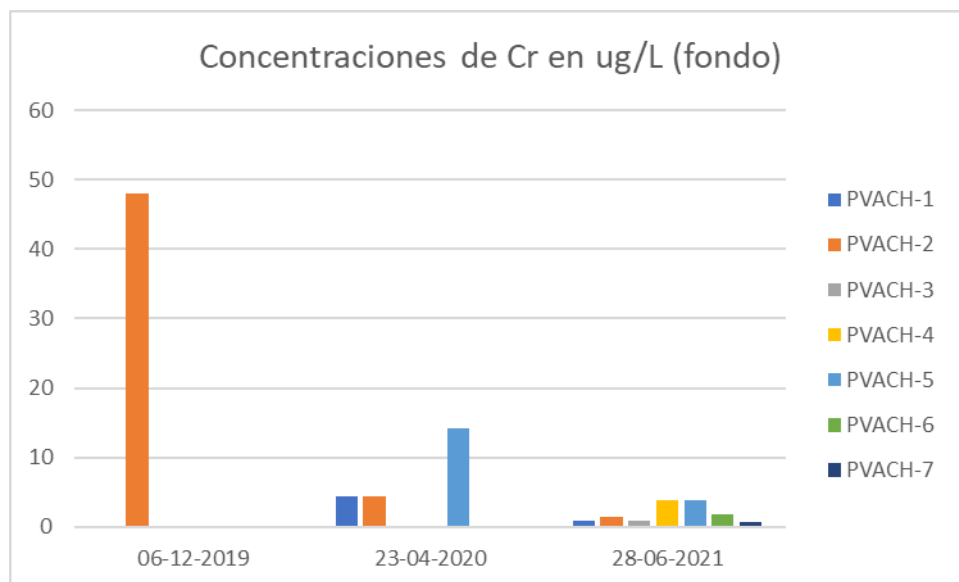


Figura 43 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para cromo
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los niveles de hierro, estos estuvieron solo sobre el nivel de referencia de la norma canadiense de 300 $\mu\text{g/L}$ en cuatro oportunidades. El máximo se obtuvo en PVACH-4 (superficie) el 23/04/2020 con un valor de 3950 $\mu\text{g/L}$. No se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito.

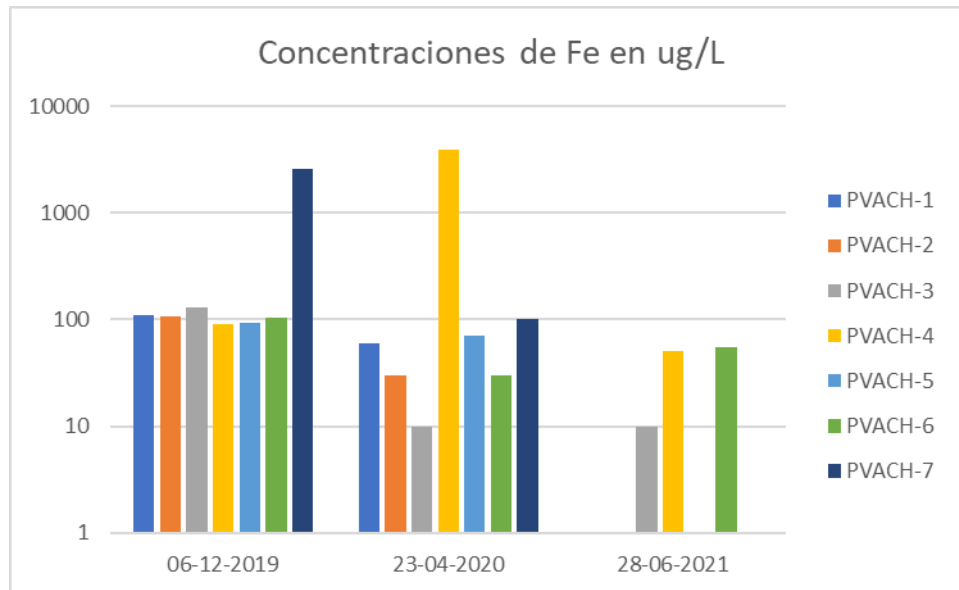


Figura 44 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para hierro
Fuente: Elaboración propia

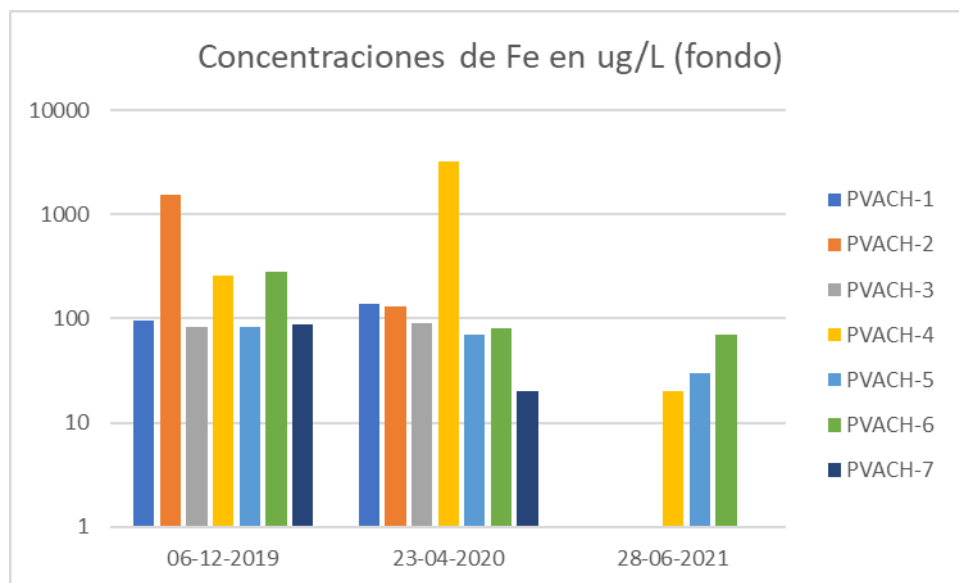


Figura 45 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para hierro
Fuente: Elaboración propia

Para manganeso, los datos mostraron resultados bajo la norma australiana para aguas de 80 $\mu\text{g/L}$. El máximo reportado fue de 74,8 $\mu\text{g/L}$ y el promedio fue de 5,65 $\mu\text{g/L}$. No se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito.

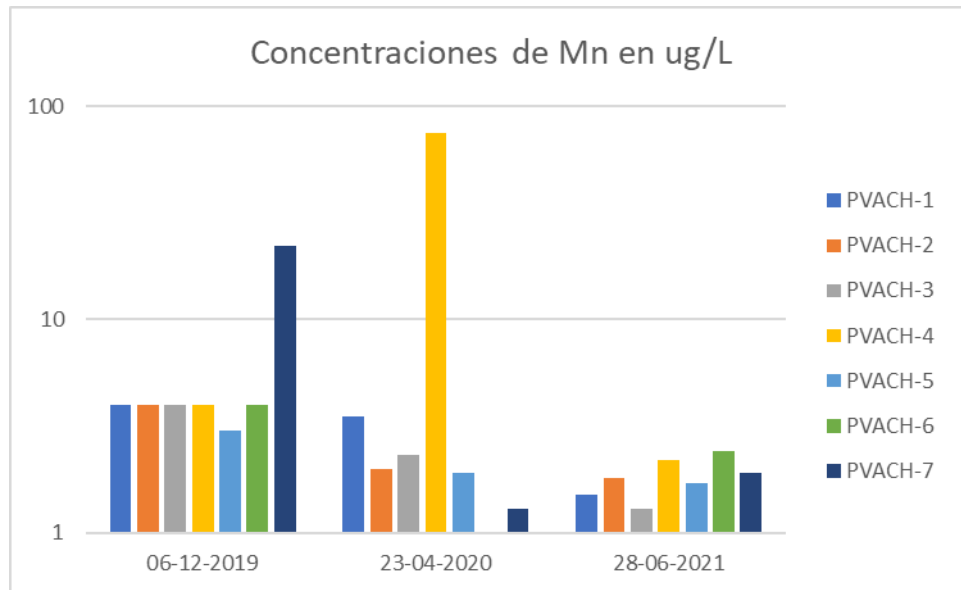


Figura 46 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para manganeso
Fuente: Elaboración propia

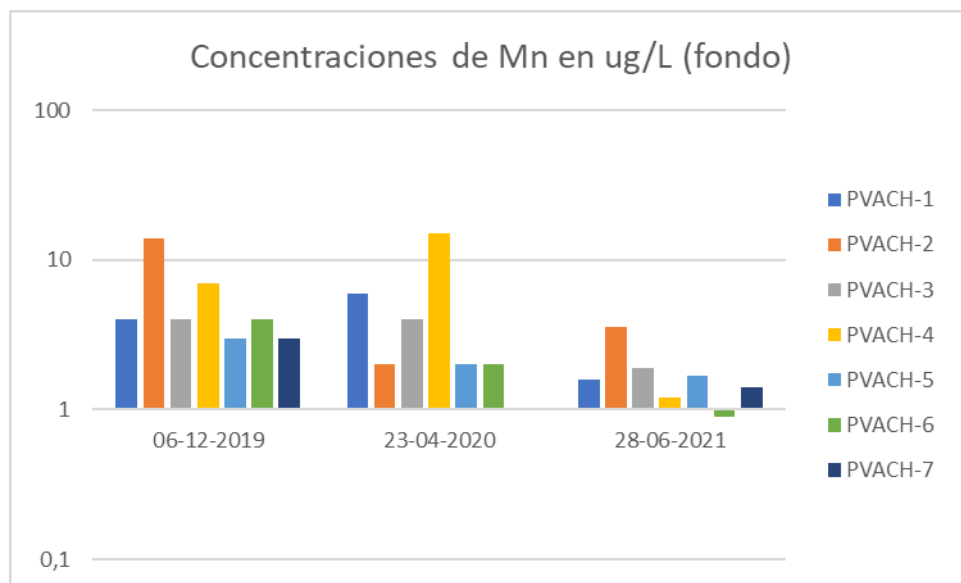


Figura 47 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para manganeso
Fuente: Elaboración propia

Para plomo, los datos mostraron resultados bajo la norma australiana para aguas de 4,4 $\mu\text{g/L}$. El máximo reportado fue de 4,3 $\mu\text{g/L}$ y el promedio fue de 1,69 $\mu\text{g/L}$. No se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito, salvo que los resultados del año 2021 son todos bajo el nivel de detección.

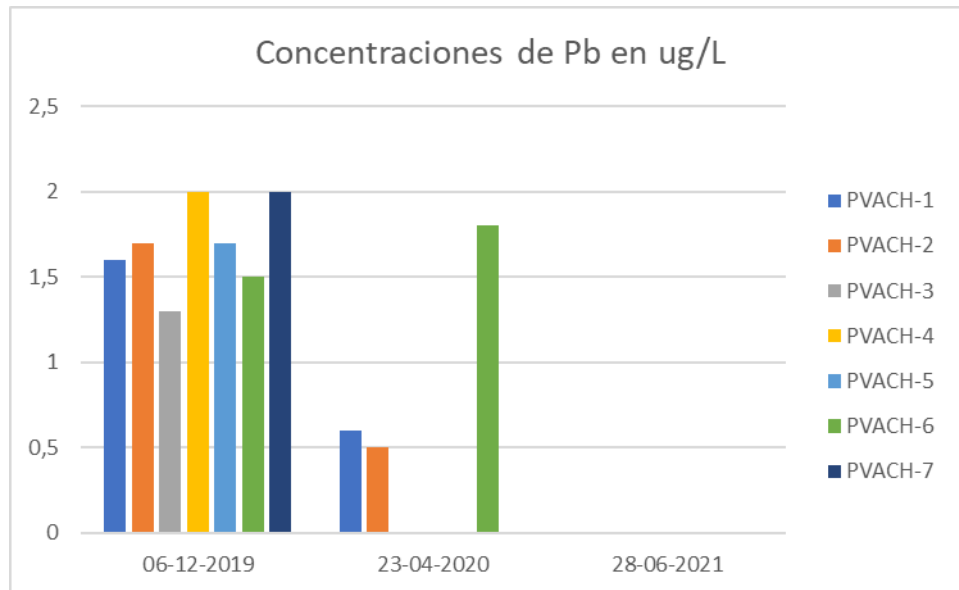


Figura 48 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para plomo
Fuente: Elaboración propia

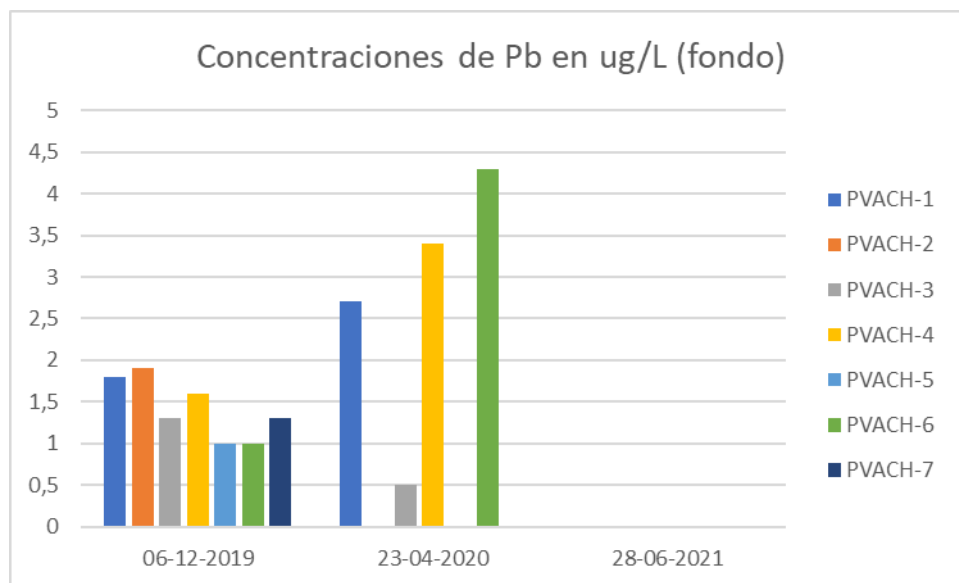


Figura 49 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para plomo
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los niveles de zinc, estos estuvieron sobre el nivel de referencia de la norma australiana de 15 $\mu\text{g/L}$ en todas las muestras del 2021 (tanto superficie como fondo) y en la muestra PVACH-4 del 23/04/2020 que reporto el con un valor de 100 $\mu\text{g/L}$. No se observan tendencias espaciales ni temporales con respecto a este analito, salvo que las concentraciones reportadas para el monitoreo del 2019 y 2020 fueron en general menores al nivel de detección.

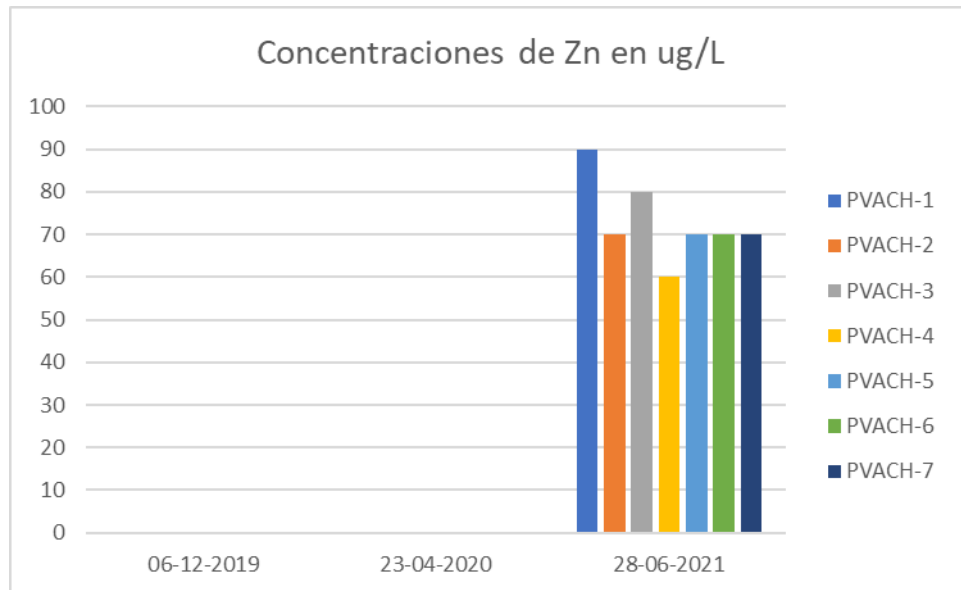


Figura 50 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (superficie) para zinc
Fuente: Elaboración propia

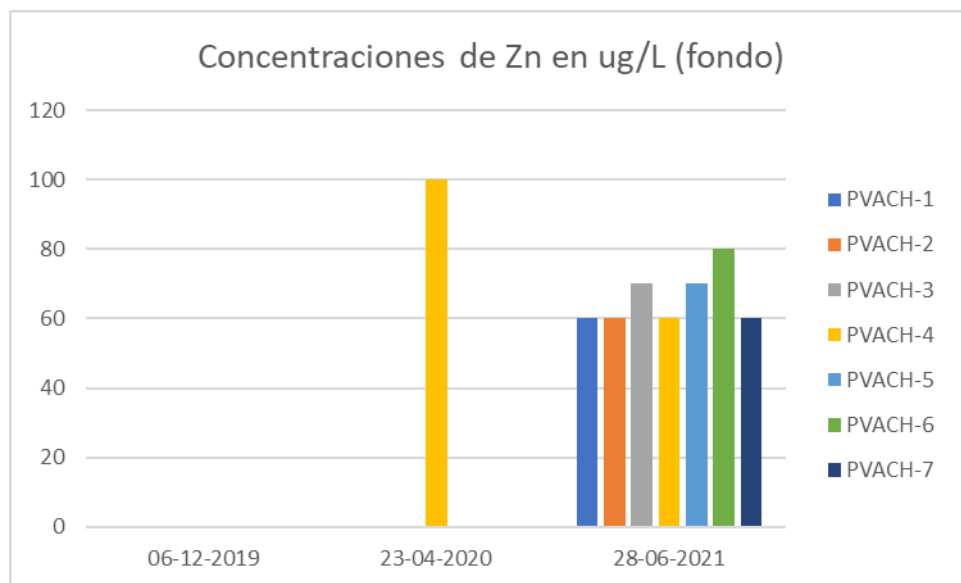


Figura 51 – Resultados de monitoreo PVA de aguas (fondo) para zinc
Fuente: Elaboración propia

Parámetros físicos

En esta sección solo se discute el oxígeno disuelto, ya que los demás parámetros se incluyen en la discusión de los informes anuales.

En diciembre 2019 los valores superficiales de oxígeno disuelto fluctuaron entre 0,23 mg/L en la estación PVACH-4 y los 5,52 mg/L en la estación PVACH-5, lo que corresponde a “pésimo” y “aceptable” según Calderón (2019).

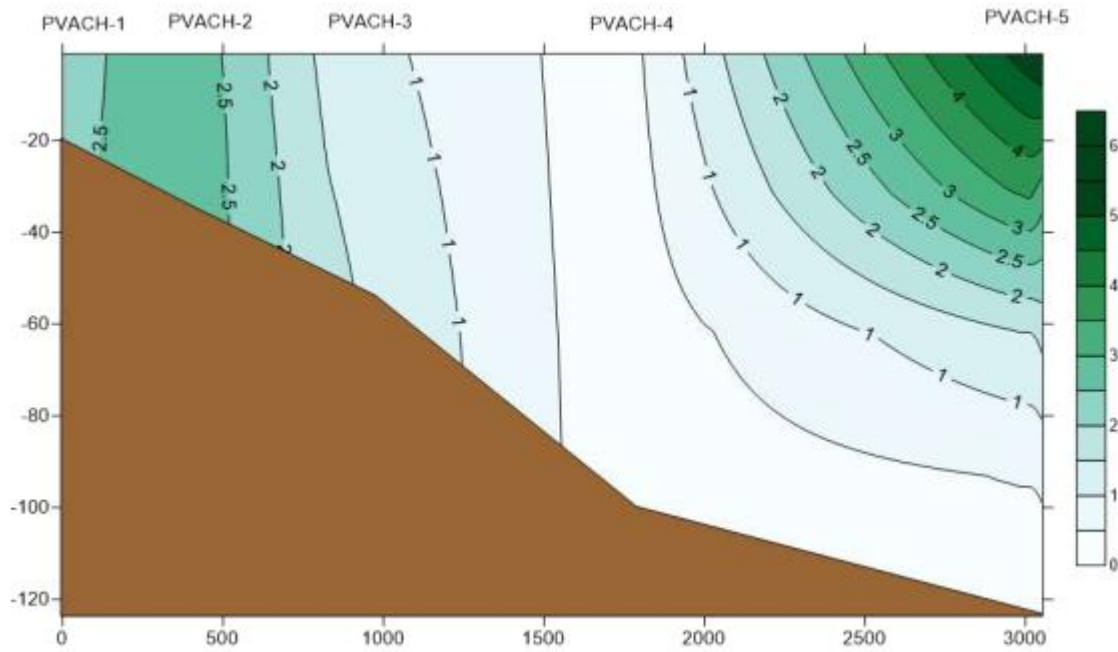


Figura 52 – Resultados de monitoreo PVA de aguas para oxígeno disuelto (diciembre 2019)

En abril 2020 los valores superficiales de oxígeno disuelto a lo largo del transecto fluctuaron entre 4,87 ml/L en la estación PVACH-2 y los 5,21 ml/L en la estación PVACH-3, lo que corresponde a “inadecuada” y “aceptable” según Calderón (2019).

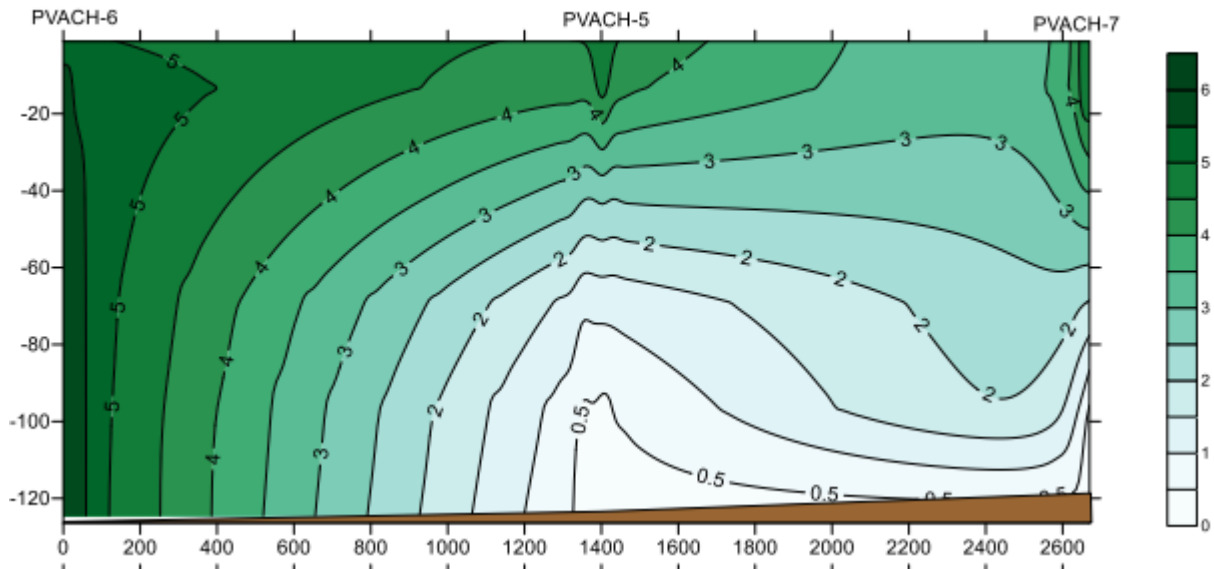


Figura 53 – Resultados de monitoreo PVA de aguas para oxígeno disuelto (abril 2020)

En junio 2021, los valores superficiales de oxígeno disuelto a lo largo del transecto fluctuaron entre 3,96 mg/L en la estación PVACH-1 y los 5,14 mg/L en la estación PVACH-3, lo que corresponde a “inadecuada” y “aceptable” según Calderón (2019).

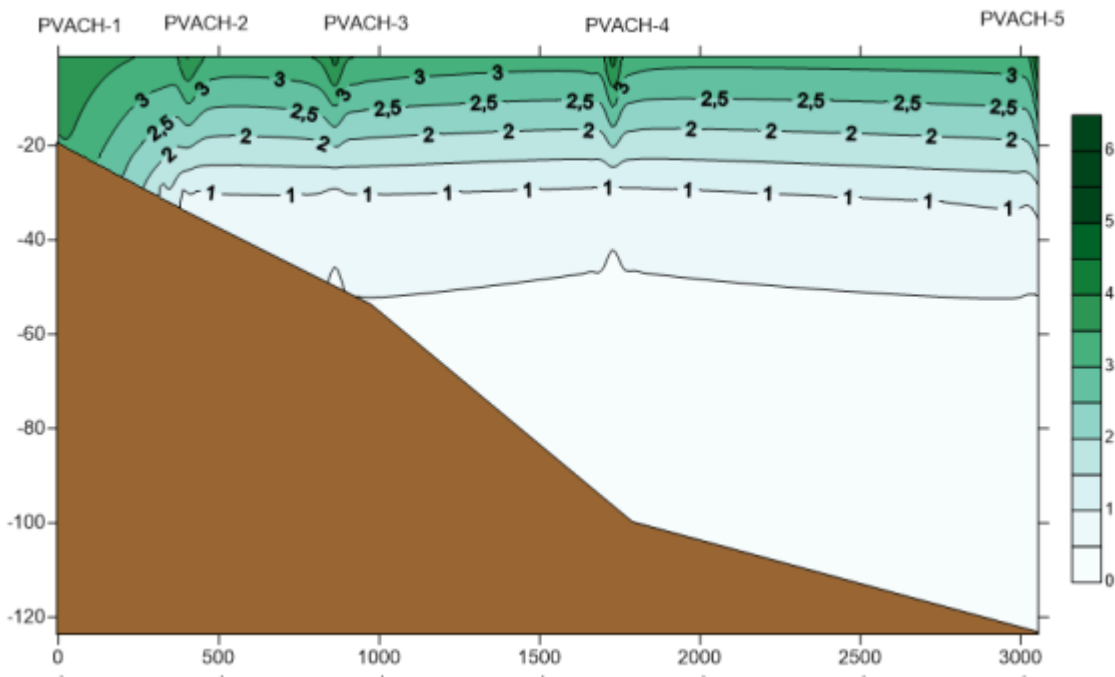


Figura 54 – Resultados de monitoreo PVA de aguas para oxígeno disuelto (junio 2021)

2.1.4.3 Monitoreo anual

A continuación, se presentan los resultados de los informes de monitoreo anual desde el año 2013 al 2019.

Sedimentación

A continuación, se presenta el análisis de resultados realizado en los respectivos informes de monitoreo anual (cita textual).

- **Año 2013**

La presencia de sedimentación sobre el substrato rocoso, por sedimentos provenientes del relaveducto de la Planta de Pellets, fue observada en el submareal de la Ensenada Chapaco y en las estaciones de referencia. El sedimento fue observado a los 6 m y 9 m en ocasiones solo al agitar el agua y en otras en la superficie de las rocas. La presencia de sedimento también en las estaciones de referencia señalaría que la presencia de este no por causa exclusiva de la operación de la Planta de CAP de Minería.

- **Año 2014**

En comparación al año anterior la sedimentación ha disminuido, siendo evidente en la superficie de las rocas solo al agitar el agua en el punto de monitoreo ubicado en costado norte de Ensenada Chapaco, y solo a partir de los 6 m de profundidad.

- **Año 2015**

En comparación al año anterior la sedimentación aumento, tanto al interior de ensenada Chapaco, como en los sectores de referencia, siendo evidente en los sectores de referencia en la superficie de las rocas solo al agitar el agua y al interior de Ensenada Chapaco en la superficie de las rocas.

- **Año 2016**

En comparación al año anterior la sedimentación exhibe una leve alza en Ensenada Chapaco, debido a la presencia sedimento sobre las rocas, pero no en estructuras emergentes. Este mayor grado de sedimentación también se refleja en el sector de referencia Cabo Norte al ser detectado sedimento a los 9 m de profundidad en la superficie de las rocas al agitar el agua.

- **Año 2017**

En comparación al año anterior la sedimentación es menor en Ensenada Chapaco, ya que fue detectada solo al agitar el agua en el Costado Norte de la ensenada.

- **Año 2018**

La sedimentación es baja en Ensenada Chapaco, ya que fue detectada solo al agitar el agua en el Costado Norte de la ensenada.

- **Año 2019**

En comparación al año anterior la sedimentación es menor en Ensenada Chapaco, ya que fue detectada solo al agitar el agua en el Costado Norte de la ensenada.

Turbidez

En primer lugar, señalar que antiguamente el sistema de descarga de efluentes o relave ducto en la zona intermareal causaba una acentuada turbidez en las aguas superficiales de la Ensenada Chapaco, efecto que se buscaba eliminar con la operación del relaveducto submarino a 25 m de profundidad en primera instancia y a 35 m de profundidad final. Para la realización de los registros se seleccionaron tres puntos de observación, dos al interior de Ensenada Chapaco y un tercero, en Playa Brava, al costado sur de Península Guacolda. El protocolo de observación diaria considera la observación de la coloración de las aguas al interior y exterior de Ensenada Chapaco, según escala de colores utilizada, y las condiciones meteorológicas en el área.

A continuación, se presenta el análisis de resultados realizado en los respectivos informes de monitoreo anual (cita textual).

- **Año 2013**

La presencia de aguas turbias se aproximó al 15% de los días de observación, lo que representa una mejora importante de la calidad de las aguas en relación al año 2003 (donde se registró turbidez en el 60% de los días). Respecto al año anterior, la situación no varía mayormente, y continúa asemejándose a las condiciones de turbidez registradas entre los años 2004 y 2009 en los que los eventos de aguas turbias fueron menores. Cuando estuvieron presentes, las aguas turbias tendieron a cubrir más del 75% de la superficie de la ensenada. Durante el seguimiento del 2013, la aparición y extensión del área ocupada por las aguas turbias no se relacionó significativamente en términos estadísticos con la Descarga Diaria del efluente, pero sí con la Fuerza del Viento. Además, en la mayoría de los casos se observa que ocurre con un desfase a continuación de días con altas intensidades de viento, sugiriendo de que este genera una resuspensión que se hace evidente, recién, días después de ocurrido el viento. Una comparación con el año anterior muestra para la ensenada condiciones atmosféricas y oceanográficas similares.

- **Año 2014**

La presencia de aguas turbias fue 5% de los días de observación, lo que representa una importante y notable mejora de la calidad de las aguas en relación al año 2003 (donde se registró turbidez en el 60% de los días). Respecto al año anterior, la situación también se observa favorable, disminuyendo el número de días con presencia de eventos de turbidez. Cuando estuvieron presentes, las aguas turbias tendieron a cubrir más del 75% de la superficie de la ensenada. Durante el seguimiento del 2014, la aparición y extensión del área ocupada por las aguas turbias no se relacionó significativamente en términos estadísticos con la descarga diaria del efluente, pero sí con la fuerza del viento. Además, en la mayoría de los casos se observa que ocurre con un desfase a continuación de días con altas intensidades de viento, sugiriendo que este genera una resuspensión que se hace evidente, recién, días después de ocurrido el viento. Una comparación con el año anterior muestra, en general, para la ensenada condiciones atmosféricas y oceanográficas similares, solo se aprecia una variación en el origen predominante de los vientos que pasa de suroeste en el 2013 a sureste 2014.

- **Año 2015**

La presencia de aguas turbias fue 0% de los días de observación, lo que representa una importante y notable mejora de la calidad de las aguas en relación a años anteriores (5% de turbidez en el año 2014), especialmente respecto al año 2003 (donde se registró turbidez en el 60% de los días). Una comparación con el año anterior muestra, en general, para la ensenada condiciones atmosféricas y oceanográficas similares.

- **Año 2016**

La presencia de aguas turbias fue 0% de los días de observación, situación que se mantiene desde el año 2015 y que representa una importante y notable mejora de la calidad de las aguas en relación al año 2003 (donde se registró turbidez en el 60% de los días). Una comparación con el año anterior muestra para la ensenada condiciones atmosféricas y oceanográficas, en general, similares a las del año 2015, esto es, mar por lo general rizada, días predominantemente nublados variando a despejado, con vientos en su mayoría de 1,6 a 3,3 m/s, pero provenientes en esta ocasión principalmente del cuadrante Suroeste. Como se mencionó anteriormente, la diferencia en la dirección del viento entre los años 2015 y 2016 probablemente se deba a errores en el registro de datos.

- **Año 2017**

La presencia de aguas turbias fue 0% de los días de observación, situación que se mantiene desde el año 2015 y que representa una importante y notable mejora de la calidad de las aguas en relación al año 2003 (donde se registró turbidez en el 60% de los días). Una comparación de las condiciones atmosféricas y oceanográficas registradas durante el año 2017 con las del año anterior, muestra para la ensenada, en general, condiciones similares a las del año 2016, esto es, mar por lo general rizada, días predominantemente despejados variando a nublados, con vientos en su mayoría de 0,3 a 3,3 m/s, pero provenientes en esta ocasión principalmente del cuadrante Sur, y no del Suroeste como ocurrió el año 2016.

- **Año 2018**

La presencia de aguas turbias fue 0% de los días de observación, situación que se mantiene desde el año 2015 y que representa una importante y notable mejora de la calidad de las aguas en relación al año 2003 (donde se registró turbidez en el 60% de los días). Una comparación de las condiciones atmosféricas y oceanográficas registradas durante el año 2018 con las del año anterior, muestra para la ensenada, en general, condiciones similares a las del año 2017, esto es, mar por lo general rizada, días predominantemente despejados variando a nublados, con vientos en su mayoría de 0,3 a 3,3 m/s, pero provenientes en esta ocasión principalmente del cuadrante Sureste, y no del Sur como ocurrió el año 2017.

- **Año 2019**

Se detectaron 8 días de aguas turbias entre los meses de Junio y Agosto, todos con un porcentaje de cobertura inferior a 10%. Esta situación no se percibía desde el año 2015, no obstante, continúa siendo una buena situación respecto a lo observado el año 2003 (donde se registró turbidez en el 60% de los días). Una comparación de las condiciones atmosféricas y oceanográficas registradas durante el año 2019 con las del año anterior, muestra para la ensenada, en general, condiciones similares a las del año 2018, esto es, mar por lo general rizada, días predominantemente despejados variando a nublados, con vientos en su mayoría de 0,3 a 3,3 m/s, pero provenientes en esta ocasión principalmente del cuadrante Suroeste, y no del Sureste como ocurrió el año 2018.

Desde el año 2002, las condiciones ambientales de la ensenada han registrado porcentajes de días de turbidez significativa entre menos del 10% (año 2007) y 30% (año 2010). El año 2011, el porcentaje de días con turbidez alcanzó a cerca de un 25%, porcentaje que disminuyó a un 15% desde el año de operación 2012 y que es mucho menor al número de eventos de turbidez registrados antes del año 2003. Durante el año 2014 la presencia de eventos de turbidez disminuyó, alcanzando solo un 5% de los días de registro. Desde el año 2015 hasta el año 2018 la situación ha mejorado considerablemente, con un 0% de turbidez

anual. Durante el año 2019 se registraron 8 días con aguas turbias, lo que equivale a un 2,2% de turbidez anual, todos con una cobertura inferior a 10%.

Viento, marejadas y condición meteorológica

A continuación, se presenta el análisis de resultados realizado en los respectivos informes de monitoreo anual (cita textual).

- **Año 2013**

Las condiciones meteorológicas predominantes registradas en el período de observación (enero a diciembre de 2013) alternan principalmente entre días con cielos despejados a nublados, siendo mayor el número de días nublados, situación general que se asemeja a lo observado en el año anterior. En comparación al año 2012, se registra un aumento de días con cielo despejado y una leve disminución de días con cielo nublado. El máximo estado registrado durante este año fue niebla con cielo imperceptible. En cuanto a las condiciones del viento, predominaron los días con brisa "liviana" ($1,6 - 5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), seguidos por días con "ventolinas" ($0,3 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Las mayores intensidades de viento durante este último monitoreo fluctuaron entre $10,8$ a $13,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, situación que también se registró en el año 2012. El origen de los vientos fue principalmente suroeste, aunque los vientos provenientes de los cuadrantes sur y en menor magnitud noroeste y norte, tuvieron gran importancia. El predominio del cuadrante SO refleja una tendencia que se mantiene respecto a lo observado en el último año de monitoreo, sin embargo, el aumento de vientos del cuadrante sur difiere a lo anteriormente observado.

En el año 2013, el estado del mar presentó condiciones que variaron entre aguas tranquilas (mar calma y llana) a aguas más agitadas (mar rizada, marejadillas, marejadas y mar gruesa). Respecto al año anterior, en este monitoreo se observa un mayor número de días con mar rizada, pero menos días con marejadillas y marejadas y más días con mar llana. El máximo estado de agitación del mar, tanto durante el año 2013, como en el 2012, correspondió mar gruesa.

- **Año 2014**

Las condiciones meteorológicas predominantes registradas en el período de observación (enero a diciembre de 2014) alternan principalmente entre días con cielos despejados a nublados, siendo mayor el número de días nublados, situación general que se asemeja a lo observado en el año anterior. No obstante, en comparación al año 2013, se aprecia una disminución de días con esta condición (nublado-despejado) aumentando el número de días con niebla en machones y niebla con cielo perceptible. El máximo estado registrado durante este año fue niebla con cielo imperceptible. En cuanto a las condiciones del viento, predominaron los días con brisa "liviana" ($1,6 - 5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), seguidos por días con "ventolinas" ($0,3 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), manteniéndose la condición observada el año 2013. Las mayores intensidades de viento durante este último monitoreo fluctuaron entre $10,8$ a $13,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El origen de los vientos fue principalmente Sureste, aunque los vientos provenientes de los Cuadrantes Sur y Noroeste y en menor magnitud Suroeste y Norte, tuvieron gran importancia. Esta condición, difiere de lo observado el año 2013, donde predominaron los vientos del cuadrante Suroeste. En el año 2014, el estado del mar presentó condiciones que variaron entre aguas tranquilas (mar calma y llana) a aguas más agitadas (mar rizada, marejadillas, marejadas y mar gruesa). Respecto al año anterior, en este monitoreo se observa un mayor número de días con mar calma, llana y rizada, disminuyendo los días con marejadillas y mar gruesa. El número de días con marejadas se mantuvo. El máximo estado de agitación del mar, tanto durante el año 2014, como en el 2013, correspondió mar gruesa.

- **Año 2015**

Las condiciones meteorológicas predominantes registradas en el período de observación (enero a diciembre de 2015) alternan principalmente entre días con cielos despejados a nublados, siendo mayor el número de días nublados, situación general que se asemeja a lo observado en el año anterior. Sin embargo, respecto al año 2014, se observa un aumento de días con niebla en machones y niebla con cielo perceptible e imperceptible. En cuanto a las condiciones del viento, predominaron los días con brisa "liviana" ($1,6 - 5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), seguidos por días con "ventolinas" ($0,3 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), manteniéndose la condición observada el año 2013. Las mayores intensidades de viento durante este último monitoreo fluctuaron entre $8,0$ a $10,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El origen de los vientos fue principalmente Sureste, condición similar a la observada el año 2014. Los vientos provenientes de los Cuadrantes Sur, Noreste y Noroeste tuvieron gran importancia. En el año 2015, el estado del mar presentó condiciones que variaron entre aguas tranquilas (mar calma y llana) a aguas más agitadas (mar rizada, marejadilla, marejadas y mar gruesa). Siendo predominantes los días con mar llana a rizada, situación similar a la registrada el año 2014.

- **Año 2016**

Las condiciones meteorológicas predominantes registradas en el período de observación (enero a diciembre de 2016) alternan principalmente entre días con cielos despejados a nublados, situación general que se asemeja a lo observado en el año anterior, aunque en el presente año se registró un mayor número de días con cielo despejado. También se observó un importante número de días con niebla en machones y niebla con cielo perceptible, siendo mayor el número de días con niebla con cielo perceptible. El máximo estado registrado durante este año fue llovizna intermitente. En cuanto a las condiciones del viento, predominaron los días con brisa "liviana" ($1,6 - 5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), seguidos por días con "ventolinas" ($0,3 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), manteniéndose la condición observada el año 2015. Las mayores intensidades de viento durante este último monitoreo fluctuaron entre $8,0$ a $10,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El origen de los vientos fue principalmente Sureste, aunque los vientos provenientes del Cuadrante Noroeste y en menor magnitud Sur y Noreste, tuvieron un amplio registro. Esta condición, difiere de lo observado el año 2015, donde predominaron los vientos del cuadrante Sureste, pero cabe mencionar que esto puede deberse a un error en el registro de los datos, ya que en terreno se comprobó que el operario a cargo de la observación anotaba la dirección en la que iba el viento y no la dirección de procedencia. En el año 2016, el estado del mar fue predominantemente mar rizada, aunque también se registró un importante número de días con aguas más tranquilas (mar llana) y aguas más agitadas (marejadillas y marejadas). Respecto al año anterior, se observa una evidente diferencia, con una disminución de días con mar llana y calma. El máximo estado de agitación del mar durante el año 2016 fue mar arbolada.

- **Año 2017**

Las condiciones meteorológicas predominantes registradas en el período de observación (enero a diciembre de 2017) alternan principalmente entre días con cielos despejados a nublados, situación general que se asemeja a lo observado en el año anterior. También se observó un importante número de días con niebla en machones y niebla con cielo perceptible, siendo mayor el número de días con niebla con cielo perceptible. En cuanto a las condiciones del viento, predominaron los días con brisa "liviana" ($1,6 - 5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), seguidos por días con "ventolinas" ($0,3 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), manteniéndose la condición observada el año 2016. Las mayores intensidades de viento durante este último monitoreo fluctuaron entre $8,0$ a $10,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El origen de los vientos fue principalmente Sur, aunque los vientos provenientes de los Cuadrantes Noreste y Sureste tuvieron un amplio registro. Esta condición, difiere de lo observado el año 2016, donde predominaron los vientos del cuadrante Suroeste. En el año 2017, el estado del mar fue predominantemente mar rizada, aunque también se registró un importante número de días con aguas más tranquilas (mar llana) y aguas más agitadas (marejadillas y marejadas), situación que se

asemeja a la observa el año anterior. El máximo estado de agitación del mar durante el año 2017 fue mar gruesa.

- **Año 2018**

Las condiciones meteorológicas predominantes registradas en el período de observación (enero a diciembre de 2018) alternan principalmente entre días con cielos despejados a nublados, situación general que se asemeja a lo observado en el año anterior. También se observó un importante número de días con niebla en machones y niebla con cielo perceptible, siendo mayor el número de días con niebla en manchones. En cuanto a las condiciones del viento, predominaron los días con "ventolinas" ($0,3 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), seguidos por días con "brisa liviana" ($1,6 - 3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Las mayores intensidades de viento durante este último monitoreo fluctuaron entre $5,4$ a $7,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El origen de los vientos fue principalmente Sureste, aunque los vientos provenientes del Cuadrante Noreste tuvieron un amplio registro. Esta condición, difiere de lo observado el año 2017, donde predominaron los vientos del cuadrante Sur. En el año 2018, el estado del mar fue predominantemente mar rizada, aunque también se registró un importante número de días con aguas más tranquilas (mar llana) y aguas más agitadas (marejadillas y marejadas), situación que se asemeja a la observa el año anterior. El máximo estado de agitación del mar durante el año 2018 fue mar arbolada.

- **Año 2019**

Las condiciones meteorológicas predominantes registradas en el período de observación (enero a diciembre de 2019) alternan principalmente entre días con cielos despejados a nublados, situación general que se asemeja a lo observado en el año anterior. También se observó un importante número de días con niebla con cielo perceptible. En cuanto a las condiciones del viento, predominaron los días con "ventolinas" ($0,3 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), seguidos por días con brisa "liviana" ($1,6 - 5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), manteniéndose la condición observada el año 2018. Las mayores intensidades de viento durante este último monitoreo fluctuaron entre $5,4$ a $7,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El origen de los vientos fue principalmente Suroeste. Esta condición, difiere de lo observado el año 2018, donde predominaron los vientos del cuadrante Sureste y Noreste. En el año 2019, el estado del mar fue predominantemente mar rizada, situación que se asemeja a la observa el año anterior. El máximo estado de agitación del mar durante el año 2019 fue mar gruesa.

Monitoreo biológico

En función de la información disponible para la zona de interés compilada aquí, es posible señalar que la mayor parte de ella está contenida en los informes anuales del Plan de Vigilancia Ambiental (PVA), publicados por CAP desde el año 1995 y ejecutado por la Universidad Católica del Norte. Dicho PVA contenía parámetros en base a lineamientos generales considerados por la Autoridad Marítima (I DGTM MM 12600/2560 del 30 de octubre 1992). Lo anterior comprende esfuerzos de muestreo en el intermareal y submareal rocoso y comunidades de fondos blandos. El PVA tenía dos objetivos:

- con respecto al cese de la descarga intermareal, evaluar la recuperación de las comunidades del intermareal y submareal somero de la Ensenada Chapaco y
- respecto de la nueva descarga submareal (25m), vigilar los efectos que ésta podía tener sobre las mismas comunidades.

Dada la visión demasiado genérica de la zona de estudio, se diseñó un nuevo Plan de Vigilancia Ambiental, más acotado, para medir los potenciales efectos de la descarga sobre componentes claves del sistema. Ese

PVA fue aprobado por la Autoridad Marítima y comenzó a ejecutarse anualmente a partir del año 1997, el cual se encuentra vigente hasta la actualidad.

Los indicadores biológicos de las condiciones ambientales de la Ensenada Chapaco y sitios aledaños fueron establecidos en los términos técnicos del Programa de Vigilancia Ambiental. Estos corresponden a:

- Estructura de las comunidades de macroinfauna de fondos blandos
- Estructura de las comunidades intermareales
- Reclutamiento y características del alga parda *Lessonia trabeculata*
- Patrón de zonación de comunidades submareales

Independientemente del análisis bibliográfico histórico de estos cuatro aspectos definidos como indicadores biológicos, esta propuesta contempla la integración y contraste de esa información con información de terreno de comunidades intermareales de fondo duro y submareales de fondo blando obtenida recientemente en el costado norte de la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y bahía de Huasco como sitio de referencia (ver sección X). Comunidades submareales de fondo blando

Se analizó la información arrojada por el diseño de muestreo del PVA que incluye un monitoreo de cada población o comunidad biológica en invierno de cada año. Esto se alinea con el muestreo de infauna de nuestra propuesta. Sin embargo, resulta importante señalar que existe una diferencia en el esfuerzo de muestreo, con el monitoreo biológico realizándose durante invierno (julio-agosto), y las variables físicas monitoreadas todos los días y reportados mensualmente. En Anexo 6 se presentan los promedios y desviación estándar de las abundancia y biomasa de las comunidades biológicas asociadas a fondos blandos contenida en los informes del PVA publicados por la CAP entre 2012 y 2019. A continuación, se entrega una descripción y análisis de la variación en la abundancia promedio macro-infaunal. Análisis de árboles jerárquicos usando los datos de invierno 2012, muestran una mayor diferenciación entre Chapaco y las demás estaciones (Huasco, Punta Lachos, Cabo Norte), lo que podría estar relacionado con la escasa presencia de moluscos en el sector (solo 1 especie). Esta situación es muy similar a lo reportado en 2013, aunque Chapaco se mostró más cercano a Cabo Norte 1 y Cabo Norte 2, siendo esto también observado en 2015. Cabe destacar la ausencia de moluscos en Chapaco en invierno 2014. En 2016, la comunidad de Chapaco muestra una mayor diferenciación con la estructura comunitaria exhibida en los 3 monitoreos anteriores, lo que podría deberse a una disminución general de la abundancia macro-infaunal en el sector. En invierno 2017, se reportó la mayor diferenciación entre las comunidades macro-infaunales con respecto a los 4 años anteriores, con Chapaco separándose por primera vez de las estaciones Cabo Norte 1 y Cabo Norte 2 y siendo más cercano a Huasco 2. Esta situación se revertió en 2018, con Chapaco nuevamente siendo similar a Cabo Norte 1, situación que se mantuvo en 2019.

Tabla 13 – Abundancia total principales grupos taxonómicos período 2012-2019 en sector Ensenada Chapaco

Grupo Taxonómico	Abundancia total según año de muestreo Ensenada Chapaco							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nematoda	0	0	0	0	5,8	0	0	0
Polychaeta	10,5	4,746	18,7	29,2	16,3	22,2	38,5	51,3
Oligochaeta	1,2	0,005	0	5,8	0	0	0	3,5
Nemertea	0	0	0	0	0	0	1,2	0
Mollusca	2,3	0,481	0	2,3	1,2	0	0	0
Crustacea	89,8	0,033	28	43,2	19,8	61,8	4,7	32,7

Grupo Taxonómico	Abundancia total según año de muestreo Ensenada Chapaco							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Echinodermata	0	0	0	0	0	0	0	0
Cephalochordata	0	0	0	0	0	0	0	0

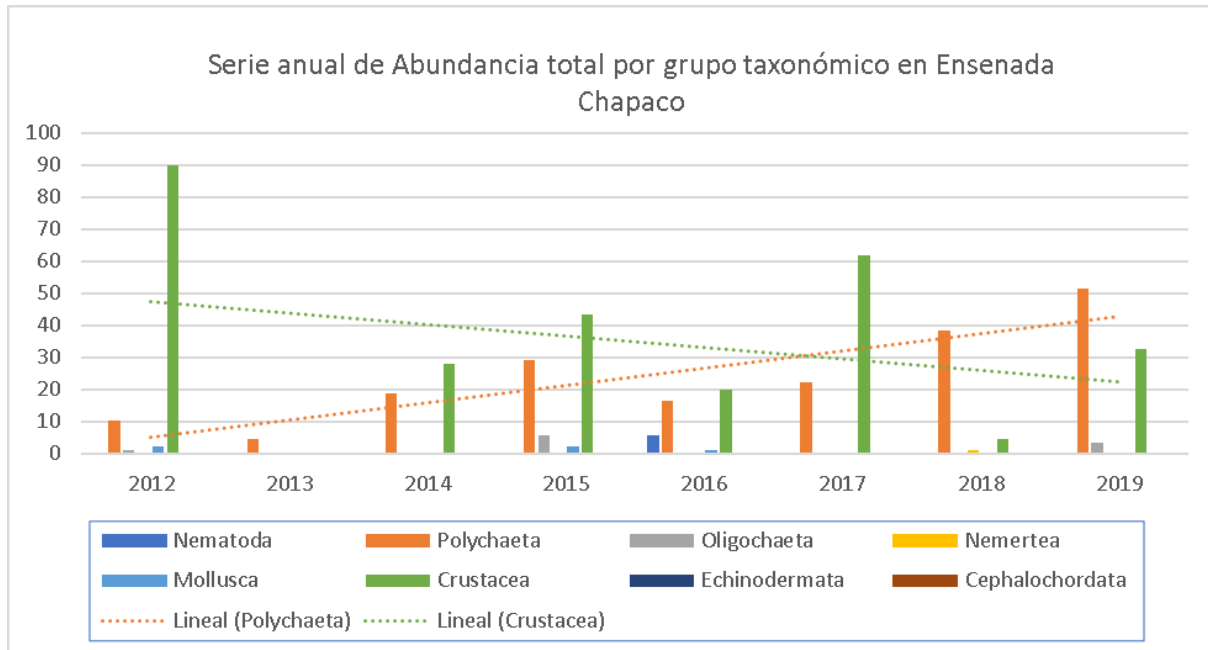


Figura 55 – Abundancia total período 2012-2019 en Ensenada Chapaco

Se observa en la gráfica para la Ensenada Chapaco, la presencia constante de Polychaeta y con una tendencia hacia mayores abundancias a partir del año 2012. Además, se puede apreciar una tendencia hacia menores abundancias del grupo Crustacea en el mismo período (Figura 56; Tabla 14).

Tabla 14 – Abundancia total período 2012-2019 en Huasco 1

Grupo Taxonómico	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nematoda	0	0	0	0	0	46,7	28	42
Polychaeta	1688,2	2,382	1257,7	1239.0	229,8	85,2	245	236,8
Oligochaeta	0	0	0	0	16,3	0	0	0
Nemertea	0	0	0	0	0	2,3	7	4,7
Mollusca	205,3	230,72	79,3	577.5	182	89,8	106,2	91
Crustacea	544,8	0,897	460,8	343.0	133	78,2	186,7	189
Echinodermata	0	1,806	4,7	0	0	0	0	0
Cephalochordata	0	0	0	0	0	1,2	5,8	4,7

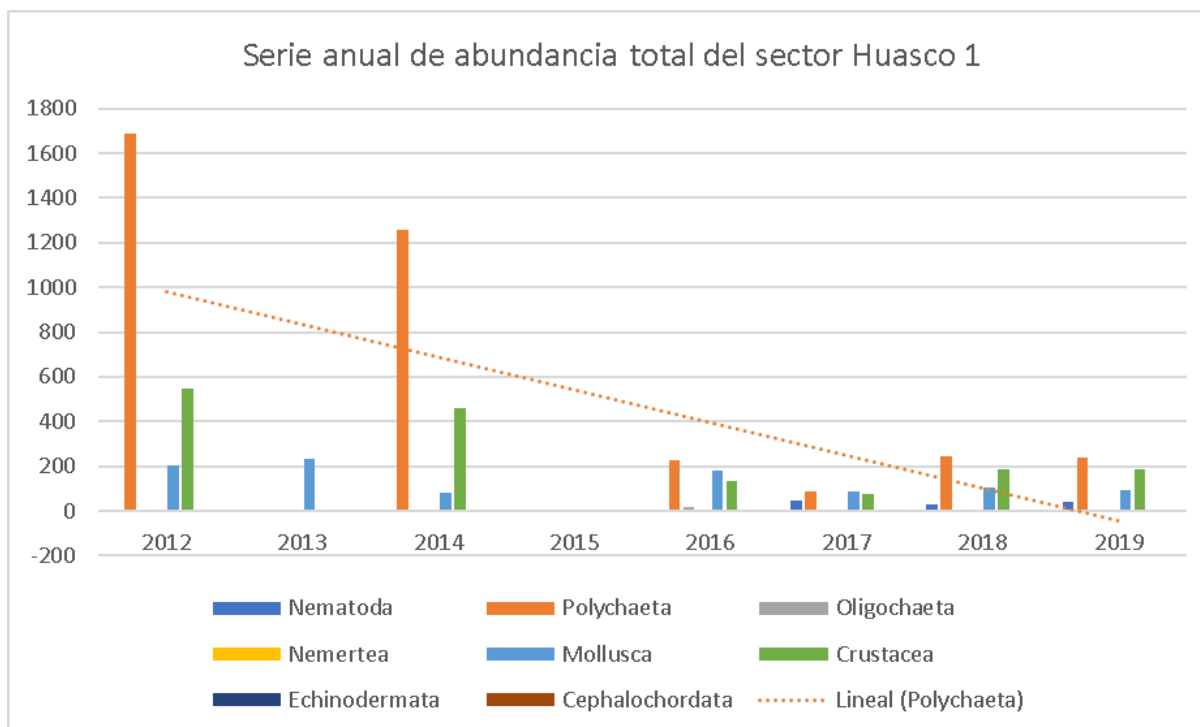


Figura 56 – Abundancia total período 2012-2019 en Huasco 1

En la estación de referencia Huasco 1, se observa en la gráfica la persistencia del grupo Polychaeta, pero con una tendencia a la baja en abundancias totales a partir del año 2012 (Figura 57, Tabla 15)

Tabla 15 – Abundancia total período 2014-2019 en Huasco 2

Grupo Taxonómico	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nematoda	0	0	0	12,8	10,5	24,5
Polychaeta	367,5	215,8	94,5	16,3	73,5	56
Oligochaeta	0	0	0	0	0	0
Nemertea	0	0	0	0	0	0
Mollusca	11,7	11,7	0	8,2	54,8	53,7
Crustacea	92,2	187,8	94,5	2,3	7	4,7
Echinodermata	0	0	0	0	0	0
Cephalochordata	0	0	0	0	0	0

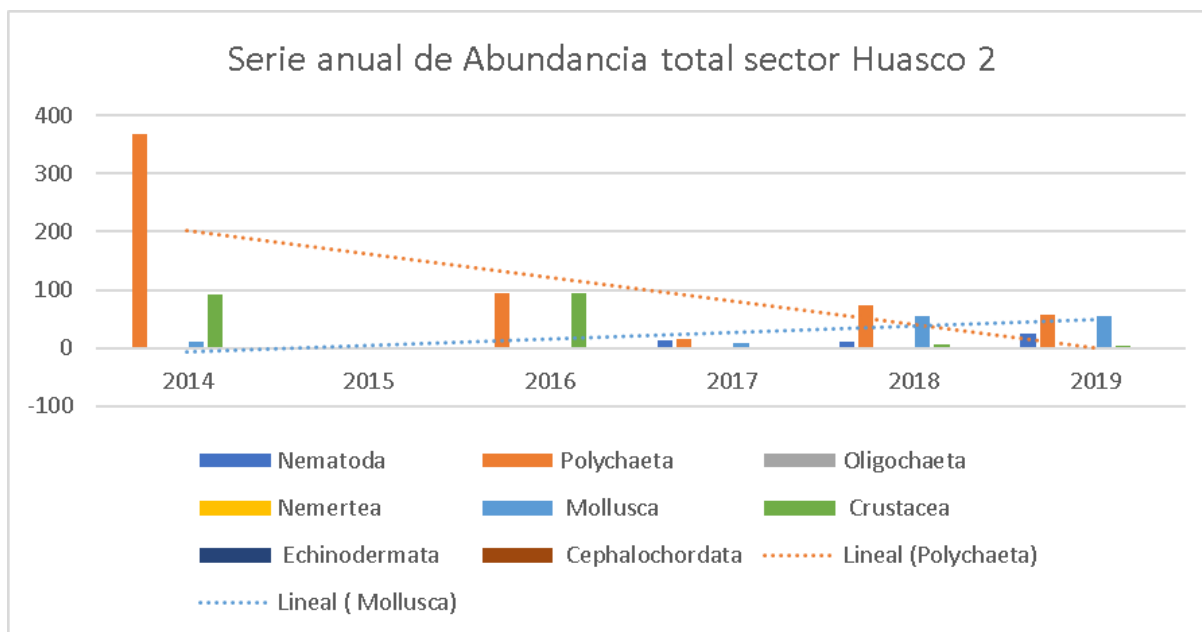


Figura 57 – Abundancia total período 2014-2019 en Huasco 2

De forma similar, en el sector Huasco 2, se observó al grupo Polychaeta con una tendencia a la baja en abundancias totales para el período 2014-2019. Cabe señalar que los años 2012 y 2013 no contemplan la estación Huasco 2. Además, se observa una tendencia a la disminución de las abundancias del grupo Mollusca (Figura 58, Tabla 16).

Tabla 16 – Abundancia total 2012-2019 en Punta Lachos 1

Grupo taxonómico	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nematoda	0	0	0	0	30,3	99,2	68,8	61,8
Polychaeta	380,3	3,192	491,2	338,3	60,7	64,2	203	235,7
Oligochaeta	110,8	0,011	140	260,2	24,5	0	0	0
Nemertea	0	0	0	0	0	2,3	2,3	1,2
Mollusca	143,5	5,446	88,7	162,2	98	5,8	33,8	49
Crustacea	374,5	0,074	120,2	310,3	67,7	42	187,8	200,7
Echinodermata	0	0	0	0	0	0	2,3	5,8
Cephalochordata	0	0	0	0	3,5	15,2	14	12,8

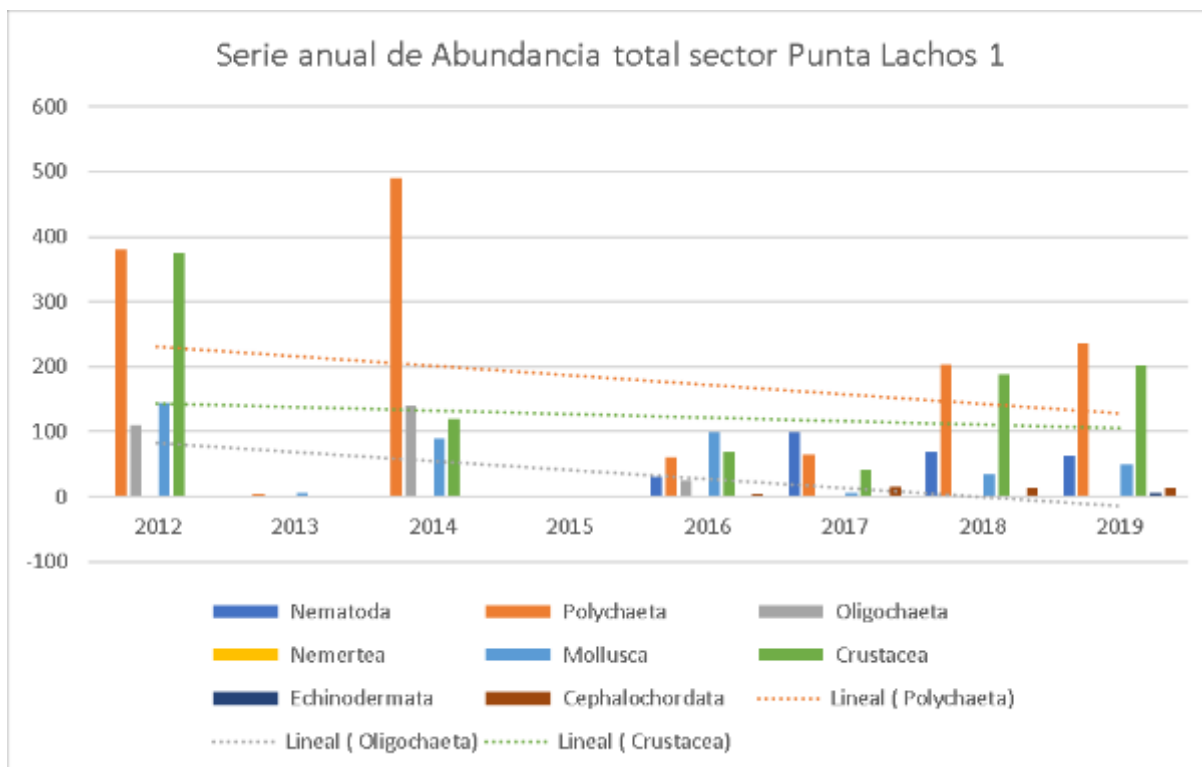


Figura 58 – Abundancia total período 2012-2019 en Punta Lachos 1

En la estación de referencia ubicada hacia el sur, Punta Lachos 1, se observa en la gráfica la presencia constante de Polychaeta, donde se desprende una tendencia a la baja en abundancia total en el período 2012 al 2019, al igual que el caso de los Oligochaeta. Por otra parte, se aprecia una permanente presencia de abundancia de Mollusca en el mismo período, con una leve tendencia a la disminución.

Tabla 17 – Abundancia total principales grupos taxonómicos período 2012-2019 en sector Punta Lachos 2

Grupo taxonómico	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nematoda	0	0	0	0	46,7	49	66,5
Polychaeta	0,646	324,3	290,5	389,7	32,7	428,2	332,5
Oligochaeta	0,009	70	183,2	37,3	0	0	0
Nemertea	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	814,961	114,3	134,2	102,7	23,3	78,2	91
Crustacea	0,07	114,3	250,8	365,2	218,2	579,8	452,7
Echinodermata	0	0	0	0	0	5,8	5,8
Cephalochordata	0	0	0	0	0	0	2,3

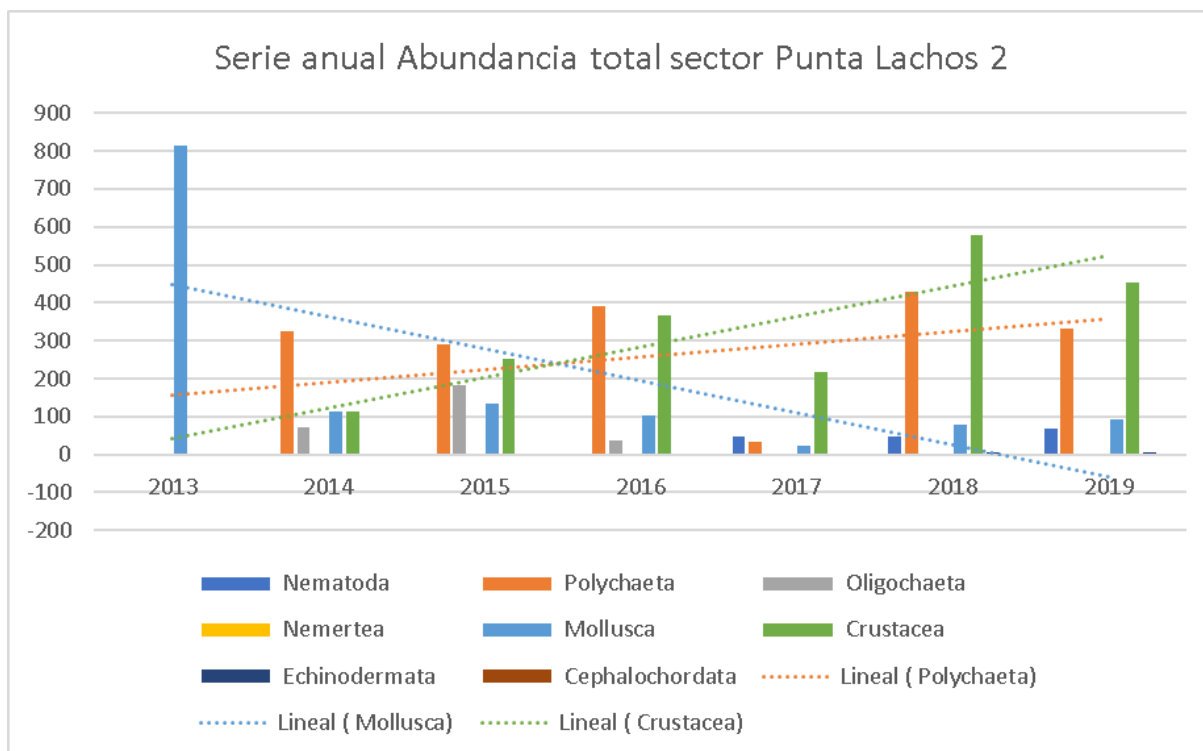


Figura 59 – Abundancia total período 2012-2019 en Punta Lachos 2

Se observa desde 2014 la persistencia del grupo Polychaeta, con una tendencia al alza en las abundancias totales, así como es el caso de Crustacea, que también muestra alza pronunciada en valores de abundancia total. Además, se observa la presencia del grupo Molusca en el mismo período, aunque con una tendencia hacia menores abundancias totales.

Tabla 18 – Abundancia total período 2012-2019 en Cabo Norte 1

Grupo Taxonómico	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nematoda	0	0	0	0	0	25,7	17,5	18,7
Polychaeta	113,2	1,212	75,8	65,3	95,7	30,3	22,2	25,7
Oligochaeta	0	0	0	0	0	0	0	0
Nemertea	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	10,5	1,479	8,2	5,8	3,5	0	0	0
Crustacea	203,6	0,068	163,3	158,7	87,5	4,7	10,5	14
Echinodermata	0	0	0	0	0	0	0	0
Cephalochordata	0	0	0	0	0	0	0	0

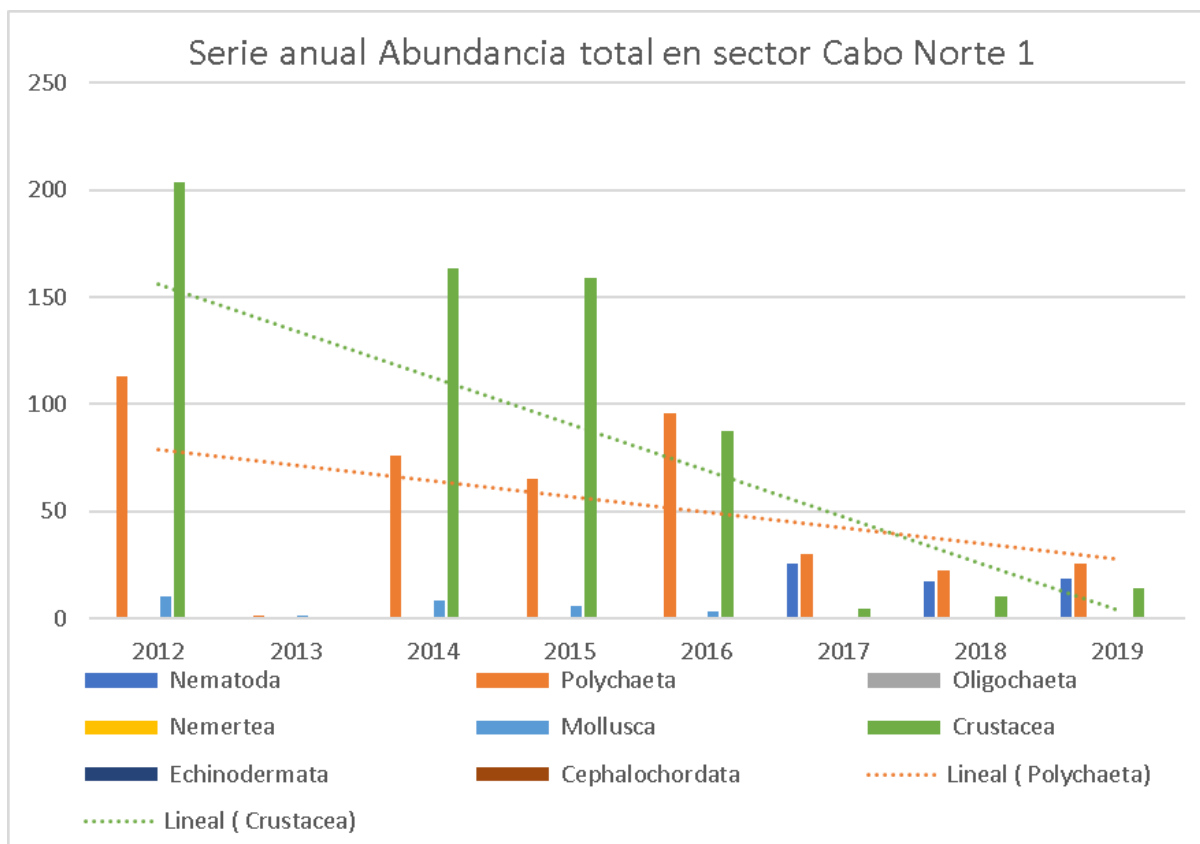


Figura 60 – Abundancia total período 2012-2019 en Cabo Norte 1

Se observa en la gráfica la persistencia del grupo Polychaeta, pero con una tendencia hacia menores abundancias totales, similar al grupo Crustacea mostrando una disminución más fuerte.

Tabla 19 – Abundancia total principales grupos taxonómicos período 2012-2019 en sector Cabo Norte 2

Grupo Taxonómico	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nematoda	0	0	0	0	0	25,7	17,5	18,7
Polychaeta	113,2	1,212	75,8	65,3	95,7	30,3	22,2	25,7
Oligochaeta	0	0	0	0	0	0	0	0
Nemertea	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	10,5	1,479	8,2	5,8	3,5	0	0	0
Crustacea	203,6	0,068	163,3	158,7	87,5	4,7	10,5	14
Echinodermata	0	0	0	0	0	0	0	0
Cephalochordata	0	0	0	0	0	0	0	0

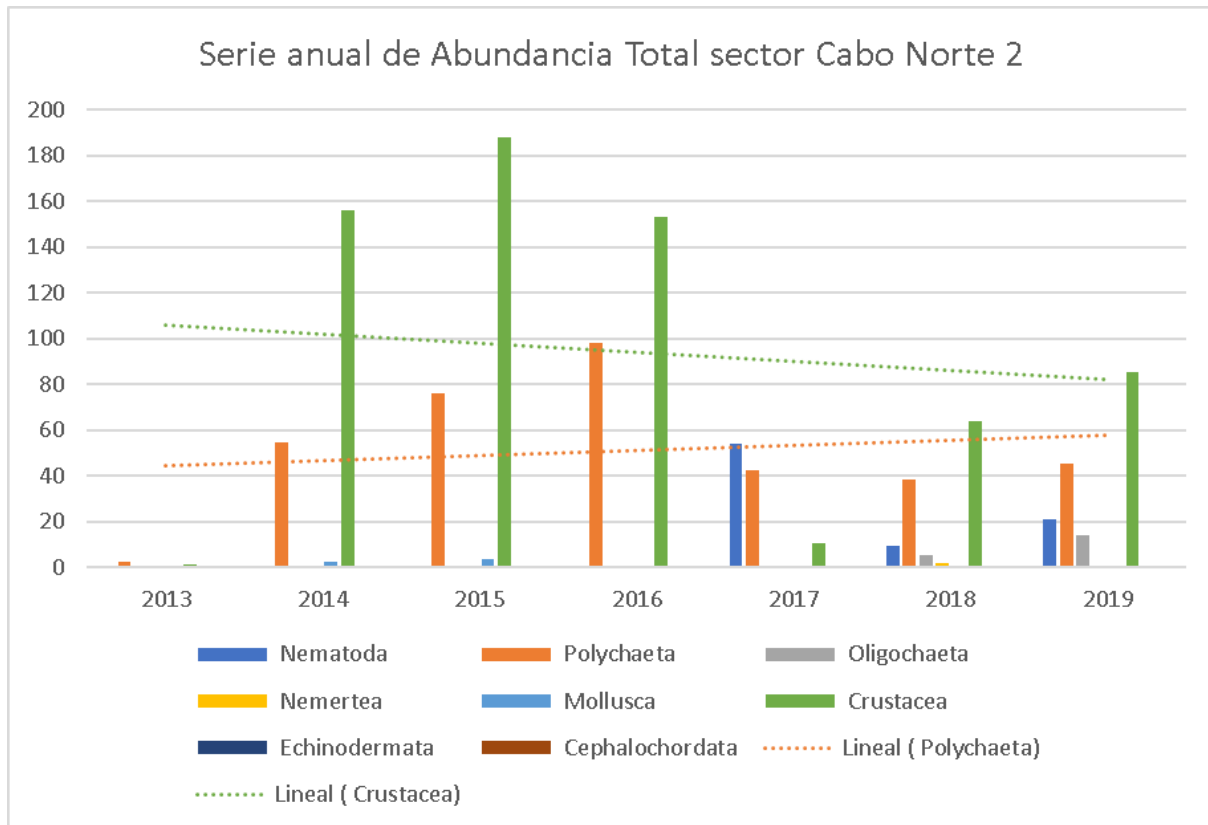


Figura 61 – Abundancia total principales grupos taxonómicos período 2012-2019 en sector Cabo Norte 2

Esta gráfica muestra la persistencia de los grupos Polychaeta y Crustacea en el sitio Cabo Norte 2.

Curvas de abundancia macro-infaunal

Para comparar la dominancia y equidad anual de taxa presentes en Chapaco (sitio impactado) y sitios aledaños, informando sobre la presencia o no de perturbación ecológica, a continuación, se presentan las curvas de abundancia macro-infaunal (ind. 0.1 • m²) para el periodo 2012-2019.

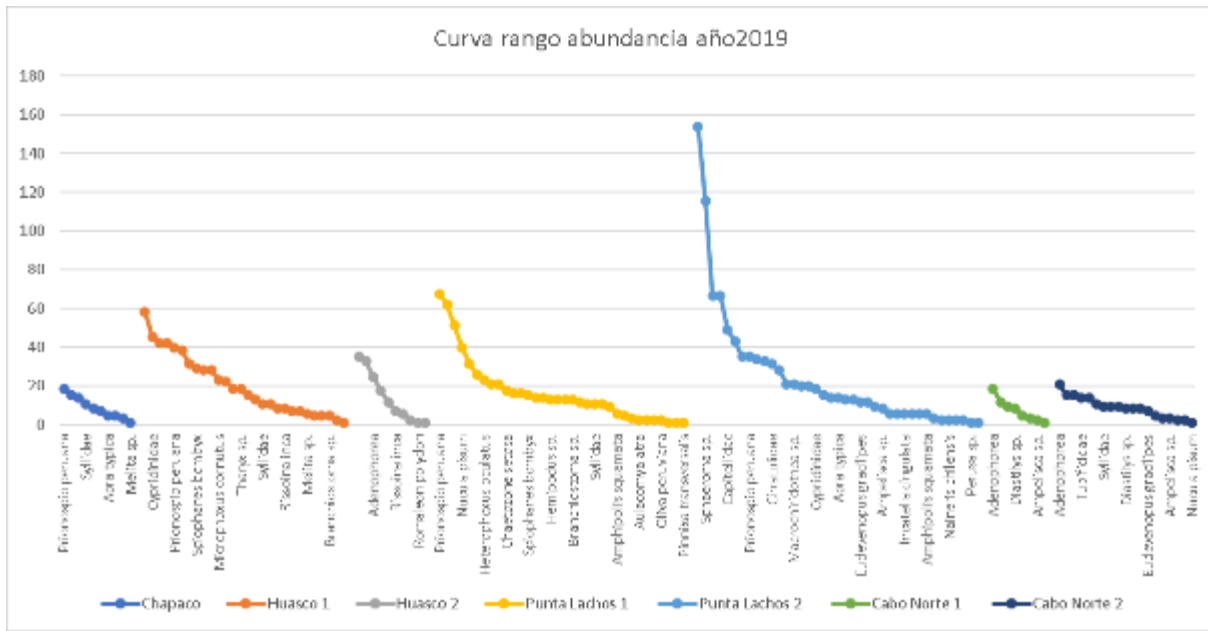


Figura 62 – Curva abundancia macro-infaunal año 2019

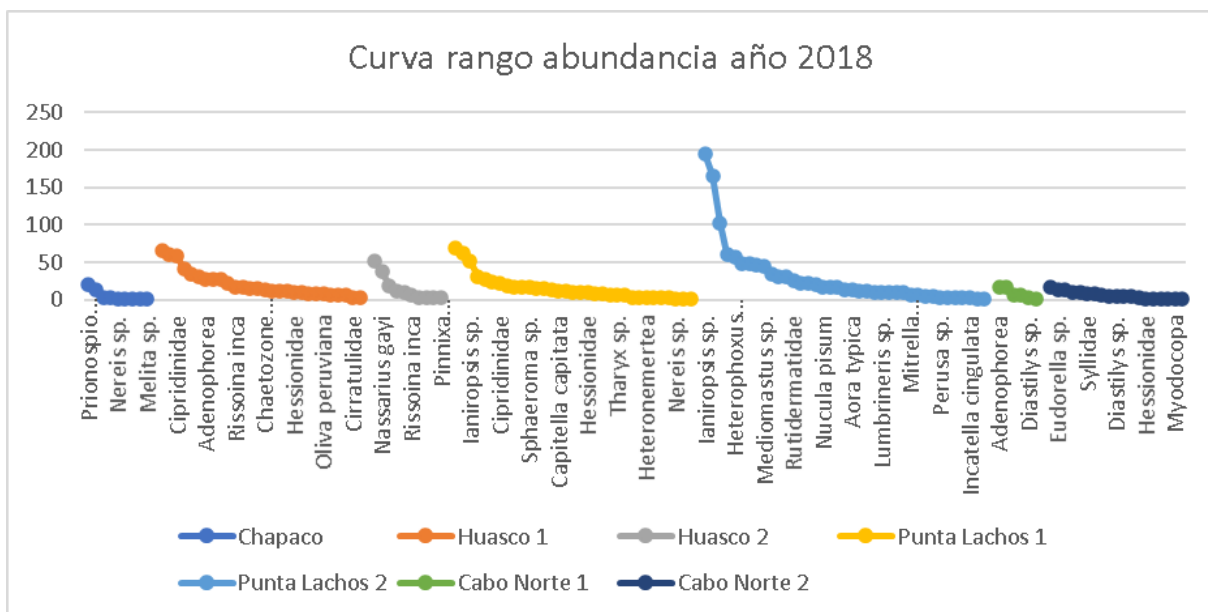


Figura 63 – Curva abundancia macro-infaunal año 2018

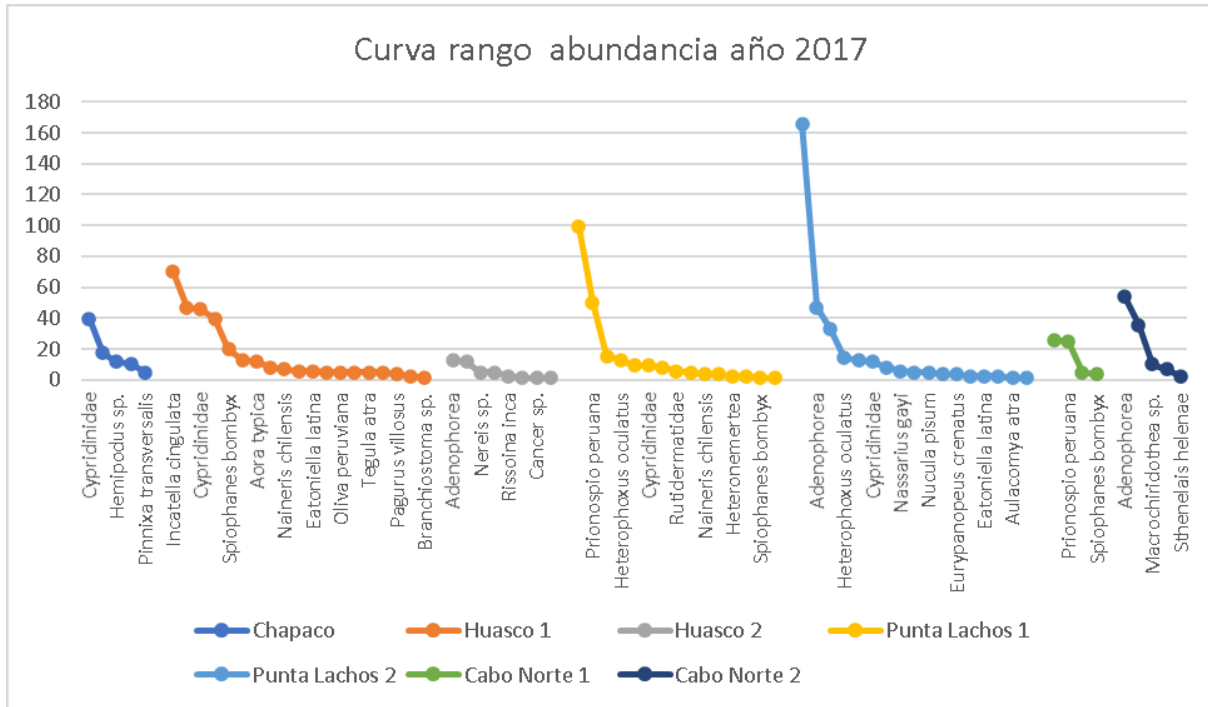


Figura 64 – Curva abundancia macro-infaunal año 2017

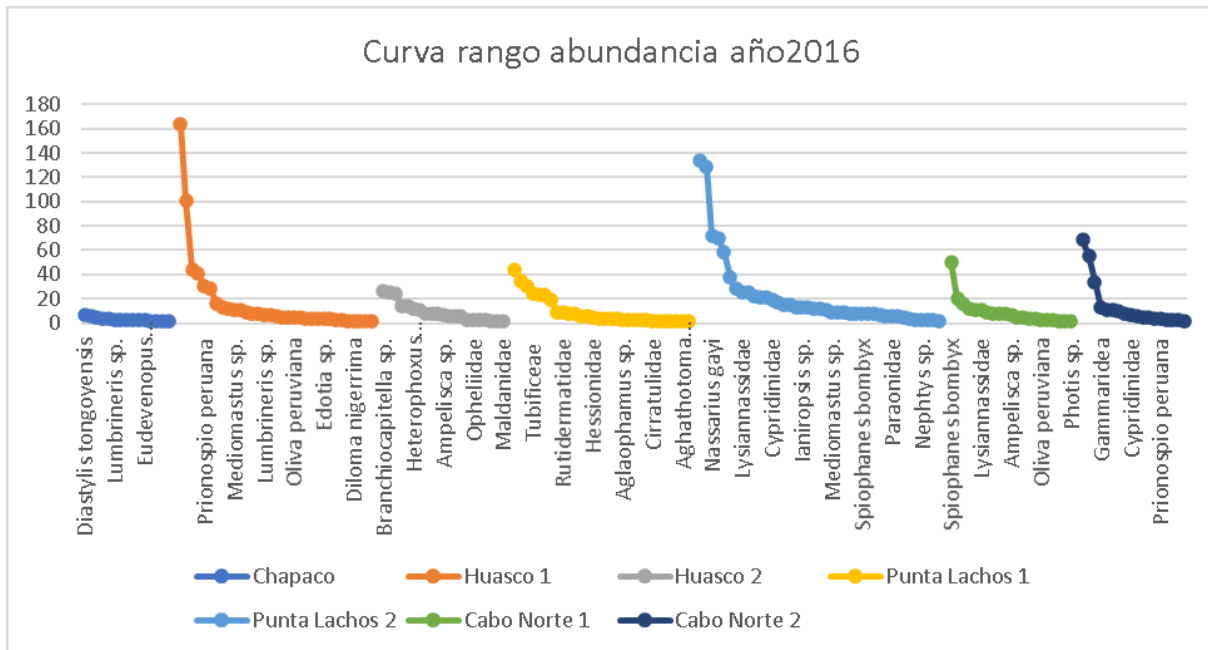


Figura 65 – Curva abundancia macro-infaunal año 2016

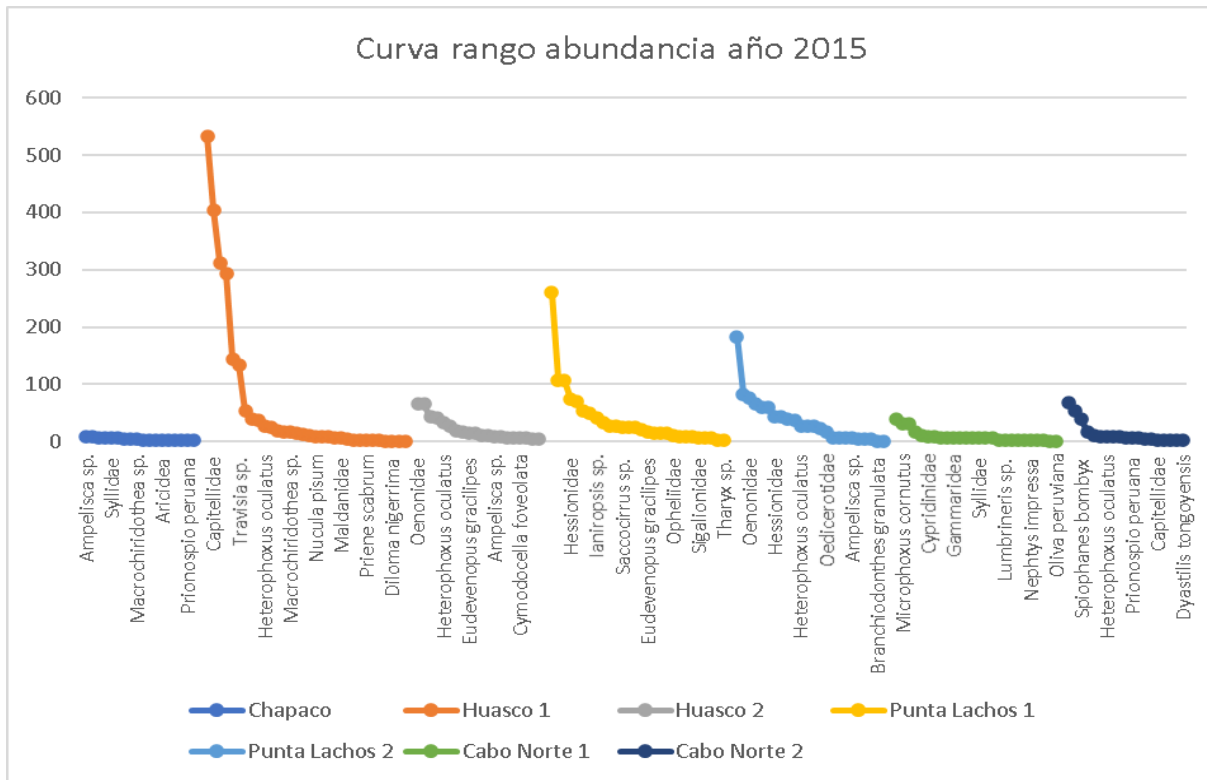


Figura 66 – Curva abundancia macro-infaunal año 2015

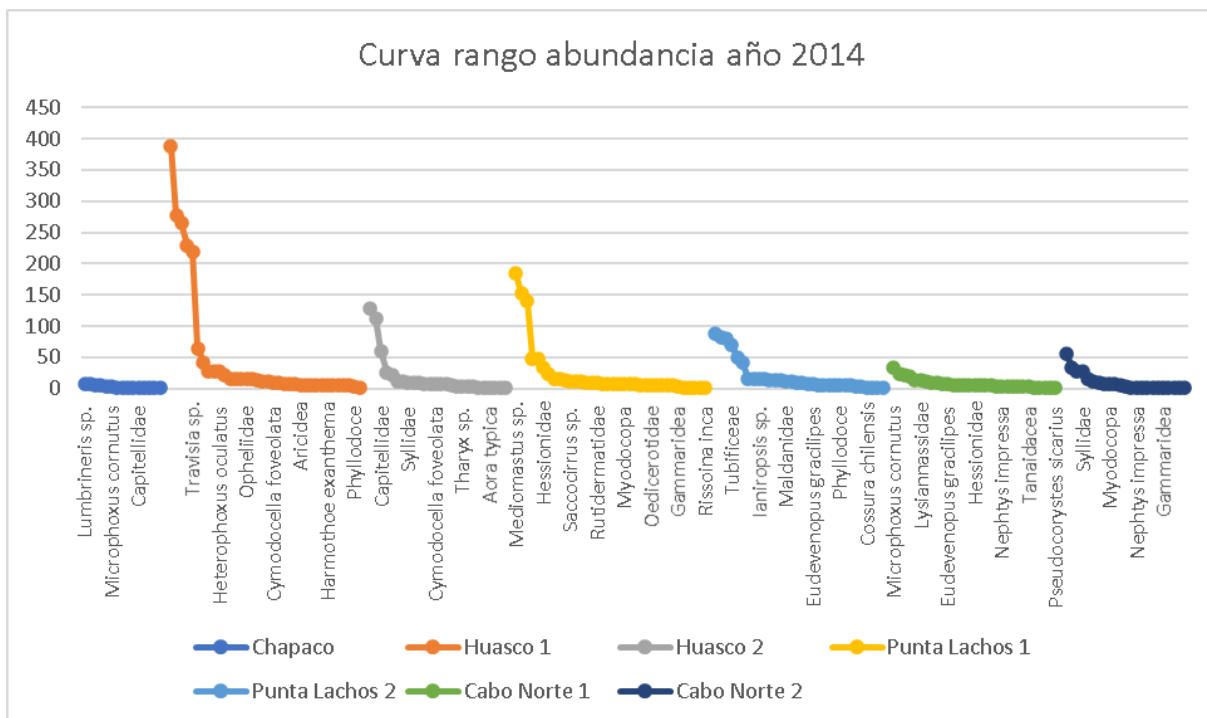


Figura 67 – Curva abundancia macro-infaunal año 2014

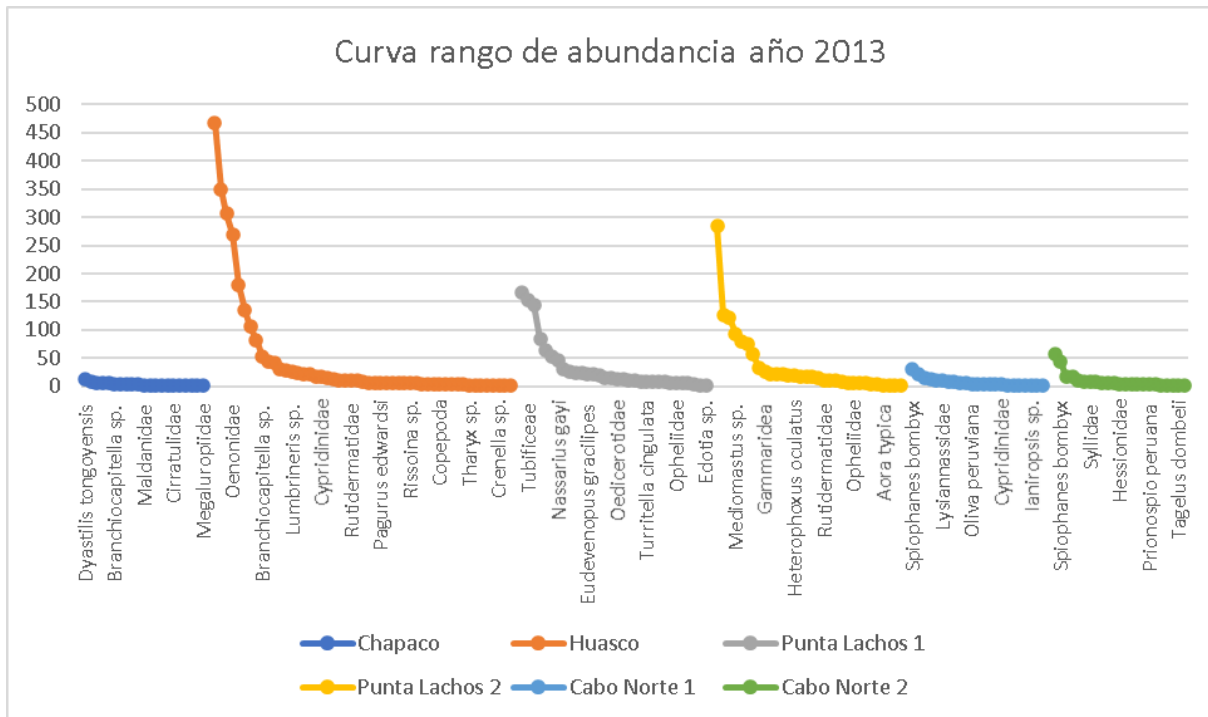


Figura 68 – Curva abundancia macro-infaunal año 2013

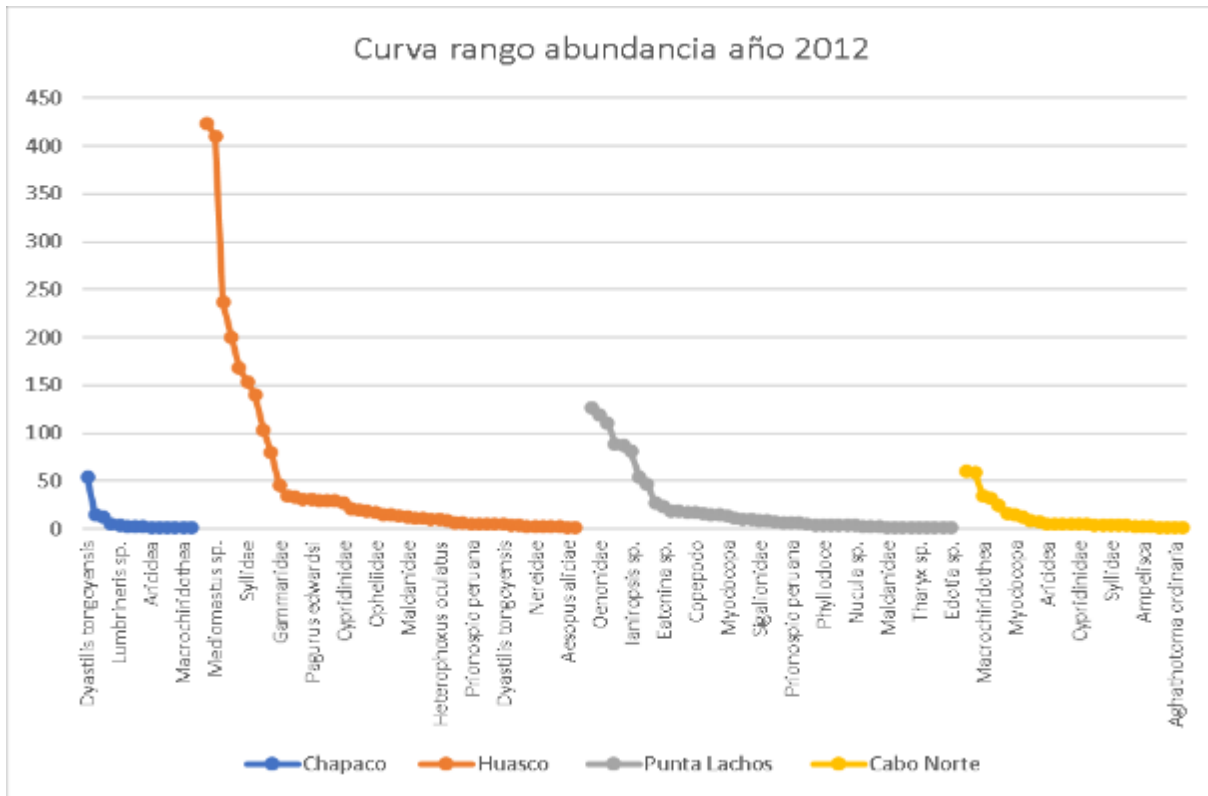


Figura 69 – Curva abundancia macro-infaunal año 2012

Con respecto a la relación entre abundancia y biomasa en las estaciones de muestreo analizadas desde el año 2012 al 2019, las curvas ABC indican una fuerte perturbación de la comunidad macro-infaunal de Cabo Norte 2 en invierno 2017, puesto que la curva de abundancia cruza la de biomasa y el valor del estadístico W es negativo ($W = -0.29$). Sin embargo, el año anterior esta perturbación resultó ser moderada con ambas curvas acopladas y el estadístico W cercano a 0 ($W = -0.04$), y el año después esta perturbación parece haber sido superada con la abundancia desacoplada sobre la biomasa y un estadístico W relativamente alto ($W = 0.53$). En el resto de los sitios muestreados, las curvas ABC muestran la ausencia de perturbación ($W \gg 0.2$ y hasta 0.7), pero con Cabo Norte, Punta Lachos 2, y Huasco 2 muestreados en 2017 y Chapaco 2018 mostrando una perturbación moderada (i.e., abundancia acoplada con biomasa y $W \sim 0$).

Comunidades intermareales y submareales de fondo duro

Considerando que la descarga del relave se realizó durante 16 años en la zona intermareal de Chapaco el PVA contempla el monitoreo anual de las comunidades del intermareal y submareal rocoso dentro de la Ensenada Chapaco (zona impactada con hasta 3 y 2 sitios muestreados en el submareal), sitios vulnerables hacia el sur de Chapaco (Punta Lachos y Punta Lachos 2) y una zona considerada como control al norte de la bahía de Huasco (Cabo Norte y Cabo Norte 2). Así cada monitoreo estimó el porcentaje de cobertura de organismos sésiles (algas, cirripedios) y el número de individuos m^2 de organismos móviles (moluscos, equinodermos). Durante el monitoreo intermareal los 2 transectos por zona de estudio fueron divididos en franja supra-litoral, franja medio-litoral y franja infra-litoral, para poder estandarizar la clasificación de las especies, así como las bajas abundancias detectadas. En la franja supra-litoral se registró la cobertura de los cuatro taxa más representativos (*Cirripedia*, *Scurria viridula*, *Nodilittorina spp.* y *Pyropia columbina*), además del porcentaje de roca libre. En la franja medio-litoral e infra-litoral se registró la cobertura y abundancias de todos los taxa presentes, sumando 37 y 30 taxa, respectivamente. Durante el monitoreo submareal, y por medio de buceo semi-autónomo se midió la cobertura de macro-algas y la densidad y talla de la fauna submareal usando tablas de chequeo.

Si bien esta licitación no contempló la revisión específica de los bosques de algas, es posible señalar que en la franja infra-litoral y submareal de Cabo Norte, Cabo Norte 2, frente al actual relaveducto, al costado sur de la Ensenada Chapaco y en Punta Lachos 2 dominan las algas *Mesophyllum sp.* y *Lessonia spp.* Por otra parte, en el sector ubicado frente al ex-relaveducto (costado norte) predomina *Lessonia sp.* Asimismo, se observó abundante cobertura de las macro-algas *Lessonia spp.*, *Corallina officinalis* y *Mesophyllum spp.* en el sector ubicado al costado sur de la descarga.

Los discos de adhesión de *Lessonia nigrescens*, al igual que los discos de otras Laminariales, albergan gran cantidad de invertebrados y vertebrados acuáticos. Aun cuando se conocen algunos aspectos de la comunidad de organismos que habitan estos discos, se desconocen sus variaciones estacionales o las variaciones de esta comunidad a medida que el disco aumenta de tamaño. Independientemente de lo anterior, sí es posible concluir que las correlaciones entre densidad, biomasa y tamaños promedio por individuo permiten formar grupos ecológicos naturales de especies. Esto determina que una especie o grupos de especies utilicen el disco de manera diferencial, en forma simultánea o a lo largo del ciclo de vida de la planta. De tal manera que los procesos de crecimiento, reclutamiento, desove y emigración de especies pueden estar ocurriendo simultáneamente en el disco hábitat (Vásquez y Santelices, 1984).

Con respecto a la zonación de las comunidades submareales de fondo duro, es posible señalar que la desaparición del alga parda submareal *Lessonia trabeculata*, siendo reemplazada por fondo blanqueado dominado por algas crustosas y pobre en fauna móvil, aunque se mantuvo como patrón comunitario hasta el año 2004, a partir del 2005 se ha registrado la consolidación de un cinturón de *Lessonia nigrescens* en el

nivel bajo del intermareal, acompañado de una comunidad similar a sectores fuera de la Ensenada Chapaco, y el reclutamiento en el submareal de ambos costados de la ensenada Chapaco del gusano tubícola *Phragmatopoma sp.*, formador de arrecifes y generador de condiciones para favorecer el aumento de biodiversidad en el sector Ensenada Chapaco, y un reclutamiento en el submareal de ambos costados de la Ensenada Chapaco del gusano tubícola *Phragmatopoma spp.*, el cual forma arrecifes favoreciendo el aumento de biodiversidad en el sector.

2.2 Muestreo y análisis dentro de borde costero de la comuna de Huasco enfocado en Chapaco

Este objetivo buscó evaluar la calidad ambiental de los ecosistemas marinos frente a la descarga de CAP, a través del uso de indicadores reflejando cambios en componentes y/o procesos definidos de un ecosistema.

Para esto, se realizó un levantamiento de información de los componentes físico-químicos y biológicos en Chapaco (sitio impactado) y Huasco (sitio de referencia) incluyendo: i) caracterización físico-química de la columna de agua, ii) caracterización físico-química del sedimento submareal, iii) estructura de comunidades intermareales de fondo duro, y iv) estructura de comunidades submareales de fondo blando. Se obtuvieron parámetros poblacionales (abundancia, biomasa) y comunitarios (riqueza), se construyeron curvas ABC, y usó como un indicador directo de contaminación la bioacumulación de metales en lapas. El uso de metodologías estándar (ver abajo) permitió integrar (y comparar) el comportamiento de la columna de agua, sedimentos y componentes bióticos con los reportados en los PVA.

2.2.1 Sitio de estudio

La ensenada Chapaco (28°29.1'S; 71°15.5'W) está ubicada al sur de la península Guacolda, entre punta Mariposa y la punta Huasco Sur en la comuna de Huasco, región de Atacama. El ambiente litoral se caracteriza por la predominancia de playas rocosas expuestas, exceptuando la bahía de Huasco que posee una costa arenosa con una rompiente de intensidad intermedia¹¹. La ensenada Chapaco es angosta con aprox. 900 m de ancho y 700 m de largo la que se profundiza rápidamente desde los 5 m hasta una profundidad máxima en su boca de 75 m, pendiente que favorece la retención de sólidos sedimentables.

2.2.2 Muestreo

Los trabajos en terreno (de aquí en adelante “muestreo EnSoil”) fueron realizados el 1 de abril del 2022, los cuales, contemplaron el muestreo de agua de mar, sedimentos y lapas en los sectores de ensenada Chapaco y bahía Huasco. El muestreo EnSoil contempló tres estaciones de muestreo aguas adentro de la Ensenada Chapaco y una estación en Bahía Huasco (Tabla 20, Figura 70 y Figura 71). En cada estación se realizó un perfil de CTD y colectaron muestras discretas de agua a media profundidad para mediciones de pH y potencial Redox (1 muestra) y de sedimento, tanto para su caracterización granulométrica y fisicoquímica (1 muestra) como análisis de la biota macro-infaunal (2 muestras). Además, se recolectaron lapas desde la zona intermareal de Chapaco. Las muestras fueron colectadas desde un bote, siendo etiquetadas y almacenadas en coolers para su posterior transporte al laboratorio.

¹¹ <https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/playas/>.

Tabla 20 – Ubicación de estaciones de muestreo

Sector	Estación	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
Ensenada Chapaco	echfb1	Cha1	278969	6847074
Ensenada Chapaco	echfb2	Cha2	278649	6846900
Ensenada Chapaco	echfb3	Cha3	278167	6846744
Bahía Huasco	hfb1	Hua1	283523	6851518

Coordenadas en UTM, Datum WGS84, huso 19



Figura 70 – Ubicación de las estaciones de muestreo en la Ensenada Chapaco



Figura 71 – Ubicación de la estación de muestreo en Bahía Huasco

Las estaciones de muestreo en bahía Chapaco están definidas en función a la comparación de la información previamente recabada en muestreos ejecutados por la empresa CMP mediante monitoreos informados a la Superintendencia de Medio Ambiente, como un elemento formal de comparación cualitativa de las características del agua de mar, los sedimentos y la macroinfauna submareal de fondo blando. Cabe destacar que el muestreo en la ensenada Chapaco alcanzando los 12, 22 y 28 m de profundidad cubrió un gradiente desde 3 hasta 9 m de depositación del relave de CMP entre 1993-2011 (ver Fig. 2.3.2-6 y 2.3.2-7 en la línea de base del medio físico marino del EIA de CMP).

En cuanto al muestreo de moluscos gastrópodos como bioindicadores, se eligieron a las lapas (*Fissurella spp*), los que se identifican como grandes bioindicadores sobre la calidad del medio ambiente y sobre el estado de conservación de los ecosistemas naturales (Ramírez, R., 2019). El género corresponde a moluscos herbívoros de amplia distribución en hábitat del intermareal y submareal de fondos duros, asociados en el caso de individuos pequeños generalmente a cinturones de algas (*Gelidium sp.* *Lessonia nigrescens*, *Ulva sp.*) y los individuos de mayor tamaño asociados a moluscos (*Perumytilus purpuratus*, *Tegula atra*, *Chiton latus*, *Chiton granosus*, *Prisogaster niger*) y crustáceos (*Balanus laveis*, *Jehlius cirratus*).

Las lapas se alimentan de macroalgas corticadas y constituye presa del sol de mar (*Heliaster helianthus*) tanto en la zona intermareal como submareal, los individuos juveniles serían predados por vertebrados tales como: el pejesapo (*Sicyases sanguineus*); pejeperro (*Pimelometopon maculatus*); vieja colorada (*Semicossyphus darwini*); mulata (*Graus nigra*) y chungungo (*Lontra felina*) (Olivares et al. 1998). Esto la convierte en una especie biondicadora importante, ya que puede dar información de efectos de contaminación a distintos niveles tróficos.

Por otra parte, el género *Fissurella*, en Chile está representado por 13 especies, de las cuales 10 conforman recursos pesqueros que los transforma en un elemento de interés comercial al presentarse como recurso hidrobiológico que las comunidades locales utilizan para consumo propio o como fuente de ingreso. Esto

las convierte también en relevantes para determinar posibles efectos a la salud por el consumo de estos recursos de presentar contaminación.

2.2.3 Protocolos de terreno y laboratorio

Columna de agua

En cada estación se desplegó un CTD equipado con sensores de oxígeno y turbidez registrando continuamente la conductividad, temperatura, presión, oxígeno disuelto y turbidez (con salinidad calculada desde conductividad, temperatura y presión). De forma paralela, se estimó la profundidad máxima de penetración de la luz utilizando un disco Secchi. Muestras discretas de agua fueron colectadas con una botella Niskin (5 l), almacenadas en frascos de vidrio, y una vez en el laboratorio ALS (acreditado por el INN bajo norma ISO 17025) se midieron analíticamente los silicatos, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, sulfuros, fosfatos, nitrógeno amoniacal, hidrocarburos (TPH) y metales pesados.

Sedimentos marinos

El muestreo se realizó utilizando una draga Van Veen de 0,1 m² de mordida para mantener consistencia con monitoreos previos realizados. En cada una de las estaciones se obtuvo 1 muestra. Las muestras fueron guardadas en envases de vidrio o plástico, etiquetadas y transportadas al laboratorio donde se midieron los metales pesados, pH, aceites y grasas, hidrocarburos (TPH), junto con análisis granulométrico.

Comunidades submareales de fondo blando

Las muestras fueron obtenidas con una draga Van Veen de 0,1 m² de mordida, las que fueron almacenadas en bolsas de polietileno, etiquetadas, fijadas con formalina al 5% diluida en agua de mar, y transportadas al laboratorio donde se lavaron con agua corriente y filtraron a través de un tamiz de 1 mm de abertura de malla. La infauna encontrada fue separada e identificada al nivel taxonómico más bajo posible, mediante una lupa estereoscópica. Los taxa identificados fueron contados y se obtuvo su peso húmedo con una balanza semi-analítica con una precisión de 0,001 g.

Bioacumulación en lapas

Para determinar la presencia de metales pesados en lapas se colectaron individuos desde el intermareal rocoso al costado norte de la Ensenada Chapaco. Se retiró la concha y alrededor de 150 g de tejido blando fue inmediatamente almacenado en un cooler con ice-packs para mantener la temperatura bajo los 4°C y transportadas al laboratorio para el análisis de metales acumulados en los tejidos.

2.2.4 Resultados

En las siguientes secciones se presentan los resultados del muestreo EnSoil detallado anteriormente. Los resultados por muestra se compararán con normativa chilena (de existir para la matriz ambiental referida) y/o internacional, en particular la norma australiana “*Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*” de Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ) (ANZECC & ARMCANZ, 2000), en adelante referida como la “norma australiana”. Con respecto a la norma australiana para agua se utilizarán valores para la protección del 95% de las especies. La norma australiana para sedimentos contempla dos niveles de riesgo en orden ascendente: el ISQG-L que representa un nivel donde

podría haber efectos a la biota, y el ISQG-H donde habrá probablemente efectos a la biota. Para la comparación se utilizará el nivel ISQG-L.

Los informes de laboratorio se presentan en el Anexo 7.

2.2.4.1 Matriz fisicoquímica del agua de mar

A continuación, se presentan los parámetros fisicoquímicos medidos en la columna de agua (muestreo continuo) y a media profundidad (muestreo discreto). Para la columna de agua se presentan los valores en superficie, media profundidad y fondo (Tabla 21), mientras que para la matriz de metales disueltos (Tabla 22) se incluye la norma australiana para agua de mar como forma de comparación, para los analitos en que exista valor de referencia, y para la matriz de sólidos suspendidos, macro-nutrientes y otros (Tabla 23), se incluye como referencia los valores indicados por la tesis “Índice de Calidad de Aguas Costeras para Chile” de la Universidad de Chile (Calderón, 2019). En cada tabla, se destacan en negrita los valores sobre la respectiva norma.

Tabla 21 – Parámetros fisicoquímicos de la columna de agua

Estación	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Conductividad (mS/cm)	Salinidad (g/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH	Potencial Redox (mV)	Penetración luz Secchi (m)
echfb1	1	14,89	41,94	34,29	4,67	3,72	-	-	-
	6	14,81	42,16	34,47	4,62	1,67	8,15	424	10
	12	14,07	41,49	34,49	3,82	2,51	-	-	-
echfb2	1	14,82	41,58	34,19	4,05	1,07	-	-	-
	11	14,66	42,04	34,49	4,4	1,82	7,98	386	8
	22	13,60	41,02	34,49	3,13	1,41	-	-	-
echfb3	1	14,8	41,14	33,82	4,34	0,98	-	-	-
	14	14,59	41,94	34,47	4,40	1,41	8,01	410	10
	28	13,30	40,74	34,49	2,66	0,88	-	-	-
hfb1	1	14,99	32,50	28,5	5,60	2,19	-	-	-
	7	15,19	42,53	34,48	4,44	1,08	8,17	452	8
	13	15,03	42,4	34,49	4,36	1,1	-	-	-

Tabla 22 – Metales disueltos en muestras de agua de mar

Muestra	Aluminio	Antimonio	Arsénico	Bario	Berilio	Bismuto	Boro	Cadmio
Cha1_w	0,01	0,0003	0,0352	0,0039	< 0,00002	0,0002	3,373	0,00026
Cha2_w	< 0,01	0,0007	0,0027	0,0028	< 0,00002	< 0,00002	3,421	0,00052
Cha3_w	0,05	0,0022	< 0,0003	0,0078	< 0,00002	< 0,00002	3,46	0,00026
Hua1_w	< 0,01	< 0,0002	0,0044	0,014	< 0,00002	< 0,00002	4,739	< 0,00002
Norma	0,055 ^a	0,27 ^b	0,013 ^{a,c}	-	0,00013 ^{a,b}	0,0007 ^{a,b}	5,1 ^b	0,0055
LQ	0,01	0,0002	0,0003	0,0003	0,00002	0,00002	0,002	0,00002

Muestra	Calcio	Cesio	Cobalto	Cobre	Cromo	Oro	Hierro	Plomo
Cha1_w	398,48	< 0,0005	0,0005	< 0,0005	< 0,0001	< 0,0005	0,074	< 0,0004
Cha2_w	391	< 0,0005	0,0004	< 0,0005	< 0,0001	< 0,0005	< 0,006	< 0,0004
Cha3_w	398,9	< 0,0005	< 0,0001	0,0025	0,0001	< 0,0005	0,185	0,1466
Hua1_w	413,8	< 0,0005	< 0,0001	0,0022	< 0,0001	< 0,0005	< 0,006	0,084
Norma	-	-	0,001	0,0013	0,010 ^d	-	0,3 ^{a,b}	0,0044
LQ	0,06	0,0005	0,0001	0,0005	0,0001	0,0005	0,006	0,0004

Muestra	Litio	Magnesio	Manganeso	Mercurio	Molibdeno	Níquel	Fósforo	Potasio
Cha1_w	0,239	1373,715	0,0008	0,001	0,0101	< 0,0001	0,421	369,098
Cha2_w	0,083	1294,415	< 0,0001	0,0003	0,0096	< 0,0001	< 0,005	369,496
Cha3_w	0,149	1275,05	0,0048	0,0009	0,0118	< 0,0001	0,307	370,754
Hua1_w	0,174	1290,301	< 0,0001	0,0003	0,0093	< 0,0001	0,246	384,859
Norma	-	-	0,0800 ^b	0,0004	0,023 ^b	0,07 ^b	-	-
LQ	0,000	0,005	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,005	0,009

Muestra	Rubidio	Selenio	Silicio	Plata	Sodio	Estroncio	Talio	Telurio
Cha1_w	0,108	< 0,0003	< 0,03	0,00016	11467,18	7,3983	< 0,0002	< 0,0005
Cha2_w	0,1068	< 0,0003	< 0,03	0,00003	10842,27	7,351	< 0,0002	< 0,0005
Cha3_w	0,108	0,0173	< 0,03	0,00036	10746,94	7,5431	0,0003	< 0,0005
Hua1_w	0,112	0,0056	3,62	0,00008	10841,27	7,427	< 0,0002	0,0056
Norma	-	0,011 ^a	-	0,0014	-	-	0,017 ^b	-
LQ	0,0005	0,0003	0,03	0,00002	0,01	0,0006	0,0002	0,0005

Muestra	Estaño	Titanio	Torio	Tungsteno	Uranio	Vanadio	Ytrio	Zinc	Zirconio
Cha1_w	0,0005	< 0,0002	< 0,0005	< 0,0005	0,00266	< 0,0003	< 0,0005	0,0214	< 0,0005
Cha2_w	< 0,0005	< 0,0002	< 0,0005	< 0,0005	0,00265	< 0,0003	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0005
Cha3_w	0,0006	< 0,0002	< 0,0005	< 0,0005	0,00282	< 0,0003	< 0,0005	0,0102	< 0,0005
Hua1_w	0,0009	< 0,0002	< 0,0005	< 0,0005	0,00283	< 0,0003	< 0,0005	0,0131	< 0,0005
Norma	0,01 ^b	-	-	-	0,0005 ^{a,b}	0,1	-	0,015 ^b	-
LQ	0,0005	0,0002	0,0005	0,0005	0,00006	0,0003	0,0005	0,0007	0,0005

Concentraciones en mg/L.

Notas: **a** – no existe norma para agua de mar, por lo que se utilizó la de agua dulce. Se desestimaron los valores interinos de aluminio (0,0005 mg/L), arsénico (0,0045 mg/L), selenio (0,003 mg/L)

b – valor interino. No hay datos suficientes para derivar un valor de referencia confiable, se debe utilizar solo de manera indicativa.

c – la norma para arsénico (V) es de 0,013 mg/L y para arsénico (III) es de 0,024 mg/L.

d – la norma para cromo (III) es de 0,0274 mg/L y para cromo (VI) es de 0,0044 mg/L.

- : no existe norma australiana para el elemento.

LQ: límite de cuantificación de laboratorio.

Tabla 23 – Sólidos suspendidos, macro-nutrientes y otros parámetros en muestras de agua de mar

Muestra	Sólidos Suspendidos Totales	Sólidos Disueltos Totales	Sílice (SiO ₂)	Fosfato (PO ₄)	Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	Sulfuro
Cha1_w	5	35802	< 0,30	0,66	< 0,10	< 0,01
Cha2_w	8	35528	< 0,30	0,69	< 0,10	< 0,01
Cha3_w	24	35660	< 0,30	0,45	< 0,10	< 0,01
Hua1_w	6	34452	< 0,30	0,83	< 0,10	< 0,01
Norma	-	-	-	-	0,75 ^a	0,001 ^b
LD	3	10	0,3	0,09	0,10	0,01

Concentraciones en mg/L.

Notas: **a** – valor para amoníaco total como nitrógeno en agua de mar a pH 8,1.

b – la norma es para sulfuro de hidrógeno en agua dulce.

- : no existe norma australiana para el elemento.

LD: límite de detección de laboratorio.

Tabla 24 – Resultados de hidrocarburos para muestras de agua

Muestra	TPH (C10-C40)
Cha1_w	< 0,002
Cha2_w	< 0,002
Cha3_w	< 0,002
Hua1_w	< 0,002
LD	0,002

Concentraciones en mg/L.

LD: límite de detección de laboratorio.

En cuanto a los resultados de mediciones in-situ, estos indicaron un rango normal de parámetros físico-químicos, esperables en agua de mar para temperatura, salinidad, conductividad, El oxígeno disuelto se encuentra, sin embargo, mayormente en el rango de calidad “inadecuada” (de 2 a 5 mg/L) con algunos resultados “aceptable” (de 5 a 6 mg/L). pH. Con respecto a los nutrientes y otros indicadores, los sólidos suspendidos totales se encuentran en el rango “óptimo” (de 0 a 8 mg/L) y “adecuado” (de 8 a 30 mg/L) según Calderón (2019), mientras que las concentraciones de fosfato se encuentran en la categoría “pésima” (mayor a 0,08 mg/L) según Calderón (2019). Las concentraciones de sílice y sulfuro se encuentran bajo los límites de detección en todas las muestras.

A partir de los resultados de metales en las muestras de agua, es posible indicar la presencia de concentraciones mayores a los niveles de referencia para arsénico, cobre, plomo, mercurio, selenio, uranio y zinc. Con respecto a estos contaminantes se puede indicar lo siguiente:

- La muestra Cha1_w presenta concentraciones de arsénico mayores a la norma australiana. Cabe destacar que no existe normativa para agua de mar para este elemento, por lo tanto, la referencia utilizada corresponde a agua dulce. Las muestras Cha2_w, Cha3_w y Hua1_w presentan concentraciones menores a la referencia utilizada.

- Las muestras Cha3_w y Hua1_w superan la normativa australiana para cobre (para agua de mar, con un 95% de protección de especies), mientras que las muestras Cha1_w y Cha2_w se encuentran en concentraciones menores al límite de detección de laboratorio.
- Las muestras Cha3_w y Hua1_w superan la normativa australiana para plomo (para agua de mar, con un 95% de protección de especies), mientras que en las muestras Cha1_w y Cha2_w se encuentran concentraciones menores al límite de detección de laboratorio.
- Las muestras Cha1_w y Cha3_w superan la referencia australiana para mercurio (para agua de mar, con un 95% de protección de especies), pero esta referencia está presentada en la norma australiana solo de manera indicativa, por falta de datos en su determinación. En tanto, las muestras Cha2_w y Hua1_w se encuentran en concentraciones menores a la referencia.
- La muestra Cha3_w presenta concentraciones de selenio mayores a la norma australiana. Cabe destacar que no existe normativa para agua de mar para este elemento, por lo tanto, la referencia utilizada corresponde a agua dulce. En tanto, la muestra Hua1_w presenta concentraciones menores a la referencia utilizada; y en las muestras Cha1_w, Cha2_w se encuentran concentraciones menores al límite de detección de laboratorio.
- Todas las muestras superan la referencia australiana de uranio. Sin embargo, se debe destacar que la referencia para uranio está presentada en la norma australiana solo de manera indicativa para agua dulce, por falta de datos en su determinación. Además, los valores naturales de uranio en agua de mar están en el rango de los 0,0033 mg/L (U. S. Department of Energy, 1979) (mayor a lo encontrado en el muestreo), por lo tanto, no se considera impactada por este elemento.
- La muestra Cha1_w presenta concentraciones de zinc mayores a la norma australiana. Cabe destacar que la referencia para zinc está presentada en la norma australiana solo de manera indicativa, por falta de datos en su determinación. Por otro lado, las muestras Cha3_w y Hua1_w presentan concentraciones menores a la referencia utilizada; y en la muestra Cha2_w se encuentran concentraciones menores al límite de detección de laboratorio.

Por otro lado, los metales aluminio, antimonio, berilio, bismuto, cadmio, cobalto, cromo, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, plata, talio, estaño y vanadio se presentan en concentraciones menores a la normativa australiana. Los metales cesio, oro, titanio, torio, tungsteno, ytrio y zirconio se encuentran bajo los límites de detección de laboratorio. Para el resto de los elementos no existe normativa australiana de referencia.

Por último, se puede indicar que ninguna de las muestras presenta concentraciones detectables de hidrocarburos totales del petróleo (TPH).

En conclusión, se puede indicar existen concentraciones de **arsénico, cobre, mercurio, plomo, selenio y zinc** superiores a la normativa australiana para agua de mar en bahía de Huasco y ensenada Chapaco. No se observa una tendencia marcada comparativamente entre las muestras de Chapaco y Huasco.

2.2.4.2 Matriz química de los sedimentos

A continuación, se presentan los resultados de los análisis químicos de las muestras de sedimentos tabulados por tipo de contaminante (Tabla 25). Se incluye la norma australiana para sedimentos como forma de comparación, para los analitos en que existe valor de referencia. En cada tabla, se destacan en **negrita** los valores sobre la respectiva norma.

Tabla 25 – Metales en sedimento

Muestra	Aluminio	Antimonio	Arsénico	Bario	Berilio	Bismuto
Cha1_s	9080	< 1,50	40,1	7,31	< 2,00	< 1,00
Cha2_s	10515	< 1,50	32,7	9,16	< 2,00	< 1,00
Cha3_s	14564	< 1,50	19,5	11,2	< 2,00	< 1,00
Hua1_s	6660	< 1,50	5,4	37,3	< 2,00	< 1,00
Norma	-	2	20	-	-	-
LQ	140	1,5	1	1	2	1

Muestra	Cadmio	Calcio	Cromo	Cobalto	Cobre	Hierro
Cha1_s	< 0,90	44779	16,3	779	123	171230
Cha2_s	< 0,90	33019	11,9	207	99,9	156365
Cha3_s	< 0,90	22852	10,6	48,1	229	71984
Hua1_s	< 0,90	7519	18,3	7,66	17,7	19994
Norma	1,5	-	80	-	65	-
LQ	0,9	25	7	1	1,75	140

Muestra	Plomo	Litio	Magnesio	Manganeso	Mercurio	Molibdeno
Cha1_s	3,32	9,43	12857	520	< 1,30	4,04
Cha2_s	7,75	20,3	15473	972	< 1,30	5,2
Cha3_s	7,08	31,8	30701	1678	< 1,30	< 1,20
Hua1_s	8,91	10,9	4746	223	< 1,30	< 1,20
Norma	50	-	-	-	0,15	-
LQ	1	1,5	13	13	1,3	1,2

Muestra	Níquel	Fósforo	Potasio	Selenio	Plata	Sodio
Cha1_s	139	17803	2071	< 1,50	< 0,600	1775
Cha2_s	55,1	13230	1394	< 1,50	< 0,600	1488
Cha3_s	33,4	5841	1672	1,58	< 0,600	5632
Hua1_s	11,1	636	827	< 1,50	< 0,600	2419
Norma	21	-	-	-	1	-
LQ	2,2	2,5	15	1,5	0,6	15

Muestra	Estroncio	Talio	Estaño	Titanio	Uranio	Vanadio	Zinc
Cha1_s	39,2	< 1,00	< 1,00	552	1,71	374	32,3
Cha2_s	27	< 1,00	< 1,00	512	< 1,50	385	71,4
Cha3_s	28	< 1,00	< 1,00	1418	< 1,50	313	146
Hua1_s	28	< 1,00	< 1,00	770	< 1,50	51,7	41,1
Norma	-	-	-	-	-	-	200
LQ	12	1	1	30	1,5	1,1	1,2

Concentraciones en mg/kg.

- : no existe norma australiana para el elemento.

LQ: límite de cuantificación de laboratorio.

Tabla 26 – Hidrocarburos en sedimento

Muestra	Estación	Sector	F1 (C6-C10)	F2 (C10-C16)	F3 (C16-C34)	F4 (>C34)	Aceites y Grasas
Cha1_s	echfb1	Chapaco	60,4	< 21	37	103	< 25
Cha2_s	echfb2	Chapaco	< 30,0	< 21	21	135	< 25
Cha3_s	echfb3	Chapaco	98,8	43	1671	845	< 25
Hua1_s	hfb1	Huasco	76,7	< 21	23	135	< 25
Norma			Total: 280 mg/kg				-
LD/LQ			30	21	15	22	25

Concentraciones en mg/kg.

- : no existe norma australiana para este analito.

LD/LQ: límite de detección/cuantificación de laboratorio.

Tabla 27 – Valores de pH en sedimento

Muestra	Estación	Sector	pH
Cha1_s	echfb1	Chapaco	8,8
Cha2_s	echfb2	Chapaco	9,2
Cha3_s	echfb3	Chapaco	9
Hua1_s	hfb1	Huasco	8,9

Tabla 28 – Granulometría del sedimento

Muestra	Malla N° 5 (4 mm)	Malla N° 10 (2 mm)	Malla N° 18 (1 mm)	Malla N° 20 (850 µm)	Malla N° 35 (500 µm)	Malla N° 60 (250 µm)	Malla N° 100 (150 µm)	Malla N° 140 (106 µm)	Malla N° 200 (75 µm)	% Fino (< 75 µm)
Cha1_s	1,07	1,48	0,37	0,19	0,55	0,92	4,24	15,74	25,29	50,12
Cha2_s	0,77	1,19	0,25	0,07	0,25	0,77	5,17	18,7	28,92	43,86
Cha3_s	2,41	11,66	12,26	3,12	10,14	9,51	4,34	2,14	5,95	38,47
Hua1_s	0,54	1,04	0,27	0,16	1,72	12,66	15,88	18,11	30,48	19,13

% retenido en cada malla.

A partir de los resultados de metales en sedimentos, se puede indicar, en primer lugar, que todas las muestras analizadas tienen concentraciones bajo los límites de detección de antimonio, berilio, bismuto, cadmio, mercurio, plata, talio y estaño.

La comparación con la normativa australiana indicada anteriormente da cuenta de la superación de estas para **arsénico, cobre y níquel** para algunas de las muestras. En tanto, los elementos antimonio, cadmio, cromo, plomo, plata y zinc estarían presentes en concentraciones permitidas por la normativa de referencia. No es posible, sin embargo, concluir acerca de las concentraciones del resto de los elementos analizados, por falta de valores referenciales. A pesar de lo anterior, se ve una diferencia de concentraciones de cobalto, hierro y vanadio entre las muestras tomadas en la ensenada de Chapaco y la muestra tomada en Huasco (siendo las primeras mucho más elevadas).

Con respecto a los metales presentes en concentraciones mayores a la norma australiana, se puede indicar lo siguiente:

- Las muestras Cha1_s y Cha2_s tienen concentraciones de arsénico mayores a la norma (20 mg/kg), con 40,1 mg/kg y 32,7 mg/kg, respectivamente. En tanto, las muestras Cha3_s y Hua1_s presentan concentraciones de arsénico menores, con 19,5 mg/kg y 5,4 mg/kg, respectivamente.
- Las tres muestras de Chapaco (Cha1_s, Cha2_s y Cha3_s) tienen concentraciones de cobre mayores a la norma (65 mg/kg), con 123 mg/kg, 99,9 mg/kg y 229 mg/kg, respectivamente. En tanto, la muestra Hua1_s presenta una concentración de cobre menor a la norma, con 17,7 mg/kg.
- Las tres muestras de Chapaco (Cha1_s, Cha2_s y Cha3_s) tienen concentraciones de níquel mayores a la norma (21 mg/kg), con 139 mg/kg, 55,1 mg/kg y 33,4 mg/kg, respectivamente. En tanto, la muestra Hua1_s presenta una concentración menor a la norma, con 11,1 mg/kg.

En conclusión, las muestras en Chapaco presentan concentraciones mayores a la norma australiana para **arsénico, cobre y níquel**. La muestra tomada en Huasco, sin embargo, no presenta superación de la normativa australiana para ninguno de los metales referidos en esta. Con respecto a los análisis de hidrocarburos totales del petróleo (TPH), llama la atención la **presencia de hidrocarburos** en sedimentos en las fracciones F1, F3 y F4, ya que claramente no obedecen a factores naturales. Además, la muestra Cha3_s supera la norma australiana de TPH para sedimentos (280 mg/kg), con una suma de sus fracciones de 2656 mg/kg.

Con respecto a los datos de granulometría, se puede observar que las muestras de sedimentos tomadas en la ensenada de Chapaco tienen un porcentaje mucho mayor de finos que la muestra tomada en Huasco. Además, las muestras más cercanas a la descarga tienen mayor cantidad de finos y este va disminuyendo a medida que se aleja de la descarga de relaves. Cabe destacar que como indicado más adelante en la sección 3.4.1.2, el relave (fase sólida de la pulpa) tiene una distribución de partículas en que el 90% corresponde a partículas finas menores a 74 μm , siendo el 47% menor a 7,5 μm . Lo anterior también concuerda con la información obtenida de estudios de CMP sobre la ubicación del relave depositado (que será discutido en sección 4.1), por lo tanto, las muestras de sedimentos tomadas corresponderían principalmente a relave.

2.2.4.3 Bioacumulación de metales en lapas

A continuación, se presentan los resultados de los análisis de metales de la muestra de lapas en Ensenada Chapaco, comparados con normativa nacional e internacional, además de estudios referenciales.

Como normativa nacional se utilizó como información referencial el Reglamento Sanitario de los Alimentos DS 977/96 del Ministerio de Salud, el cual entrega concentraciones límite permitidas para arsénico en moluscos, cobre en el ítem de otros productos, mercurio y plomo en mariscos frescos, selenio en el ítem de productos sólidos, y zinc en la categoría de otros productos. También se utilizó la norma australiana “Australia New Zealand Food Standards Code – Schedule 19 – Maximum levels of contaminants and natural toxicants”¹², para comparar elementos no establecidos en el reglamento chileno, particularmente cadmio.

Además, se incluye en la comparación los datos (promedio de las muestras de lapa) del estudio “Diagnóstico y monitoreo ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla” (CEA, 2020) como una forma de evaluar la concentración de metales en lapas en Chapaco en relación con otra bahía que presenta algún grado de impacto.

¹² Disponible en: <https://www.legislation.gov.au/Details/F2017C00333>

Tabla 29 – Metales en muestras de lapa y valores de referencia

Elemento	Muestra Cha_b	Límite de detección	D.S. 977/1996 MINSAL	Norma Australia	Estudio Bahía Algodonales Tocopilla ^a
Aluminio	28,4	0,4	-	-	23,333
Antimonio	0,059	0,002			
Arsénico	1,658	0,004	2	1	1,383
Bario	0,24	0,01			
Berilio	< 0,002	0,002			
Bismuto	< 0,002	0,002			
Boro	< 0,2	0,2			
Cadmio	2,238	0,001	-	2	0,215
Calcio	844	4			
Cobalto	0,007	0,004			
Cobre	0,403	0,02	10	-	114,867
Cromo	6,28	0,01	-	-	0,204
Estaño	0,1	0,02			
Estroncio	< 0,01	0,01			
Fósforo	7,93	2			
Hierro	1014	1	-	-	137,000
Litio	220,4	0,1			
Magnesio	< 0,4	0,4			
Manganeso	962,4	0			
Mercurio	3,32	0,04	0,5	1	0,004
Molibdeno	0,01	0			
Níquel	0,058	0,04			
Plomo	0,25	0	2	2	0,238
Potasio	< 4,000	4			
Rubidio	1826	0			
Selenio	0,78	0,01	0,3	-	0,160
Sodio	< 4,00	4			
Talio	6331	0			
Telurio	< 0,0040	0,004			
Uranio	< 0,000	0			
Vanadio	0,0226	0,02			
Zinc	0,62	0,1	100	-	8,190
Zirconio	5,9	0			

Concentraciones en mg/kg.

Nota: **a** – Los valores corresponden al promedio de las concentraciones de las muestras de lapa para cada metal.

A partir de los resultados presentados en la tabla precedente, es posible observar, en primer lugar, que la muestra tiene concentraciones detectables de la mayoría de los elementos analizados, a excepción de

berilio, bismuto, boro, estroncio, magnesio, potasio, sodio y uranio. Para el resto de los elementos, la concentración es de hasta 4 órdenes de magnitud mayor al límite de detección.

A pesar de lo anterior, la comparación con la normativa nacional e internacional indicada anteriormente da cuenta de la superación de estas para arsénico, cadmio, mercurio y selenio. En tanto, los elementos cobre y plomo estarían presentes en concentraciones permitidas por las normativas de referencia. No es posible, sin embargo, concluir acerca de las concentraciones del resto de los elementos analizados, por falta de valores referenciales.

Por último, al comparar las concentraciones de metales del presente estudio con el de CEA (2020), se puede observar que estos son relativamente similares para aluminio, arsénico y plomo. Las concentraciones de cobre y zinc en la muestra tomada en el presente estudio son menores a las del estudio de CEA. Por otro lado, para los metales cadmio, cromo, hierro, mercurio, selenio, las concentraciones del presente estudio son mayores a las obtenidas del estudio de CEA.

En conclusión, es posible indicar que existen concentraciones relativamente altas de algunos metales en la muestra de lapa obtenida en ensenada de Chapaco, que podría ser relevante. Sin embargo, no es posible concluir la existencia de posible riesgo ecológico o para los consumidores de productos del mar de ensenada Chapaco, debido a que este consistió solo en un muestreo puntual.

2.2.4.4 Comunidades submareales de fondo blando

Los resultados muestran un ensamble macro-infaunal empobrecido en Chapaco comparado con Huasco (Figura 72a). Esto comparando las curvas abundancia-biomasa (ABC) obtenidas a 12 y 13 m, donde la abundancia casi alcanza a la biomasa y el estadístico W es casi la mitad en Chapaco que en Huasco (Figura 72b). Aunque el grado de perturbación parece disminuir 10 m aguas adentro (22 m) con una separación de la curva ABC y aumento del estadístico W, solo 6 m aguas adentro desapareció la macro-infauna (28 m). Los perfiles de CTD-O muestran una columna de agua poco estratificada térmicamente en Chapaco y Huasco. La turbidez es máxima cerca de la costa y en los primeros 3 m en Chapaco y Huasco, con un peak sub-superficial en Chapaco (entre 10-14 m). Los niveles de oxígeno son preocupantemente bajo el límite para la vida acuática en ambos sitios (Figura 72c).

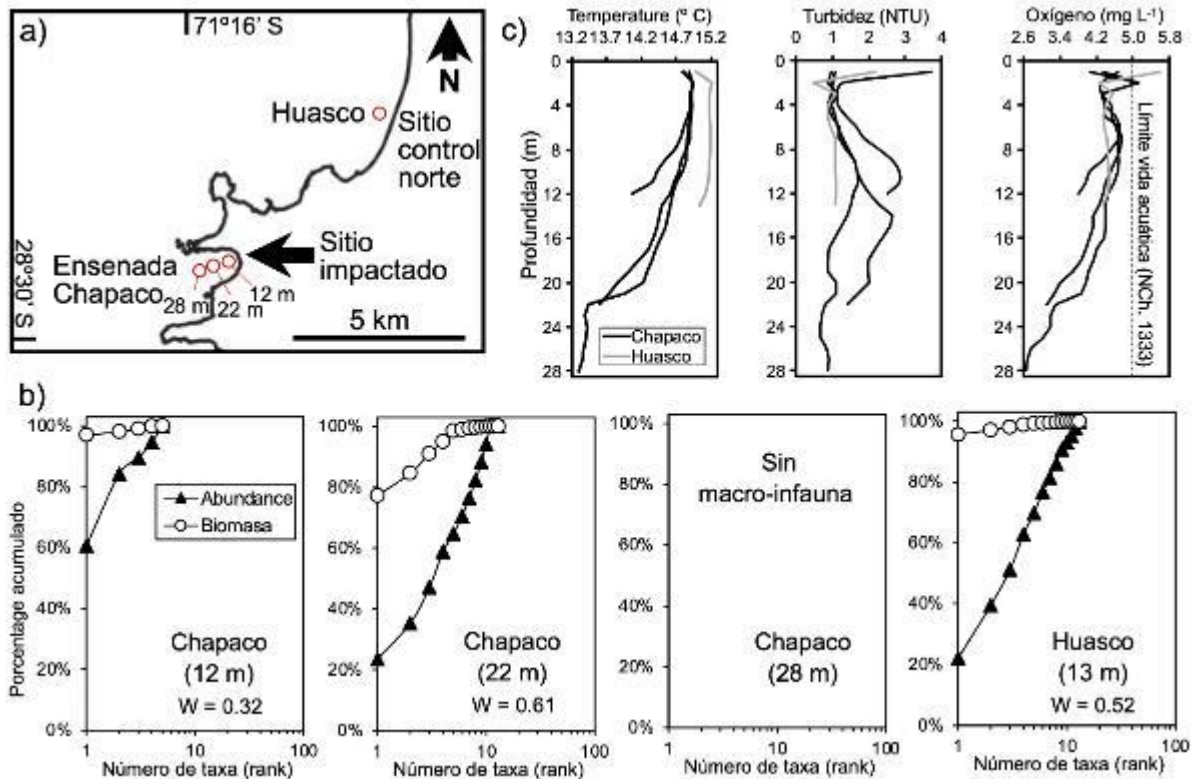


Figura 72 – (a) Línea de costa mostrando los sitios de estudio y estaciones de muestreo (círculos rojos) de la macro-infauna submareal en la Ensenada Chapaco (3 profundidades) y Huasco (1 profundidad). (b) Curvas de acumulación de abundancia y biomasa y estadístico W para Chapaco y Huasco. (c) Perfiles de temperatura, turbidez y oxígeno disuelto para Chapaco y Huasco

2.3 Comunidades intermareales de fondo rocoso

2.3.1 Metodología

Los trabajos en terreno (de aquí en adelante “muestreo EnSoil”) fueron realizados entre 22-24 de marzo, los cuales, contemplaron la caracterización de las comunidades de playas rocosas y arenosas en los sectores de Ensenada Chapaco (sitio impactado) y Bahía Huasco (sitio control).

Para medir la cobertura de organismos sésiles (algas, cirripedios) y abundancia de organismos móviles (moluscos, equinodermos) se examinaron transectos dispuestos desde la zona de más baja marea hasta la rompiente cercano al antiguo relaveducto (5 transectos) y en el faro y hacia el sur del faro de la Bahía de Huasco (2 transectos por sitio, ver Figura 73). Se utilizó un cuadrante de 0.25 m² con 100 puntos de intersección. Cuando la intensidad del oleaje fue baja, los cuadrantes fueron dispuestos de forma aleatoria en la franja supra-litoral, medio-litoral e infra-litoral (empezando desde la franja infra-litoral). Para la separación de estas tres franjas y con fines comparativos se utilizó la “Tabla de chequeo comunidades intermareales” contenida como anexo II del “Informe Anual 2019 Programa de Vigilancia Ambiental”. Se tomaron fotografías de los cuadrantes y videos de la geomorfología de los sitios muestreados y cuando no fue posible usar el cuadrante se registró la presencia/ausencia de especies. Como el intermareal constituido por rocas gigantes verticales presentó franjas muy compactas o ausentes (franjas supra- y medio-litoral), se prefirió muestrear zonas con las tres franjas definidas y evitando las pozas de marea.



Figura 73 – Mapa mostrando los sitios de estudio y estaciones de muestreo

2.3.2 Resultados

Transecto #1 Lugar descarga emisario de C.A.P. (mañana del 22-03-2022):

- Franja supra-litoral (Figura 74): En la parte superior, el litorínido *Echinolittorina peruviana* ocupó una baja porción del sustrato rocoso (< 5% cobertura y > 95% roca descubierta C1-C3), y abajo un parche de cirripedios dominó el sustrato (16%, 36% y 84% cobertura C4-C6 y hasta 11% roca descubierta C6) y *Echinolittorina peruviana* mantuvo una baja cobertura.



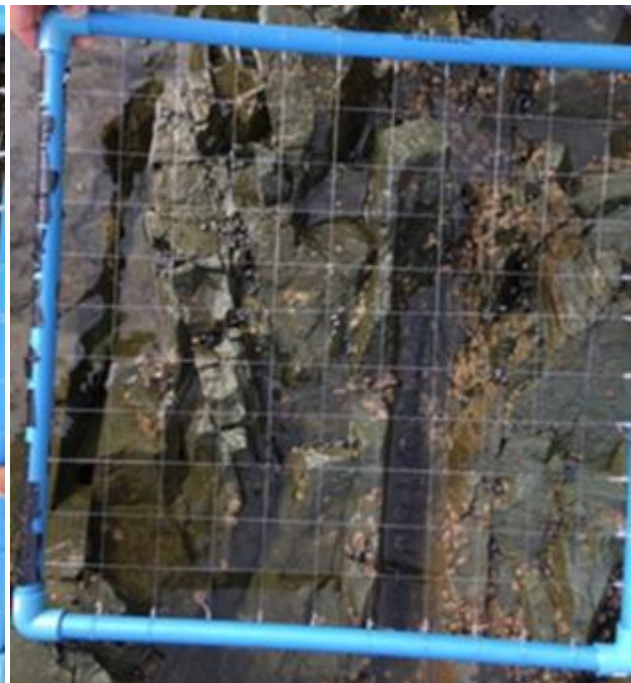
C3



C2



C1



C4

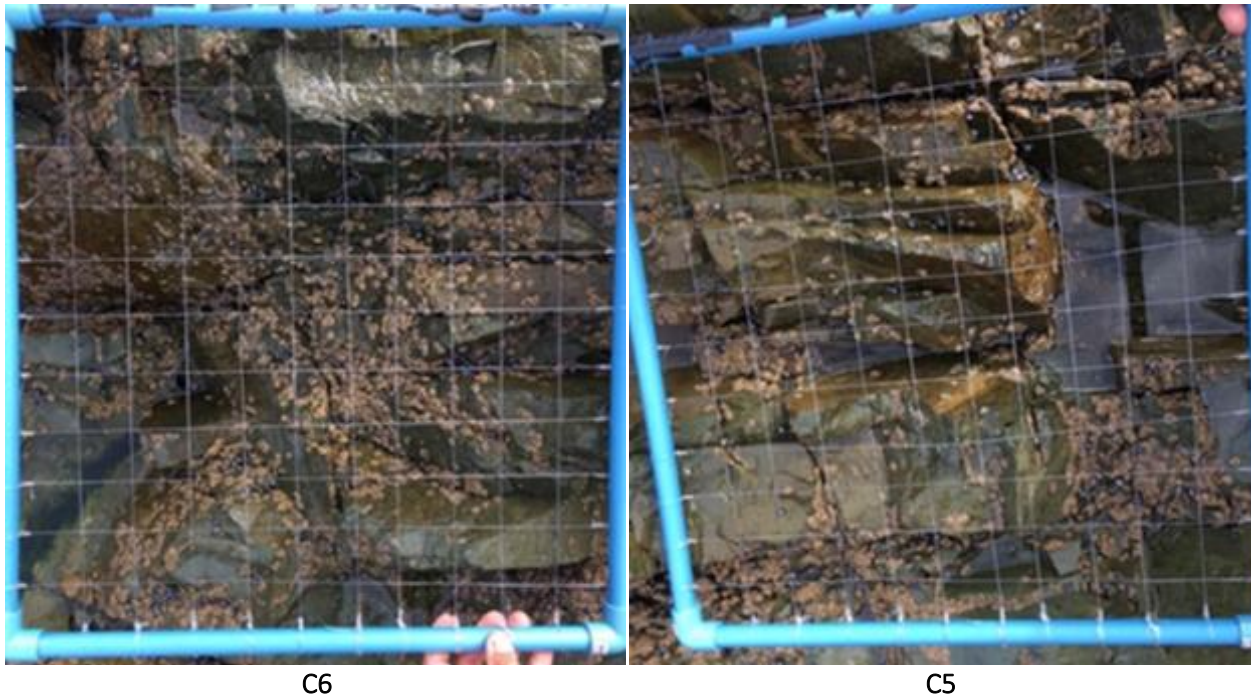


Figura 74 – Fotografías de la franja supralitoral

- Franja medio-litoral (Figura 75): Se observó una capa primaria de algas verdes (60% cobertura C7), rojas (14% cobertura C7) y calcáreas (10% cobertura C7), además de un parche de cirripedios (14% cobertura C7) y el depredador *Heliaster helianthus* (hasta 8 ind. m⁻² C7).

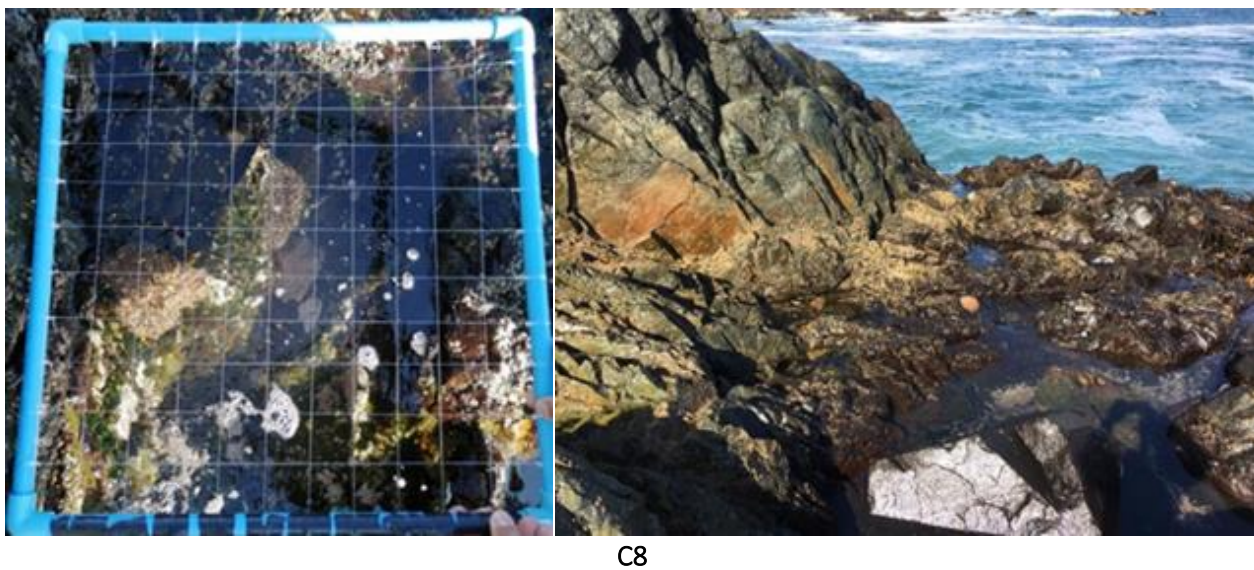


Figura 75 – Fotografías de la franja mediolitoral

- Franja infra-litoral (Figura 76): Debido a marejadas no se pudo usar el cuadrante, pero se pudo observar un cinturón de *Lessonia berteroa* (ex *L. nigrescens*, ver imágenes abajo).



Figura 76 – Fotografías de la franja infralitoral

Faro Monumental de Huasco (mañana 23-03-2022):

- Franja supra-litoral (Figura 77): Se observaron cirripedios y *Scurria* cf. *viridula* y más de la mitad del sustrato rocoso descubierto (C1).



C1

Figura 77 – Fotografías de la franja supralitoral

- Franja medio-litoral (Figura 78): Se observó una capa primaria de algas verdes (25% y 1% cobertura C2-C3) y calcáreas (hasta 100% cobertura C4) con el depredador *Stichaster striatus* (hasta 8 ind. m⁻² C4).



Figura 78 – Fotografías de la franja mediolitoral

- Franja infra-litoral (Figura 79): Por marejadas no se pudo usar el cuadrante, pero se observó una capa primaria de algas calcáreas con chitones, caracoles y anémonas (ver imágenes abajo).

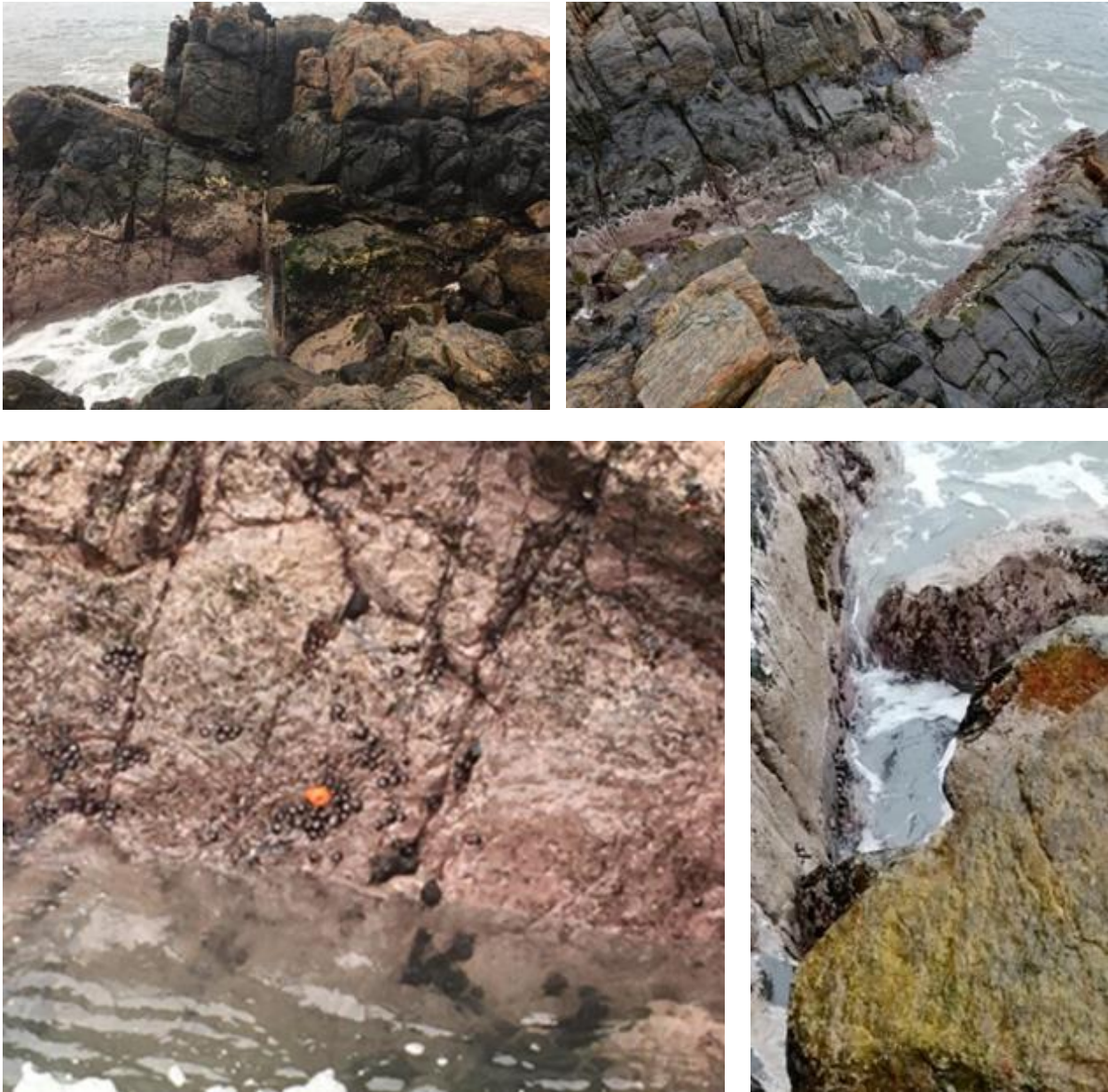


Figura 79 – Fotografías de la franja infralitoral

Al sur del Faro Monumental de Huasco (mañana 23-03-2022):

- Franja supra-litoral (Figura 80): Se observó a cirripedios y *Echinolittorina peruviana* cubriendo una baja porción del sustrato rocoso (< 10% cobertura y > 80% roca descubierta C1-C2).



Figura 80 – Fotografías de la franja supralitoral

Transecto #2 Al noroeste descarga emisario C.A.P. (mañana 24-03-2022)

- Franja supra-litoral (Figura 81): Se encontró < 5% cobertura de *Echinolittorina peruviana* (C1-C2).

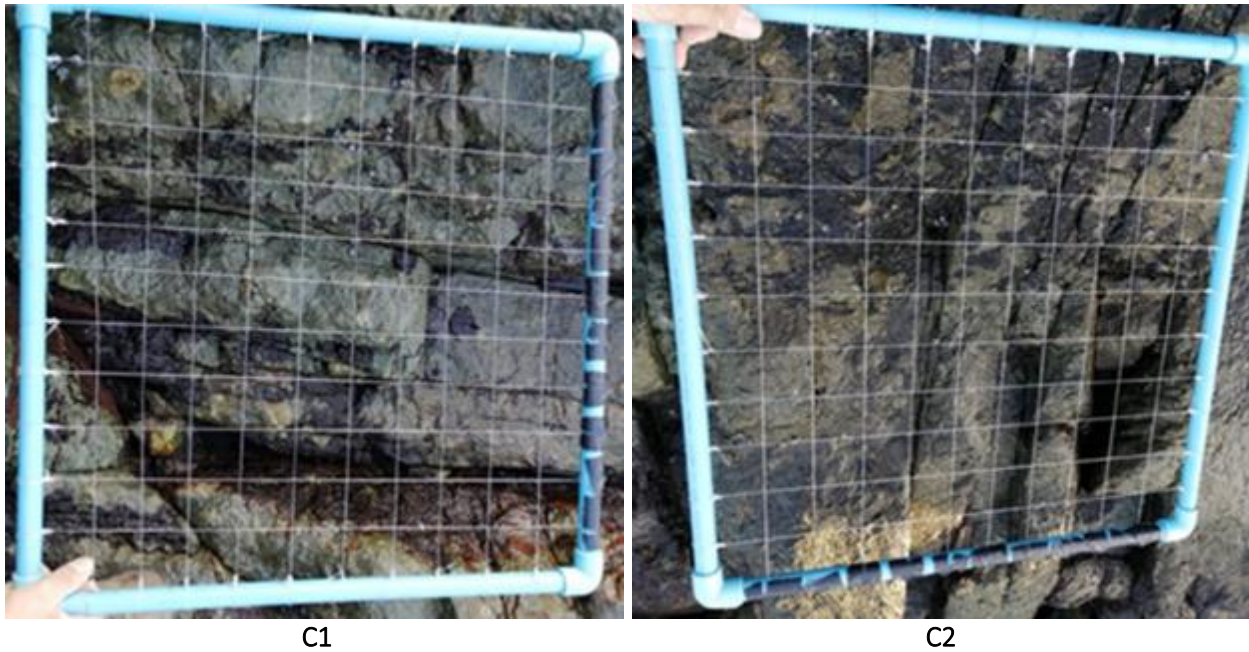


Figura 81 – Fotografías de la franja supralitoral

- Franja mediolitoral (Figura 82): Se encontró una capa primaria compuesta de algas verdes (30% cobertura C3) y rojas (36 % cobertura C4) y el herbívoro *Scurria viridula* (24 ind. m⁻² C4).



Figura 82 – Fotografías de la franja mediolitoral

- Franja infra-litoral (Figura 83): Por marejadas no se pudo usar el cuadrante, pero se pudo registrar la presencia de un cinturón de *Lessonia berteroa* y algas rojas y verdes (ver abajo).



Figura 83 – Fotografías de la franja infralitoral

Transecto #3 Al noroeste descarga emisario C.A.P. (mañana 24-03-2022):

- Franja supra-litoral (Figura 84): Se observó < 5% cobertura de *Echinolittorina peruviana* (C1-C2).

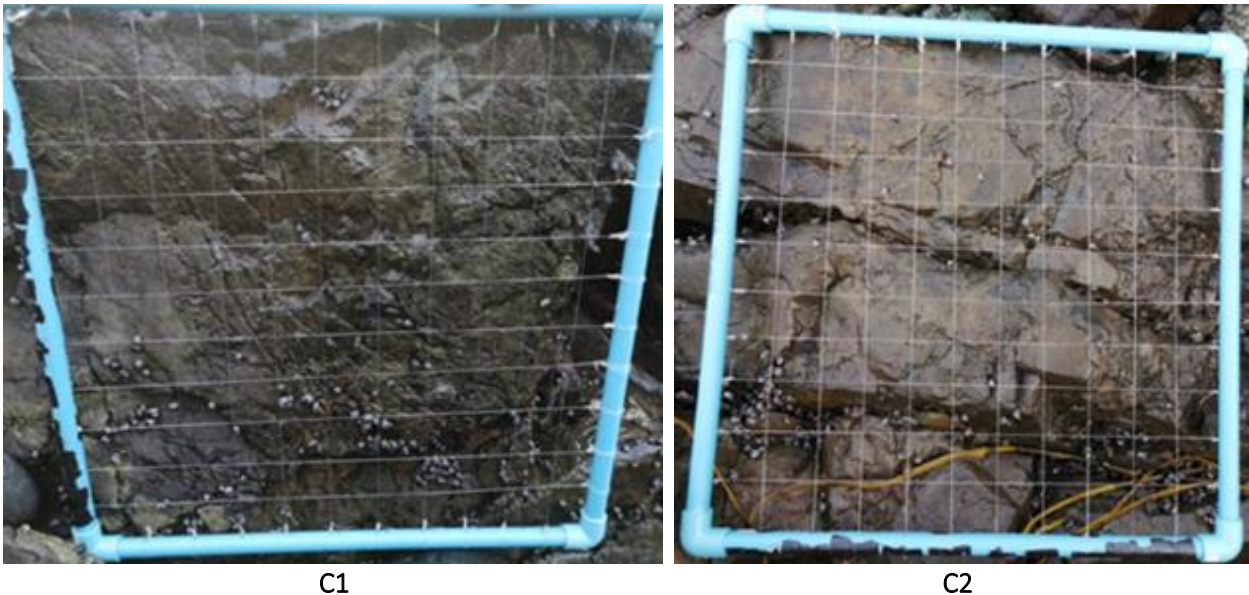


Figura 84 – Fotografías de la franja supralitoral

- Franja medio-litoral (Figura 85): Formado por algas verdes (< 15 % cobertura C4-5), litorínidos (< 5 % cobertura C4) y el depredador *Heliaster helianthus* (hasta 4 ind. m⁻² C4).



C3

C4

Figura 85 – Fotografías de la franja mediolitoral

- Franja infra-litoral (Figura 86): Se encontraron plantas de *Lessonia berteroana* y algas rojas y calcáreas (C5-C6).



C5

C6



Figura 86 – Fotografías de la franja infralitoral

Transecto #4 Al costado descarga emisario C.A.P. (mañana 24-03-2022)

- Franja supra-litoral (Figura 87): Dominaron las algas rojas y verdes (C1-C2).



Figura 87 – Fotografías de la franja supralitoral

- Franja medio-litoral (Figura 88): Se registró la abundancia de *Heliaster helianthus* (4 ind. m⁻² C3).

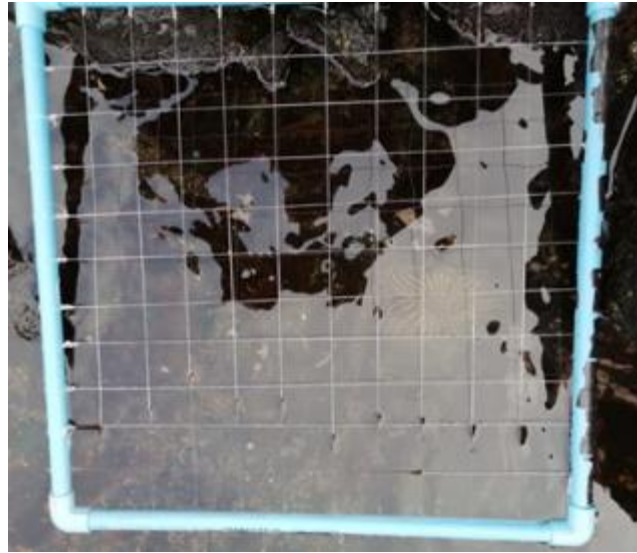


Figura 88 – Fotografías de la franja mediolitoral

- Franja infra-litoral (Figura 89): Por marejadas no se pudo usar el cuadrante, pero se pudo registrar la presencia de un cinturón de *Lessonia berteroa* (ver abajo).



Figura 89 – Fotografías de la franja infralitoral

Transecto #5 Al costado descarga emisario C.A.P. (mañana 24-03-2022)

- Franja supra-litoral: El litorínido *Echinolittorina peruviana* cubrió hasta 50% del sustrato (25%, 50% y 30% cobertura) y con hasta 20% de algas crustosas, y un 75%, 45% y 50% de roca descubierta.
- Franja medio-litoral: Se observó una capa primaria de *Ulva* spp. (10%, 50% y 10% cobertura), algas coralinas (0%, 40% y 20% cobertura) y *Polysiphonia* spp. (hasta 30% cobertura), y un parche de cirripedios (15% cobertura), y la anémona *Phymactis clematis* (hasta 88 ind. m⁻²; n = 3) y el asteroídeo *Heliaster helianthus* (hasta 4 ind. m⁻²; n = 3) como principales depredadores.
- Franja infra-litoral: Una capa primaria compuesta de *Lessonia berteroa* (40%, 50% y 30% cobertura) y *Polysiphonia* spp. (50%, 30% y 70% cobertura), con baja cobertura de cirripedios (< 5 %) y algas crustosas (< 10 %), *Heliaster helianthus* como depredador tope (hasta 8 ind. m²; n = 3), y < 10% siendo roca descubierta.

2.4 Análisis crítico de la información levantada bajo el prisma de la evolución de las condiciones ambientales/ecológicas de los ecosistemas marinos, y las poblaciones/comunidades intermareales y submareales emblemáticas de la Bahía de Chapaco y, si la información lo amerita, aquellas del borde costero de Huasco

2.4.1 Análisis global de base de datos levantada de agua y sedimentos

En la presente sección se analizará y caracterizará la base de datos levantada para las matrices de agua y sedimento.

2.4.1.1 Base de datos de muestreos de agua

La base de datos de agua (Anexo 8) se encuentra conformada por 596 muestras en total, de las cuales 425 muestras corresponden a la Ensenada de Chapaco y 171 a la Bahía de Huasco. Las fechas de muestreo abarcan desde el año 1993 al año 2022, donde se incluyen datos del muestreo realizado por EnSoil, POAL Huasco, POAL Chapaco, DIA Cese de Descarga de relaves, PVA CMP Pellet, entre otros.

Cabe destacar que la base de datos levantada presenta los datos sin modificaciones respecto a la fuente de información. En particular para los valores bajo los límites de detección se identificaron dos formas de reporte pudiendo ser registrados como valores menores al límite de detección o pudiendo ser remplazados por la mitad de este valor. Para el cálculo estadístico se reemplazaron todos los valores bajo el límite de detección por el valor del límite de detección dividido en dos.

En total se han monitoreado 93 analitos distintos, siendo el cadmio, cobre, plomo y mercurio los analitos que fueron monitoreados más constantemente, con un 92,4% de mediciones respecto al total de muestras. De los 93 analitos monitoreados 32 de ellos poseen sobre un 58% de mediciones respecto al total de muestras, para estos analitos se reportan en la Tabla 30, promedio, máximo, mínimo y desviación estándar. Por otro lado, se destaca el bajo porcentaje de medición para parámetros básicos y esenciales para la comprensión de la fisicoquímica del ambiente, como lo son el pH (5% del total de muestras) y el oxígeno disuelto (16% del total de muestras).

Tabla 30 – Resumen estadístico de base de datos de agua para analitos con mayor cantidad de mediciones respecto al total de muestras

Analito	% de mediciones respecto al total de muestras	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. estándar	Norma Australia
Cadmio disuelto (ug/L)	92%	0,26	0,12	0,00	2,00	0,23	5,5
Cobre disuelto (ug/L)	92%	2,81	0,70	0,03	439,00	19,88	1,3
Plomo disuelto (ug/L)	92%	1,21	0,50	0,00	146,60	7,37	4,4
Mercurio disuelto (ug/L)	92%	0,38	0,50	0,01	1,00	0,20	0,4
Arsénico disuelto (ug/L)	83%	2,08	1,74	0,15	35,20	2,35	13
Cromo disuelto (ug/L)	82%	1,08	0,50	0,01	161,60	7,80	10
Cinc disuelto (ug/L)	82%	5,88	1,60	0,01	211,00	12,91	15
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	81%	10,40	6,00	0,50	332,00	21,57	
Fosfatos (mg/L)	77%	0,05	0,03	0,00	0,83	0,07	
Hierro disuelto (ug/L)	73%	5,20	0,50	0,01	372,00	22,64	300
Manganeso disuelto (ug/L)	73%	1,54	0,61	0,05	74,80	4,03	80
Nitrato (mg/L)	69%	0,90	0,72	0,00	3,92	0,56	
Bario disuelto (ug/L)	68%	5,67	5,50	0,50	28,30	1,75	
Nitrito (mg/L)	66%	0,28	0,50	0,00	0,50	0,25	
Cobalto disuelto (ug/L)	64%	0,45	0,50	0,03	2,60	0,18	1
Alcalinidad total (mg/L)	63%	111,18	111,00	102,00	120,00	3,59	
Nitrógeno amoniaco (mg/L)	59%	0,20	0,10	0,01	1,14	0,21	0,75
Aluminio disuelto (ug/L)	59%	16,79	15,00	0,01	83,00	18,47	55
Antimonio disuelto (ug/L)	59%	0,53	0,50	0,10	2,83	0,18	270
Níquel disuelto (ug/L)	59%	0,56	0,43	0,05	5,49	0,60	70
Selenio disuelto (ug/L)	59%	0,58	0,50	0,15	17,30	0,98	11
Plata disuelto (ug/L)	59%	0,45	0,50	0,03	0,54	0,13	1,4
Estroncio disuelto (ug/L)	59%	7741,37	7635,00	0,50	9740,00	795,57	
Estaño disuelto (ug/L)	59%	0,63	0,50	0,25	38,10	2,01	10
Calcio disuelto (mg/L)	59%	406,31	405,00	0,50	467,00	33,75	
Sólidos sedimentables (mg/L)	58%	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	
Fluoruro (mg/L)	58%	1,30	1,28	0,70	2,10	0,34	
Hierro ferroso (mg/L)	58%	0,47	0,50	0,06	0,50	0,11	
Titanio disuelto (ug/L)	58%	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	
Vanadio disuelto (ug/L)	58%	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	100
Azufre disuelto (ug/L)	58%	945,92	953,00	0,50	1030,00	68,02	
Carbono orgánico total (ug/L)	58%	3,32	2,40	0,50	15,20	2,63	

De la tabla anterior se puede destacar que existen valores máximos para cobre, plomo, arsénico, cromo disuelto, zinc, mercurio, aluminio y estaño que superan sus respectivas normas de referencia australianas. De manera contraria los valores máximos de plata, antimonio, manganeso, cadmio y níquel no superan sus respectivas normas de referencia australianas. Por otro lado, el promedio de cobre se encuentra por sobre los valores de referencia de normativa australiana, a diferencia de la mediana que se encuentra por bajo este valor. Para los promedios y medianas del arsénico, cadmio, cromo, manganeso, plomo y zinc, los valores se encuentran bajo normas de referencia australianas.

2.4.1.2 Base de datos de muestreos de sedimento

La base de datos de sedimentos (Anexo 9) se encuentra conformada por 165 muestras en total, de las cuales 91 muestras corresponden a la Ensenada de Chapaco y 74 a la Bahía de Huasco. Las fechas de muestreo abarcan desde el año 1999 al año 2022, donde se incluyen datos del muestreo realizado por EnSoil, POAL Huasco, POAL Chapaco y DIA Cese de Descarga de relaves.

Cabe destacar que la base de datos levantada presenta los datos sin modificaciones respecto a la fuente de información. En particular para los valores bajo los límites de detección se identificaron dos formas de reporte, pudiendo ser registrados como valores menores al límite de detección o pudiendo ser remplazados por la mitad de este valor. Para el cálculo estadístico se reemplazaron todos los valores bajo el límite de detección por el valor del límite de detección dividido en dos.

En total se han monitoreado 64 analitos distintos, los que incluyen metales, nutrientes, materia orgánica, carbono, pH, humedad, hidrocarburos totales del petróleo (TPH), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), aceites y grasas y PCBs. Dentro de este número se incluyen los distintos compuestos de PAH; y por otra parte, se debe notar que los TPH se reportan en distintas fracciones, que no fueron contabilizadas para el total.

De todos los analitos, el cadmio, cobre, plomo, mercurio y materia orgánica fueron monitoreados más constantemente, con más de un 90% de mediciones respecto al total de muestras (Tabla 31). En la tabla se indican los analitos que poseen sobre un 15% de mediciones respecto al total de muestras; para los cuales se reportan a continuación el valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar. Además, se presenta la norma australiana (ANZECC & ARMCANZ, 2000), para comparar con los valores promedios, mediana, y máximos de cada analito (resaltados en negrita aquellos que superan la normativa).

Los analitos no incluidos en la tabla (con reportes en menos de un 15% de las muestras) corresponden a los componentes específicos de PAHs (analizados en un 11,5% de las muestras), pentaclorofenol, xilenos, (6% de las muestras), pH, aceites y grasas y algunos metales como berilio, bismuto, calcio, litio, magnesio, molibdeno, potasio, sodio, talio y uranio (2,4% de las muestras). Los analitos no incluidos en la tabla no presentan valores de referencia en la normativa australiana.

De los 10 analitos más reportados, 7 tiene valor referencial en la normativa australiana, notándose que para cadmio, cobre, mercurio, cromo, zinc y arsénico existen muestras con valores mayores a esta norma.

Por otro lado, 6 elementos analizados en menos de un 40% de las muestras están contenidos en la normativa australiana para sedimentos, que corresponden a antimonio, níquel, plata, hidrocarburos totales, PCBs y suma de PAHs. Ente ellos destacan el níquel y los TPH, para los cuales existen muestras con valores mayores a la normativa de referencia.

Por último, de debe notar la necesidad de reportar, dentro de lo posible a futuro, fracciones de TPH consistentes a lo largo de los estudios, de manera de poder comparar de mejor manera entre uno y otro.

Tabla 31 – Resumen estadístico de base de datos de sedimentos para analitos con mayor cantidad de mediciones respecto al total de muestras

Analito	% de mediciones respecto al total de muestras	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. estándar	Norma Australia
Cadmio (mg/kg)	100,00	0,58	0,10	0,03	7,41	1,25	1,50
Cobre (mg/kg)	100,00	72,54	38,00	0,70	1196,86	110,35	65,00
Plomo (mg/kg)	100,00	4,73	3,25	0,25	36,07	5,37	50,00
Materia orgánica (%)	97,58	2,44	2,10	0,05	9,00	1,96	
Mercurio (mg/kg)	94,55	0,07	0,03	0,01	0,65	0,12	0,15
Cromo (mg/kg)	79,39	21,35	16,53	0,25	171,50	26,04	80,00
Zinc (mg/kg)	73,33	98,55	58,47	4,63	290,67	87,15	200,00
Arsénico (mg/kg)	67,27	15,65	19,97	0,05	43,97	12,19	20,00
TPH (mg/kg) *	50,30						
Fósforo (mg/kg)	46,67	686,30	53,70	0,05	17803,00	2616,27	
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/kg)	44,85	392,05	373,00	4,66	925,28	227,79	
Aluminio (mg/kg)	40,61	21363,77	23933,33	3610,00	36966,67	9736,06	
Antimonio (mg/kg)	40,61	0,56	0,57	0,28	1,04	0,15	2,00
Bario (mg/kg)	40,61	21,76	19,63	5,45	79,83	13,74	
Cobalto (mg/kg)	40,61	127,04	43,40	4,52	779,00	175,70	
Hierro (mg/kg)	40,61	93981,44	74933,33	10900,00	308000,0	65111,5	
Manganeso (mg/kg)	40,61	2129,86	1678,00	168,00	4813,33	1541,17	
Níquel (mg/kg)	40,61	43,05	28,53	11,10	139,00	29,64	21,00
Selenio (mg/kg)	40,61	1,11	0,75	0,25	3,60	0,88	
Plata (mg/kg)	40,61	0,09	0,06	0,03	0,30	0,08	1,00
Estroncio (mg/kg)	40,61	206,50	43,37	18,90	2030,00	474,99	
Estaño (mg/kg)	40,61	0,96	1,01	0,21	1,95	0,38	
Titanio (mg/kg)	40,61	1059,88	1028,33	228,00	2043,33	560,03	
Vanadio (mg/kg)	40,61	295,29	304,33	26,40	779,50	158,51	
Carbono orgánico (%)	38,18	0,75	0,28	0,04	6,06	1,40	
Carbono total (%)	38,18	1,45	0,70	0,17	8,23	2,07	
Carbono inorgánico (%)	38,18	0,70	0,42	0,06	3,93	0,75	
Azufre total (%)	38,18	1,22	0,59	0,04	7,40	1,50	
Sulfuros (%)	38,18	0,81	0,28	0,01	5,11	1,07	
FeO (%)	38,18	6,82	7,32	1,53	14,37	2,72	
Hidrocarburos totales (mg/kg)	35,76	24,15	5,00	0,25	501,00	84,34	280,00
Granulometría (%)	29,09						
PAH (mg/kg) **	26,67						
PCBs	21,82	0,08	0,05	0,00	0,92	0,15	34,00
Humedad (%)	16,97						
PAH total (mg/kg)	15,15	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,01

* Incluye todas las muestras analizadas por TPH (es decir, las reportadas como total y como fracción).

** Incluye todas las muestras analizadas por PAH (es decir, las reportadas como total (suma) y como compuestos específicos).

En la presente sección se realiza una descripción gráfica del monitoreo en la Bahía de Chapaco y en la Bahía de Huasco, realizando comparaciones para analitos de interés con normativa internacional, entre bahías y temporalmente.

2.4.1.3 Comparación de resultados de muestreos de agua con normativa internacional y entre bahías

En la presente sección se realiza una descripción gráfica del monitoreo en la Bahía de Chapaco y en la Bahía de Huasco, realizando comparaciones para analitos de interés con normativa internacional, entre bahías y temporalmente, para el muestreo en agua.

En la Figura 90 se presenta el porcentaje de muestras que se encuentra bajo cierta concentración de arsénico disuelto en agua de mar. Este gráfico se construye a partir de la totalidad de registros levantados en la base de datos para la Bahía de Chapaco y la Bahía de Huasco, ordenando los valores de menor a mayor. De esta manera, el gráfico presentado permite obtener dos tipos de conclusiones: primero, que en un casi el 100% de las muestras tomadas en conjunto para ambas bahías la concentración de arsénico disuelto se encuentra bajo el nivel de referencia australiano correspondiente a 13 $\mu\text{g/L}$. Se destaca además que la muestra con mayor valor de arsénico disuelto de la totalidad de las muestras corresponde a una de las tres muestras obtenidas en el muestreo realizado por EnSoil en abril de 2022 en la Bahía de Chapaco (ver sección 2.2.4), donde las otras dos muestras se encuentran también por sobre los valores de referencia australianos.

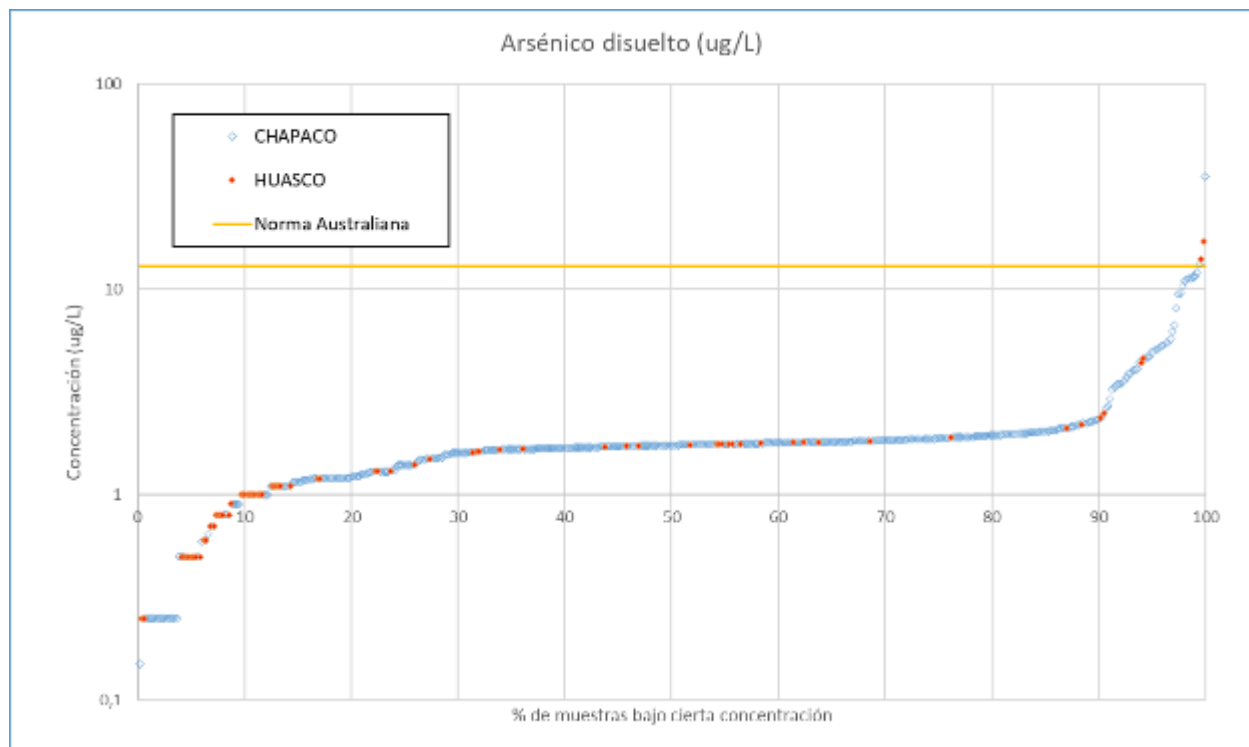


Figura 90 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de arsénico disuelto

En la Figura 91 se presenta un gráfico de la concentración de arsénico disuelto según las fechas de muestro, abarcando el periodo desde 1993 al 2022, diferenciando la bahía donde fue obtenida la muestra. Del gráfico se puede notar primero la inexistencia de datos reportados después de 1993 hasta noviembre de 2013, a pesar de existir muestreos entre 1999 y 2009, estos no realizaron mediciones de arsénico disuelto. En particular la Bahía de Huasco presentó mayores valores de arsénico disuelto para mediciones realizadas en julio de 2014 y la Bahía de Chapaco presentó valores elevados para el muestreo realizado en abril de 2020.

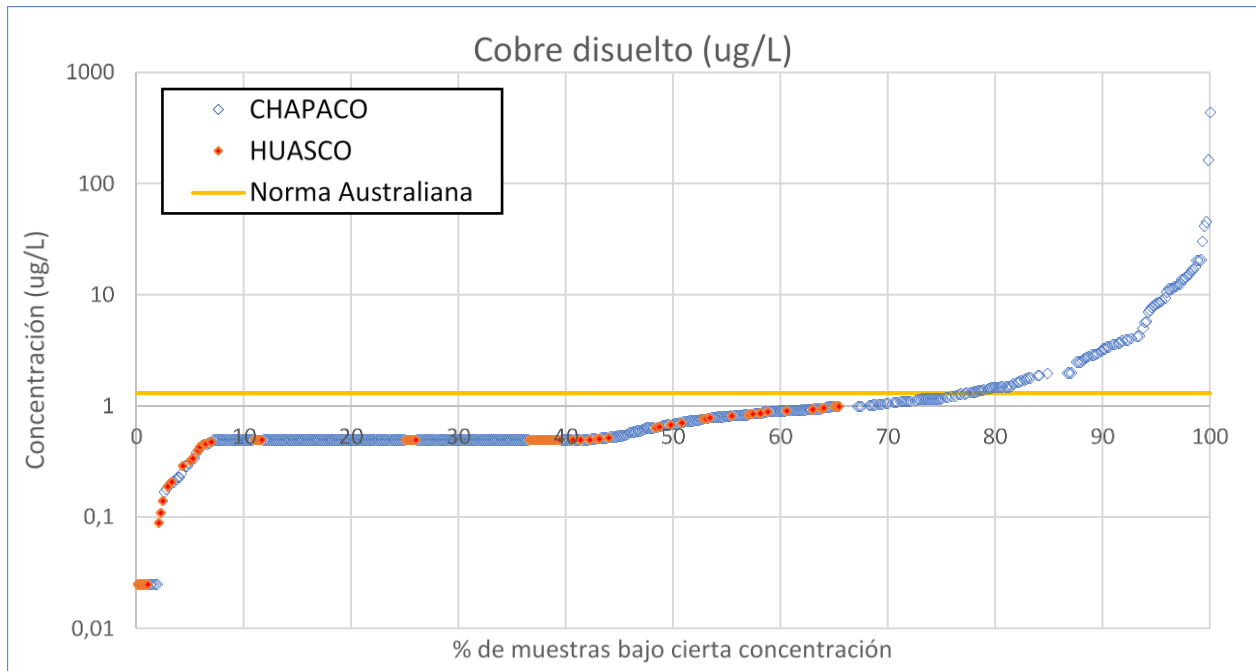


Figura 92 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de cobre disuelto

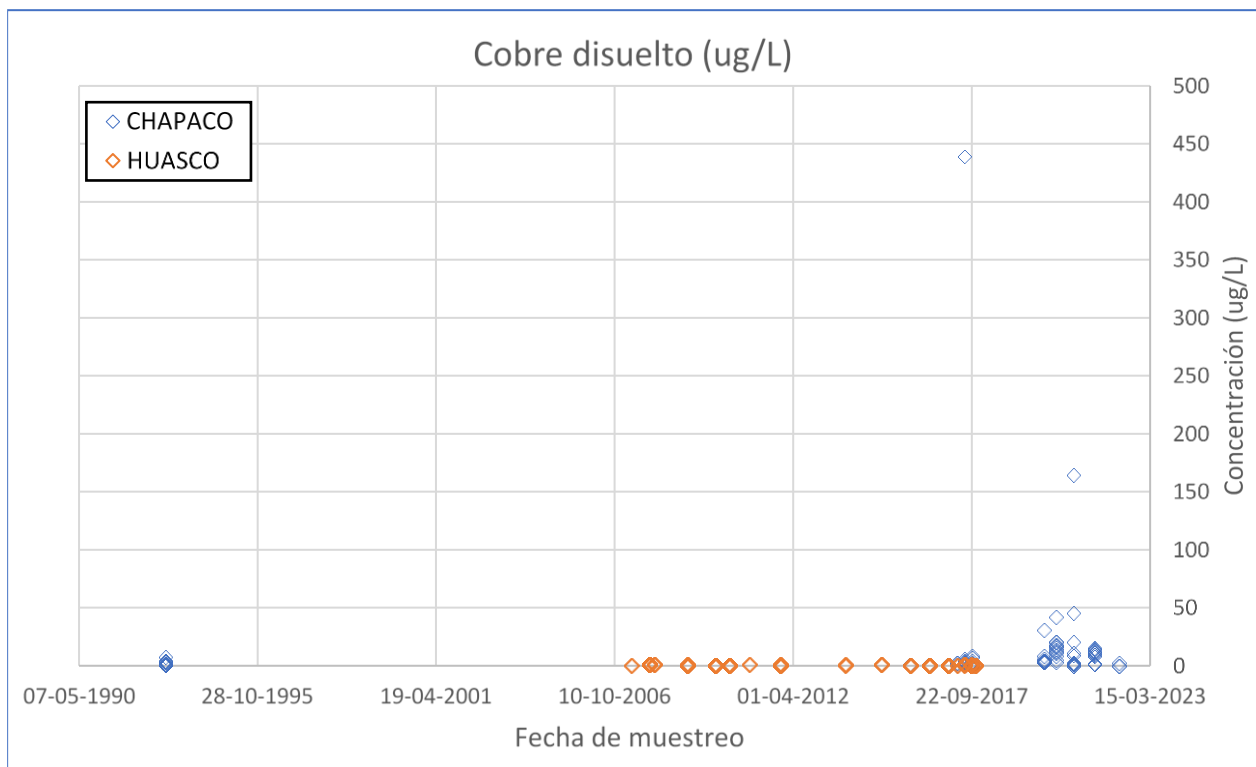


Figura 93 – Concentración de cobre disuelto según fecha de muestreo

En la Figura 94 se presenta el % de muestras que se encuentra bajo cierta concentración de plomo disuelto. Se destaca que en un 99% de las muestras tomadas en conjunto para ambas bahías, la concentración de plomo disuelto se encuentra bajo el nivel de referencia australiano correspondiente a $4,4 \mu\text{g/L}$. Una segunda conclusión hace referencia a las 5 muestras sobre el nivel de referencia, de las cuales 1 de ellas corresponden a la Bahía de Huasco y 4 a la Bahía de Chapaco. Se destaca además que las dos muestras con mayor valor de plomo disuelto de la totalidad de las muestras fueron obtenidas durante el muestreo realizado por EnSoil en Abril de 2022, correspondientes a una muestra de la Bahía de Chapaco y una de la Bahía de Huasco.

En la Figura 95 se presenta un gráfico de la concentración de plomo disuelto según las fechas de muestro, abarcando el periodo desde 1993 al 2022, diferenciando la bahía donde fue obtenida la muestra. Del gráfico se puede notar primero la inexistencia de datos reportados después de 1993 hasta abril de 2007, a pesar de existir muestreos entre 1999 y 2007, estos no realizaron mediciones de plomo disuelto. En particular para el año 2017 y 2022 existen valores altos de plomo disuelto en la Bahía de Chapaco, al igual que para el año 2022 en la Bahía de Huasco.

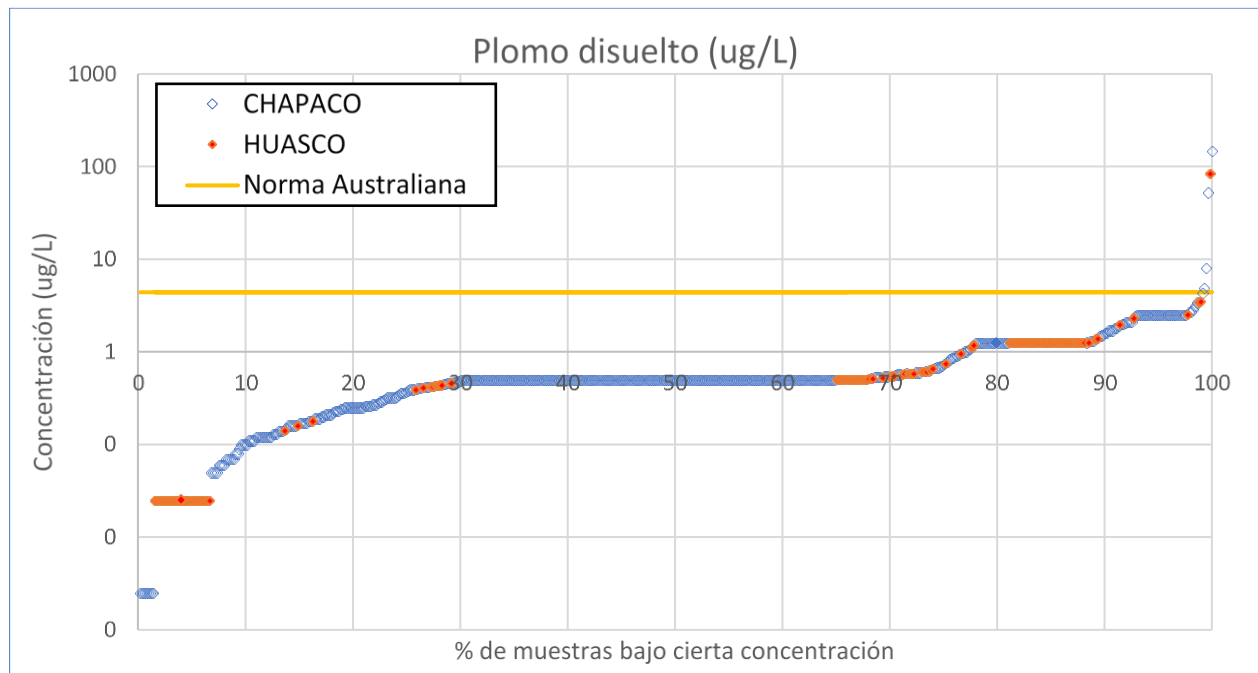


Figura 94 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de plomo disuelto

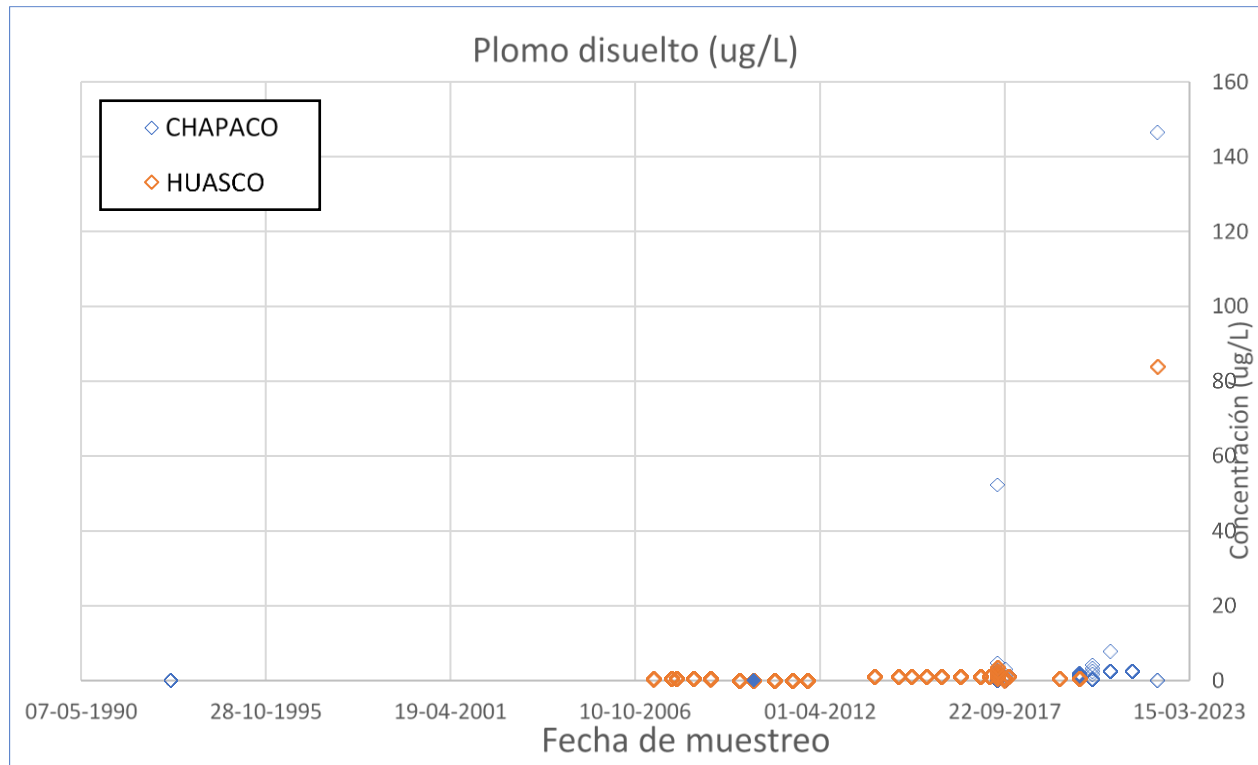


Figura 95 – Concentración de plomo disuelto según fecha de muestreo

En la Figura 96 se presenta el % de muestras que se encuentra bajo cierta concentración de cromo disuelto. Se destaca que en un 99% de las muestras tomadas en conjunto para ambas bahías, la concentración de cromo disuelto se encuentra bajo el nivel de referencia australiano correspondiente a 27,4 $\mu\text{g/L}$. Una segunda conclusión hace referencia a las 3 muestras sobre el nivel de referencia todas provenientes de la Bahía de Chapaco en los años 2019 y 2020.

En la Figura 97 se presenta un gráfico de la concentración de cromo disuelto según las fechas de muestreo, abarcando el periodo desde 1993 al 2022, diferenciando la bahía donde fue obtenida la muestra. Del gráfico se puede notar primero la inexistencia de datos reportados después de 1993 hasta abril de 2007, a pesar de existir muestreos entre 1999 y 2007, estos no realizaron mediciones de cromo disuelto. En particular para el diciembre de 2019 y abril de 2020 existen valores altos de cromo disuelto en la Bahía de Chapaco.

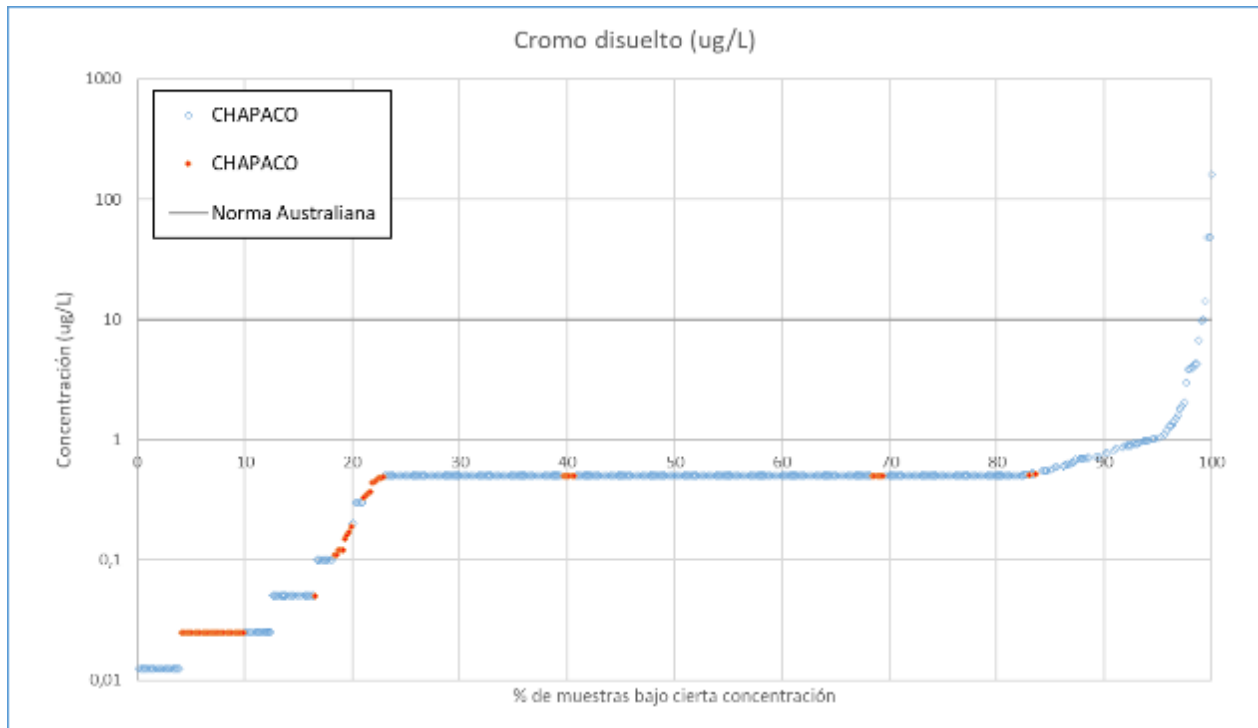


Figura 96 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de cromo disuelto

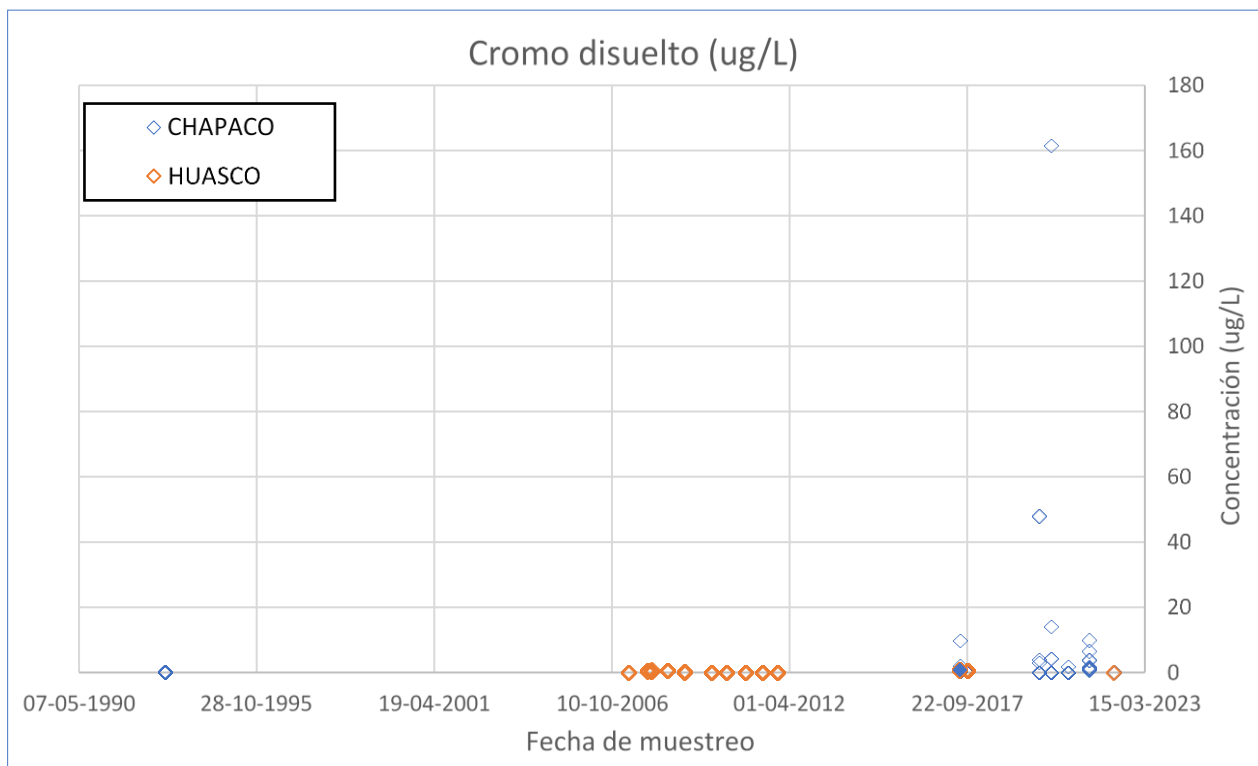


Figura 97 – Concentración de cromo disuelto según fecha de muestreo

En la Figura 98 se presenta el % de muestras que se encuentra bajo cierta concentración de zinc. Se destaca que en un 90% de las muestras tomadas en conjunto para ambas bahías, la concentración de zinc disuelto se encuentra bajo el nivel de referencia australiano correspondiente a 15 $\mu\text{g/L}$. Una segunda conclusión hace referencia a las 47 muestras sobre el nivel de referencia 16 de ellas provenientes de la Bahía de Huasco y 31 de la Bahía de Chapaco.

En la Figura 99 se presenta un gráfico de la concentración de zinc disuelto según las fechas de muestro, abarcando el periodo desde 1993 al 2022, diferenciando la bahía donde fue obtenida la muestra. Del gráfico se puede notar primero la inexistencia de datos reportados después de 1993 hasta abril de 2007, a pesar de existir muestreos entre 1999 y 2007, estos no realizaron mediciones de cinc disuelto. En particular para el julio de 2017 y noviembre de 2020 existen valores altos de zinc disuelto en la Bahía de Chapaco.

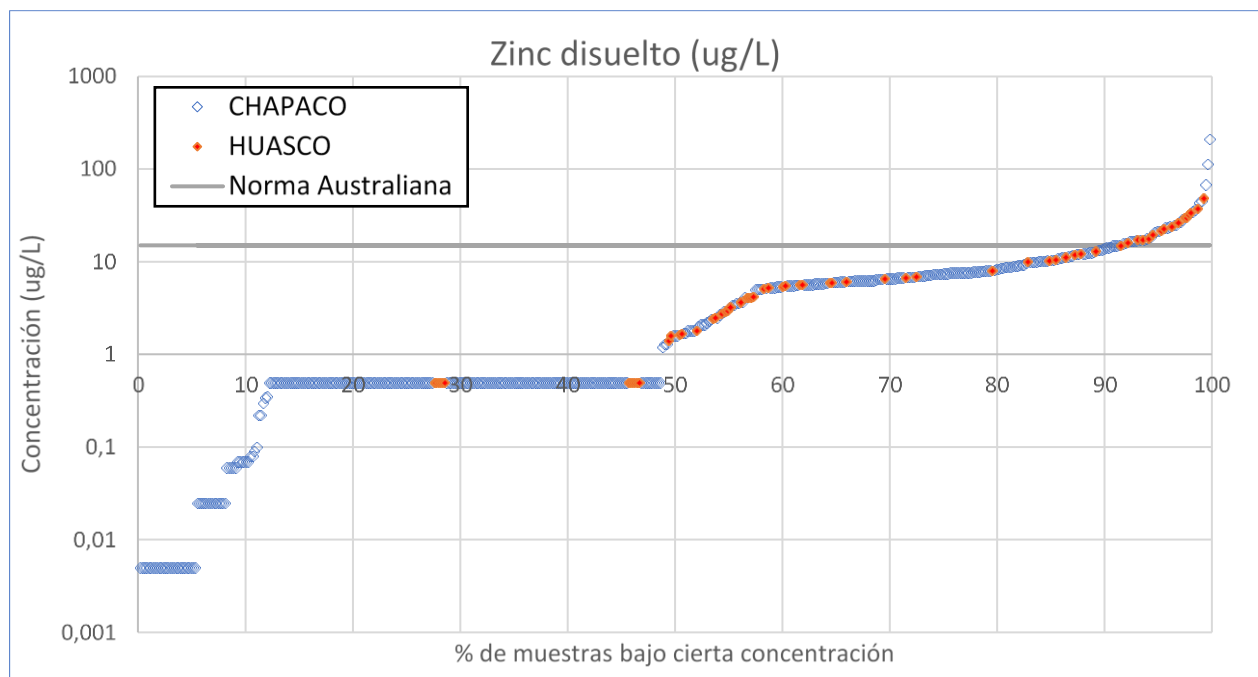


Figura 98 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de zinc disuelto

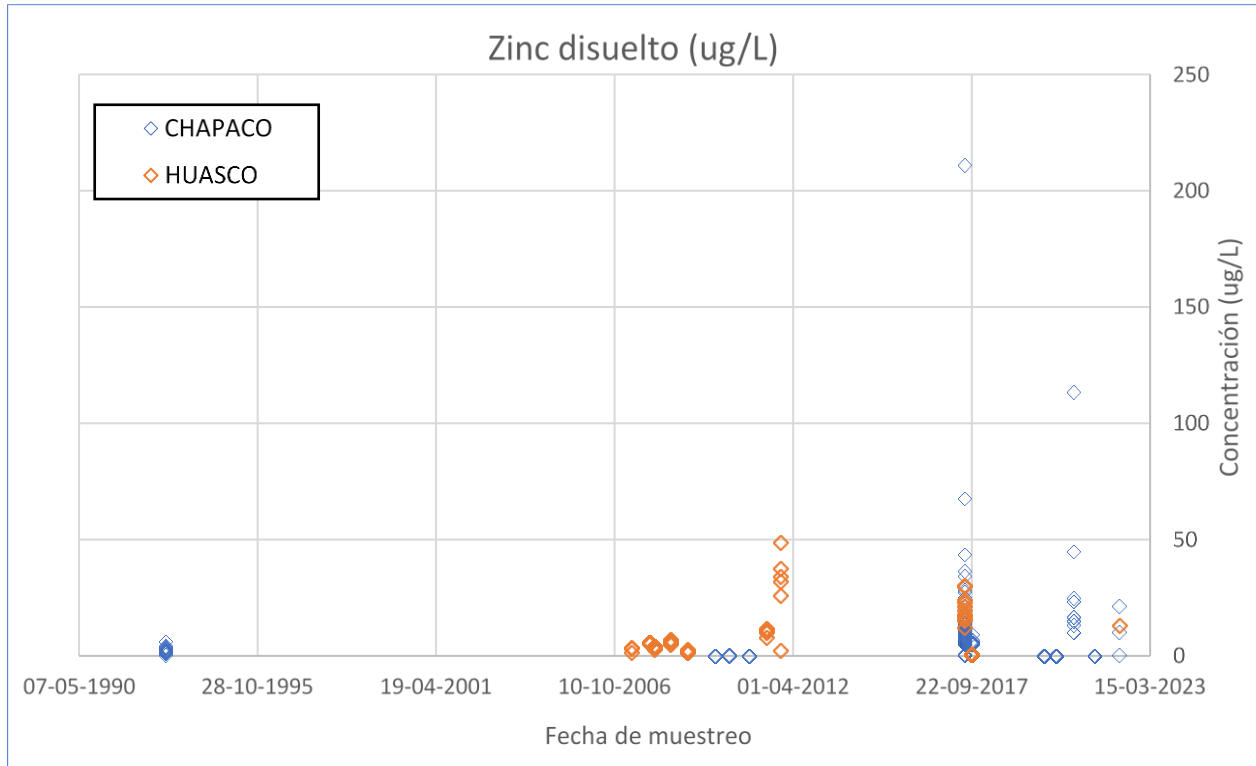


Figura 99 – Concentración de zinc disuelto según fecha de muestreo

2.4.1.4 Comparación de resultados de muestreos de sedimentos con normativa internacional y entre bahías

En la presente sección se realiza una descripción gráfica del monitoreo en la Bahía de Chapaco y en la Bahía de Huasco, realizando comparaciones para analitos de interés con normativa internacional, entre bahías y temporalmente, para el muestreo en sedimentos.

En la Figura 100 se presenta el porcentaje de muestras que se encuentra bajo cierta concentración de arsénico en sedimentos marinos. Este gráfico se construye a partir de la totalidad de registros levantados en la base de datos para la Bahía de Chapaco y la Bahía de Huasco, ordenando los valores de menor a mayor. De esta manera, el gráfico presentado permite obtener dos tipos de conclusiones: primero, que en un 50% de las muestras tomadas en conjunto para ambas bahías la concentración de arsénico se encuentra bajo el nivel de referencia australiano correspondiente a 20 mg/kg. Una segunda conclusión hace referencia a las 55 muestras sobre el nivel de referencia, de las cuales 3 de ellas corresponden a la Bahía de Huasco y 52 a la Bahía de Chapaco.

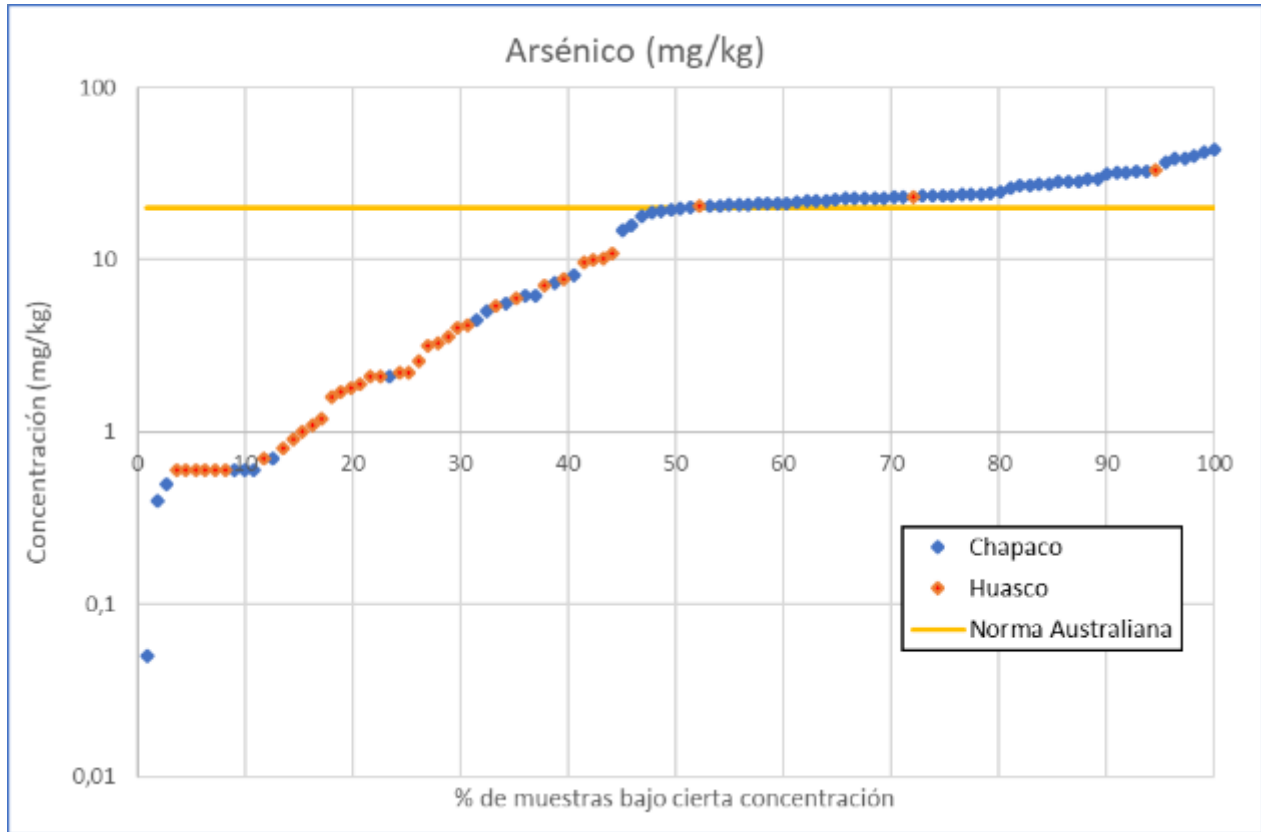


Figura 100 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de arsénico

En la Figura 101 se presenta un gráfico de la concentración de arsénico según las fechas de muestro, abarcando el periodo desde 1999 al 2022, diferenciando la bahía donde fue obtenida la muestra. Del gráfico se puede notar primero la inexistencia de datos reportados desde 1999 (cuando comienzan las mediciones de sedimentos) hasta 2014; a pesar de existir muestreos entre estos años, estos no realizaron mediciones de arsénico en sedimentos. Se observa en este gráfico también que las mayores concentraciones de arsénico medidas durante esos años se concentran en la bahía de Huasco.

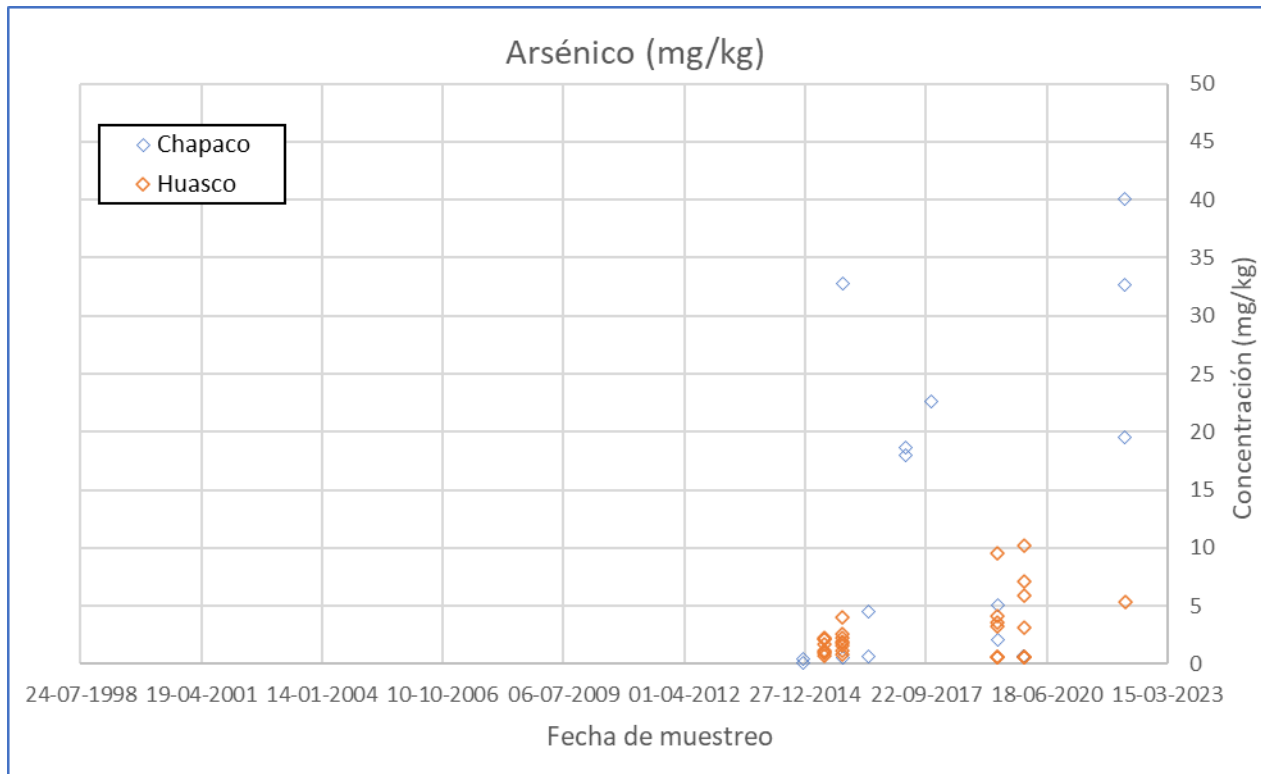


Figura 101 – Concentración de arsénico según fecha de muestreo

En la Figura 102 se presenta el porcentaje de muestras que se encuentra bajo cierta concentración de cadmio. Se destaca que en un 87% de las muestras tomadas en conjunto para ambas bahías, la concentración de cadmio se encuentra bajo el nivel de referencia australiano correspondiente a 1,5 mg/kg. Una segunda conclusión hace referencia a las 20 muestras sobre el nivel de referencia, de las cuales 13 de ellas corresponden a la Bahía de Huasco y 7 a la Bahía de Chapaco.

En la Figura 103 se presenta un gráfico de la concentración de cobre disuelto según las fechas de muestro, abarcando el periodo desde 1999 al 2022, diferenciando la bahía donde fue obtenida la muestra. Como se indicó anteriormente en la sección 2.4.1.2, en todas las muestras de sedimento se ha analizado este analito, por lo que en el gráfico es posible visualizar las fechas de todos los muestreos de sedimentos. Se observa también que las mayores concentraciones de cadmio en sedimentos se encuentran en las muestras tomadas en Chapaco.

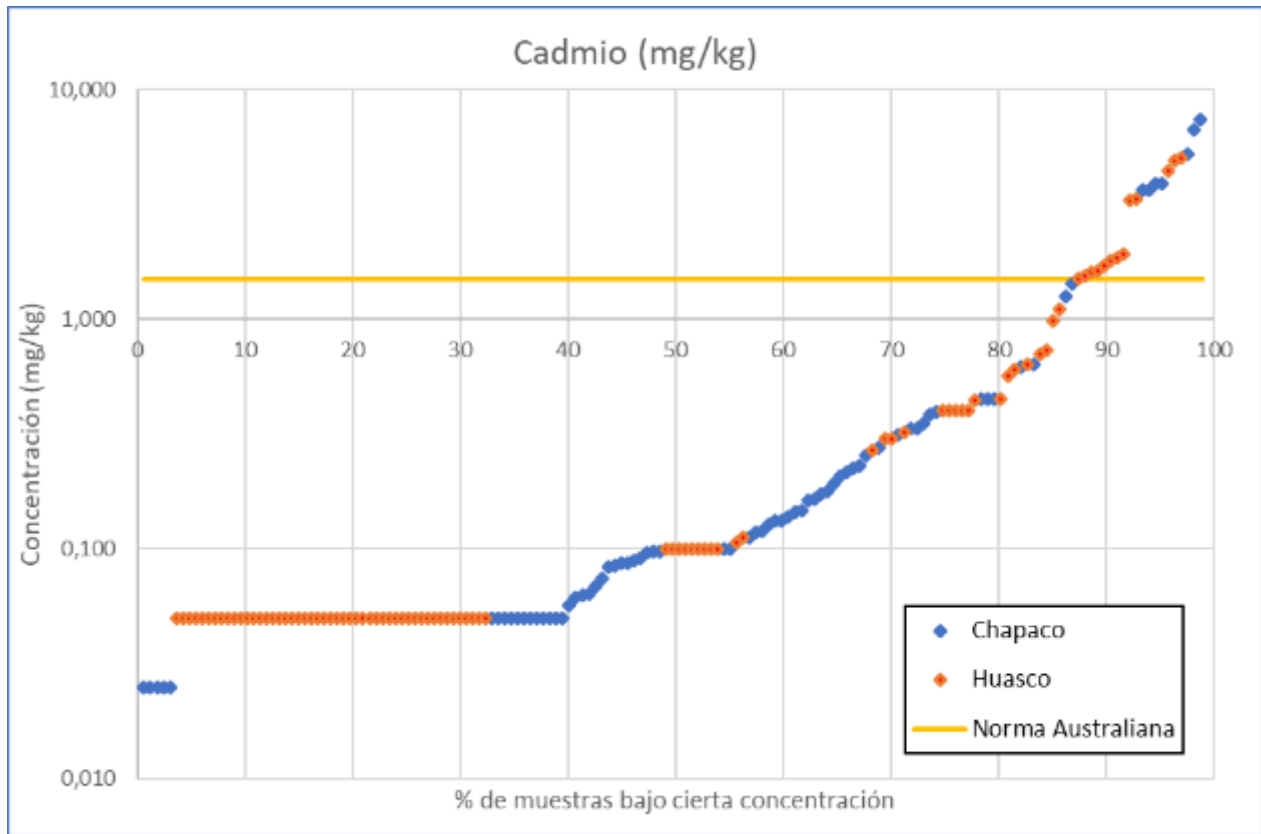


Figura 102 – Porcentaje de muestras bajo determinada concentración de cadmio

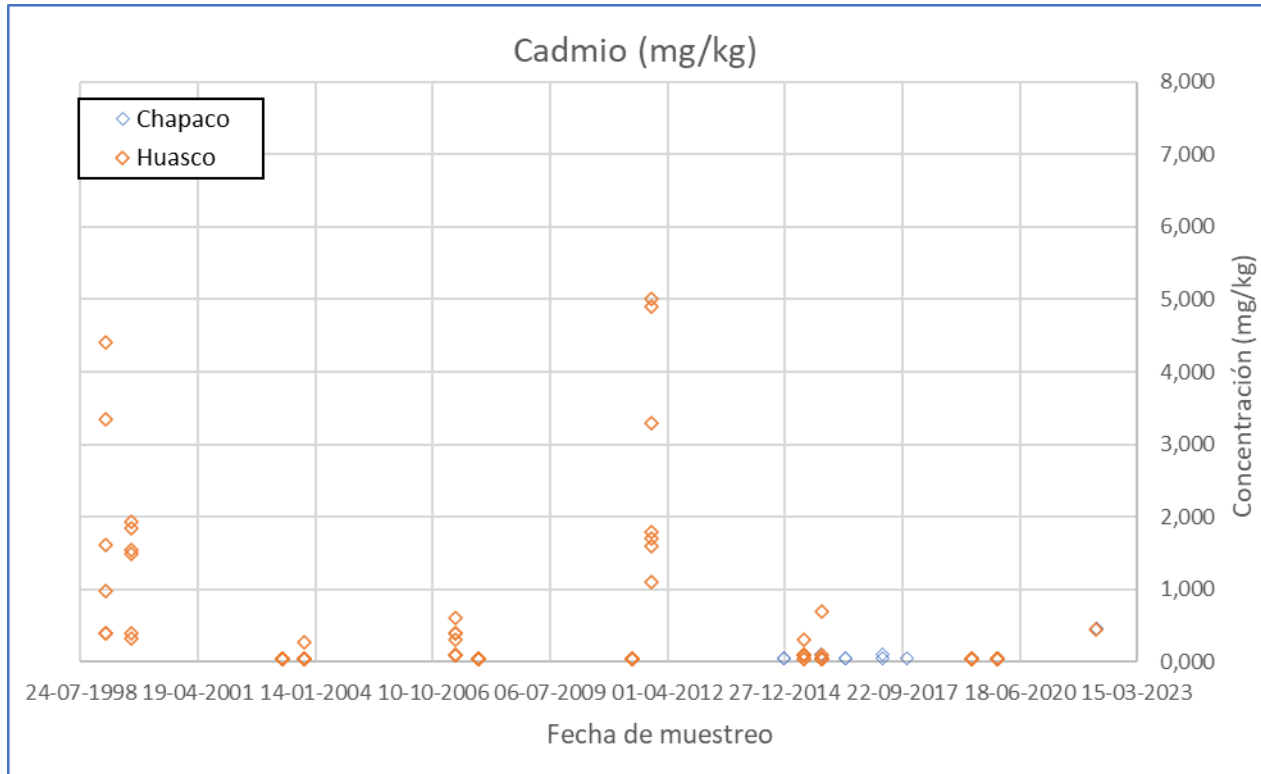


Figura 103 – Concentración de cadmio según fecha de muestreo

2.4.2 Análisis del estado ecológico de la macro-infauna de Ensenada Chapaco

2.4.2.1 Introducción

Considerando los casi 45 años de descarga de relaves por CAP en Chapaco, la información científica evaluando sus impactos es escasa y esporádica. Como indicadores de perturbación, se han utilizado los ensamblajes submareales de macro-invertebrados asociados al grampón de *Lessonia trabeculata* y/o macroalgas sobre sustrato rocoso (Vásquez et al., 2000; González et al., 2014) y la macro-fauna de fondos blandos (Lancellotti y Stotz, 2004). Con respecto al ensamblaje macro-infaunal, en Lancellotti y Stotz (2004) se compararon las abundancias y riqueza promedio en Chapaco (lado norte y sur de la descarga) y 2 sitios de referencia hacia el sur (Punta Alcalde) y norte (Huasco) a lo largo de un gradiente de profundidad (20, 50 y 110 m). En este estudio se encontraron a 20 m un ensamblaje macro-infaunal muy perturbado en términos de abundancias y riqueza promedio, pero mostrando una recuperación significativa > 50 m aguas adentro (Lancellotti y Stotz, 2004). Este estudio, usando datos colectados en 1994, a 4 meses del cese de descarga del relave en la zona intermareal, representa la primera fotografía de la macro-infauna submareal en Chapaco, sin que exista una evaluación anterior o más reciente. Por otro lado, en el contexto del Programa de Vigilancia Ambiental (PVA), la Universidad Católica del Norte ejecutó entre 2012-2019 muestreos de la macro-infauna submareal en Chapaco y otros 6 sitios de referencia hacia el sur y norte, publicando los resultados como informe técnico. Finalmente, se realizó el muestreo de EnSoil macro-infauna en Chapaco (12, 22 y 28 m) y sitio en Huasco (13 m). Estos muestreos, utilizando la misma metodología, dio la posibilidad de compilar una serie de 10 años de monitoreo del ensamblaje macro-infaunal en Chapaco.

2.4.2.2 Construcción de bases de datos

Como fuente principal de información se utilizaron los informes anuales del Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) publicados por la CAP durante el periodo 2012-2019. Se obtuvieron las abundancias (ind. \bullet 0,1 m⁻²) y biomasa promedio anuales (g \bullet 0,1 m⁻²) de las comunidades de fondo blando habitando a 20 m de profundidad (infauna retenida por tamiz 0,5 mm) en el sector norte de la Ensenada Chapaco (CH; sitio impactado), 2 sitios de referencia ubicados hacia el sur en Punta Lachos (PL1 y PL2) y por el norte 2 sitios en Huasco (HU1 y HU2) y otros 2 sitios en Cabo Norte (CN1 y CN2; Figura 104).

Estos datos publicados corresponden al promedio de 3 réplicas por cada sitio de muestreo y con cada réplica a su vez siendo obtenida sumando 3 muestras de sedimento hasta alcanzar un área de 0,1 m² (PVA 2019). Como no se encontró información sobre la ubicación de los sitios PL2, HU2 y CN2 se asumieron como muestras colectadas a 20 m cercano a PL1, HU1 y CN1, respectivamente (i.e., fueron tratados como sitios independientes).

La riqueza y otros índices de diversidad fueron obtenidos desde la matriz de abundancias. Se comparó la acumulación de especies ocurrida en los años 2013, 2015 y 2018 a través del análisis gráfico de las curvas de k-dominancia de cada sitio. La falta de datos de biomasa, probablemente por un error de digitación (valores "0" en informes del 2013, 2014, 2017, 2018 y 2019), no permitió usar el contraste de curvas abundancia-biomasa (curvas ABC) y el estadístico W como indicadores de perturbación ambiental para el periodo 2012-2019. Debido a un bajo ajuste lineal abundancia-biomasa no se pudo interpolar los datos y en vez de remover diversidad (hasta 14 taxa o 1/5 diversidad total), años o estaciones de muestreo, sólo las abundancias e índices de diversidad son incluidos en los análisis estadísticos, y cuando ambos son analizados juntos el error esperado es reportado.

Por otro lado, se extrajeron desde Lancellotti y Stotz (2004) datos promedio de abundancia y riqueza macro-infaunal para el año 1994 (previo al cese del relaveducto en el intermareal) en el sitio impactado (CH) y sitios control hacia el norte en Huasco y por el sur en Punta Alcalde (PA). Finalmente, se incluye un muestreo propio con datos promedio de abundancia y biomasa en Chapaco (12 y 22 m de profundidad) y HU (13 m) durante el año 2022. Con respecto al periodo 1995-2011, se encontraron datos de abundancia y riqueza para Chapaco en los PVAs (ver sección 5.2.4.2. en PVA 2019), pero como al parecer no existió sitio control y no fue posible acceder a datos desagregados por taxa se decidió no incorporar en análisis estadísticos, siendo sólo usados descriptivamente.

Los subsiguientes análisis estadísticos fueron realizados usando librerías de libre acceso disponibles en la plataforma RStudio (RStudio Team, 2022). Con el fin de comparar estadísticamente las abundancias y riqueza promedio de la macro-infauna en el sitio impactado y 6 sitios de referencia, y luego de comprobar los supuestos de independencia, normalidad y homogeneidad de varianzas, un análisis de variancia de una vía (ANOVA) fue computado con la función *anova_test* del paquete *rstatix*. Para saber dónde se produjeron las diferencias significativas ($p < 0,05$) se realizó un test de Tukey con la función *tukey_hsd* (paquete *rstatix*) y visualizado con la función *ggboxplot* del paquete *ggpubr*.

Análisis de curvas de rarefacción y diversidad asintótica fueron realizados para comprobar que el esfuerzo de muestreo o tamaño de muestra (i.e., número de individuos) fueron suficientes para saturar las curvas de acumulación macro-infaunal submareal. Para esto, tres mediciones de diversidad: riqueza de taxa (0), exponencial de la entropía Shannon (1), y el inverso de la concentración Simpson (2) fueron computados para el sitio impactado y 3 sitios control agrupados (periodo 2012-2019) y por separado (muestreos 2013 y 2018) usando la función *iNEXT* y ploteados con la extensión *ggiNEXT* ambos del paquete *iNEXT* (Chao et al., 2014; Hsieh et al., 2020).

Para el muestreo EnSoil, curvas ABC fueron ploteadas y el estadístico W computado para las muestras obtenidas en Chapaco (12 y 22 m) y en HU (13 m) usando el software Primer 7.



Figura 104 – Línea de costa mostrando los sitios de estudio y estaciones de muestreo (círculos rojos) ubicados en el costado norte de la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia hacia el sur y norte. Ubicación aproximada de las estaciones de muestreo fueron extraídas desde el informe anual 2019 del Programa de Vigilancia Ambiental, y para Punta Alcalde desde el estudio publicado por Lancellotti y Stotz (2004)

2.4.2.3 Análisis estadísticos

Los siguientes análisis estadísticos fueron realizados usando librerías de libre acceso disponibles en la plataforma RStudio (RStudio Team, 2022) para MacOS Catalina. Con el fin de comparar estadísticamente las abundancias y riqueza promedio de la macro-infauna en Chapaco (sitio impactado) y 6 sitios de referencia, y luego de comprobar los supuestos de independencia, normalidad y homogeneidad de varianzas, un análisis de variancia de una vía fue computado con la función *anova_test* de la librería *rstatix*. Con el fin de normalizar la distribución de las abundancias promedio y como el λ óptimo calculado para su transformación Box-Cox fue 0 estos fueron transformados por logaritmo natural. Para identificar donde se produjeron las diferencias significativas ($p < 0,05$) se realizó un test de Tukey con la función *tukey_hsd* (librería *rstatix*) y siendo visualizado con la función *ggboxplot* (librería *ggpubr*).

Se realizaron análisis de curvas de rarefacción y diversidad asintótica para comprobar que el esfuerzo de muestreo o tamaño de muestra (i.e., número de individuos) y las condiciones ambientales permitieron saturar las curvas de acumulación macro-infaunal. Para esto, tres índices de diversidad: riqueza (0), exponencial de la entropía Shannon (1), y el inverso de la concentración Simpson (2), y la completitud de muestreo fueron computados sobre las abundancias en Chapaco (sitio impactado) y 3 sitios de referencia de forma agrupada (periodo 2012-2019) e individual (años 2013, 2015 y 2018) usando la función *iNEXT* y *ggiNEXT* ambos de la librería *iNEXT* (Chao et al., 2014; Hsieh et al., 2020).

Finalmente, se evaluó el grado de perturbación en la macro-infauna submareal producto del relaveducto en abril del 2022. Para ello, curvas ABC fueron graficadas y el estadístico W (Warwick y Clarke, 1993) computado para 2 muestras obtenidas en Chapaco (sitio impactado a 12 y 22 m profundidad) y una muestra obtenida en sitio de referencia (Huasco a 13 m profundidad) usando el software PRIMER-e.

2.4.2.4 Resultados

Abundancias y riqueza

La serie temporal de abundancias de 10 años compilada aquí (1994, entre 2012-2019 y 2022) muestra valores sostenidamente bajos para el ensamble macro-infaunal de CH (68 ± 28 ind. \bullet 0.1 m⁻²), que parecen menores a los alcanzados en HU2, CN1 y CN2 (233 ± 171 , 187 ± 132 y 216 ± 93 ind. \bullet 0.1 m⁻²), y lejos de las mayores abundancias reportadas en HU1, PL1 y PL2 ($> 1,000$ ind. \bullet 0.1 m⁻²; Figura 105a). Desde el valor más bajo de riqueza reportado en CH 1994 (sólo 2 taxa), el periodo 2012-2016 mostró riquezas intermedias (rango: 14-21 taxa) y luego nuevamente bajas hasta el año 2022 ($<< 11$ taxa), comparado con sitios de referencia más diversos hacia el sur y norte (> 30 y hasta 66 taxa en Huasco 1994; Figura 105b). Al comparar curvas de k-dominancia en años de alta, intermedia y baja biomasa promedio en CH (2013, 2015 y 2018, ver Figura 105c abajo) puede verse que en 2018 sólo 2 taxa representan el 50% de la abundancia acumulada en CH, HU2 y CN1 comparado con 5-6 taxa en 2013 y 2015 (Figura 105c).

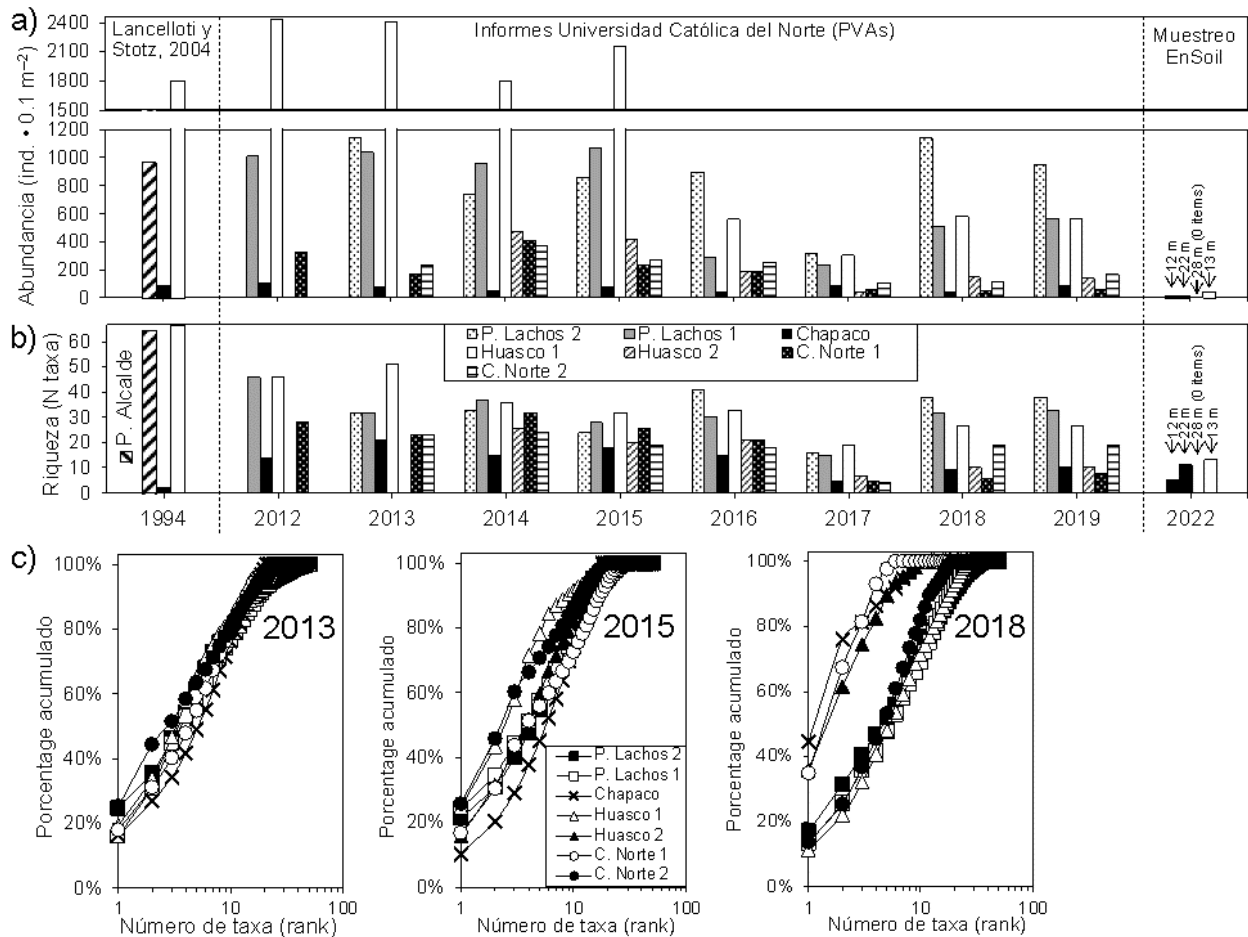


Figura 105 – (a y b) Series de tiempo de abundancia y riqueza macro-infaunal promedio en la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia hacia el sur (Punta Alcalde, Punta Lachos 1 y 2) y norte (Huasco 1 y 2, Cabo Norte 1 y 2). (c) Curvas de k-dominancia para la macro-infauna habitando en Chapaco y 6 sitios de referencia durante 2013, 2015 y 2018

Biomasa

Similar a las abundancias, la serie de tiempo de biomasa (9 años) muestra los menores valores promedio alcanzados por el ensamble macro-infaunal de CH ($1.9 \pm 2.2 \text{ g} \cdot 0.1 \text{ m}^{-2}$), muy por debajo de biomásas intermedias reportadas en sitios de referencia hacia el sur y norte ($> 14 \text{ g} \cdot 0.1 \text{ m}^{-2}$ en HU1 y PL2; Figura 106a), sin considerar el taxon que dominó la biomasa (ver abajo) donde esos sitios alcanzaron $> 50 \text{ g} \cdot 0.1 \text{ m}^{-2}$ (a). Los moluscos (96 %) seguido de lejos por poliquetos (3 %) y crustáceos (1 %) dominaron la biomasa total en el periodo 2012-2019 (Figura 106b), con otros grupos (*nematoda*, *oligochaeta*, *echinodermata*, *cephalochordata*) alcanzando baja biomasa relativa. De la biomasa total de moluscos, un 64 % y 33 % se compone de los muestreos en HU1 y PL2, con HU1 2013, 2015, 2016 y 2017 dando cuenta del 87 % y PL2 2013 del 95 % de la biomasa total de su serie, y con el molusco *Incatella cingulata* (*Gastropoda: Turritellidae*) dominando la biomasa comunitaria en esos sitios/años ($> 95 \%$ con rango $192\text{-}809 \text{ g} \cdot 0.1 \text{ m}^{-2}$). Considerando el peso desproporcionado que 1 sólo taxon tiene en la biomasa total, se evaluó si al remover

esos datos cambia el promedio (e.g., más parecido a CH) y proporción de la biomasa comunitaria (e.g., hacia dominancia de poliquetos). A pesar de una significativa caída en la biomasa total anual de HU1 y PL2 al excluir al taxon dominante, estas son 19x y 5x veces mayores a la alcanzada en CH, y los moluscos continúan dominando la biomasa comunitaria en esos 2 sitios (> 70 %). Sólo en CH y CN2 los poliquetos superaron a los moluscos en la producción de biomasa (Figura 106b).

La serie temporal para CH muestra una amplia variabilidad local en abundancia, riqueza y biomasa (Figura 106c). Luego que sólo 2 taxa alcanzaron altas abundancias en 1994 (94 ind. • 0,1 m⁻²; biomasa no disponible), estas variaron de forma más estrecha y acoplada con 2 principales desacoples: en 2017 con una baja riqueza y biomasa y alta abundancia, y cuando desde los 12 a 22 m en 2022 un aumento ~2x en riqueza no significó un incremento en abundancias (Figura 106c). Los datos de biomasa en CH (desacoplado de abundancia en 2018 y 2019) muestra cambios abruptos en la composición macro-inafaunal (Figura 106c). El año 2013, cuando se produjo la mayor biomasa y riqueza en CH (5,3 g • 0.1 m⁻² y 21 taxa), los poliquetos dominaron la biomasa comunitaria, y el género *Mediomastus* spp. (*Polychaeta: Capitellidae*) representó 89% y 6% de la biomasa y abundancia macro-inafaunal. Esta situación cambió en 2015, 2016 y 2022 (a 12 m) cuando sólo 1 especie de molusco, *Felicioliva peruviana* (*Gastropoda: Olividae*), dio cuenta del 90%, 71% y 97% de la biomasa y del 3%, 3% y 5% de la abundancia macro-inafaunal respectiva. Esta biomasa comunitaria, compuesta mayoritariamente por moluscos, cambió a ser dominada por 1 especie de crustáceo, *Pseudocorystes sicarius* (*Crustacea: Atelecyclidae*) hacia aguas más profundas (22 m), el cual, dio cuenta del 77% y 6% de biomasa y abundancia macro-inafaunal. Finalmente, en los años con la menor producción de biomasa (< 1 g • 0,1 m⁻²) esta fue principalmente representada por poliquetos (Figura 106c).

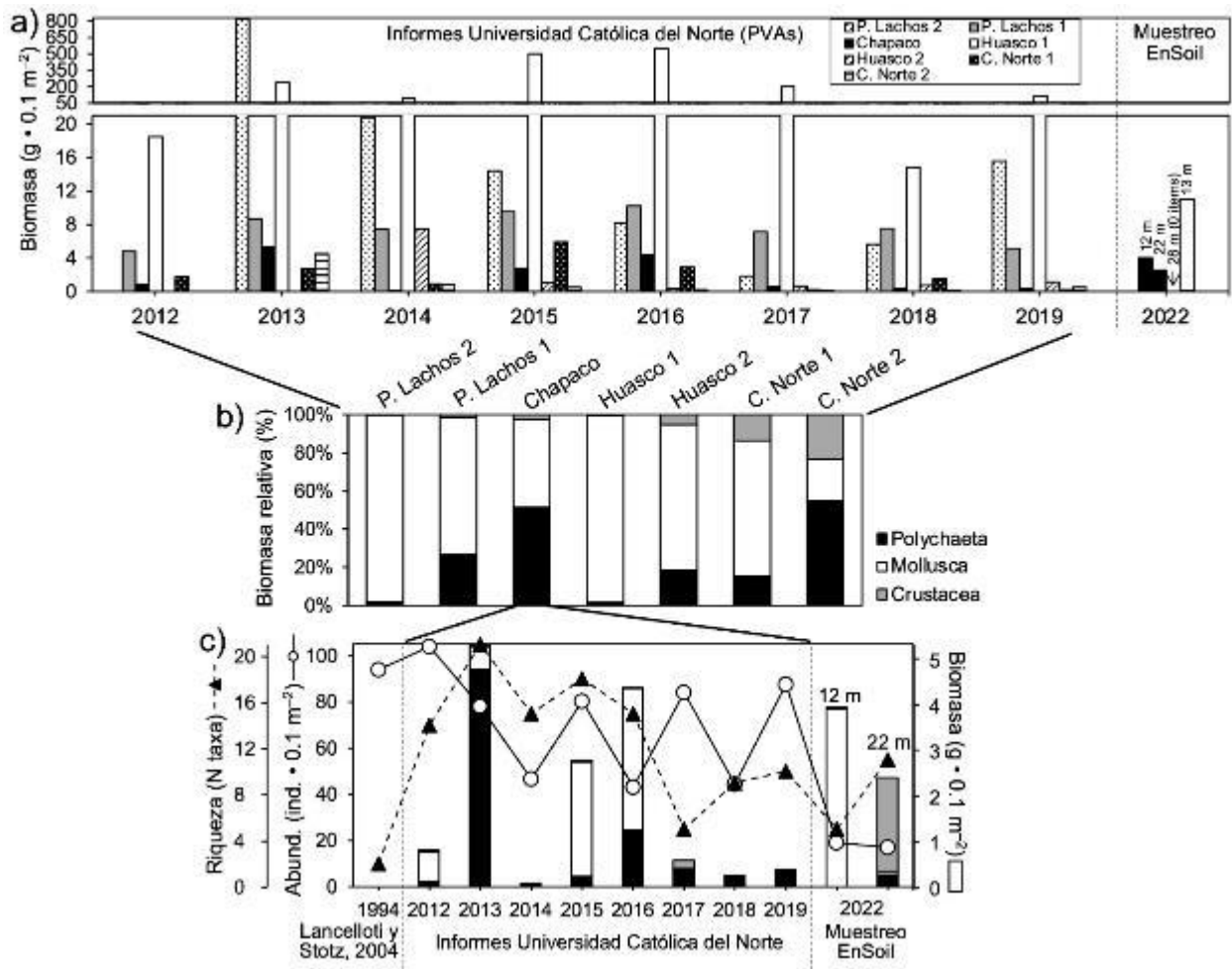


Figura 106 – (a) Serie de tiempo de biomasa promedio macro-infaunal promedio en la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia hacia el sur (Punta Lachos 1 y 2) y norte (Huasco 1 y 2, Cabo Norte 1 y 2). (b) Proporción de biomasa compuesta por poliquetos, moluscos y crustáceos para el periodo 2012-2019. (c) Serie de tiempo de riqueza, abundancias y biomasa en la Ensenada Chapaco en 1994, entre 2012-2019 y 2022. Para 2018 y 2019 un promedio de 6 y 26 ind. $\cdot 0.1 m^{-2}$ no son reportados como biomasa (para más detalles ver Metodología)

Análisis de varianza

Mediante un análisis de varianza de 1 vía y un test a posteriori se compararon las abundancias y riqueza macro-infaunal promedio entre CH (sitio impactado) y 6 sitios de referencia (PL1, PL2, H1, HU2, CN1 y CN2) usando la serie temporal 2012-2019. Los resultados muestran que tanto las abundancias como la riqueza promedio son estadísticamente diferentes entre los sitios (Figura 107a). Como se esperaba, el test de Tukey indicó que las abundancias promedio de CH son significativamente menores a las de los sitios PL2, PL1, HU1 y CN2, aunque similares a los promedios de los sitios HU2 y CN1 (Figura 107a). Notar que el grupo de sitios de referencia PL2, PL1 y H1 alcanzan mayores abundancias significativas que todos los demás sitios muestreados. Similar a las abundancias, la riqueza promedio de CH fue significativamente menor a la de los sitios PL2, PL1 y HU1, y similar a los promedios de HU2, CN1 y CN2 (Figura 107b). En este caso, del grupo

de sitios de referencia exhibiendo la mayor riqueza (y abundancias) sólo HU1 es significativamente mayor a los demás sitios. Por la falta de datos no se pudo incluir la biomasa promedio como variable respuesta en un análisis de varianza (para más detalles ver Metodología).

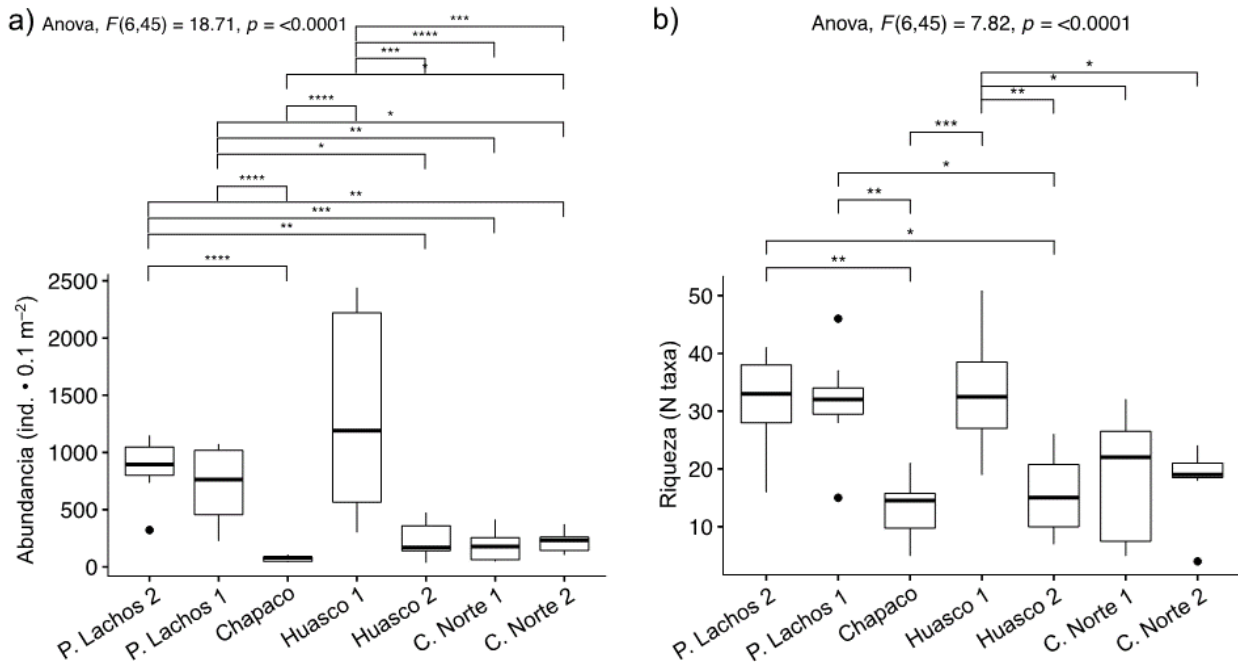


Figura 107 – (a y b) Resultados del análisis de varianza comparando las abundancias y riqueza promedio macro-infaunal en la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia al sur (Punta Lachos 1 y 2) y norte (Huasco 1 y 2, Cabo Norte 1 y 2).

Asteriscos sobre los gráficos de caja indica las diferencias significativas entre sitios (* $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.001$, *** $p \leq 0.0001$, **** $p \leq 0.00001$). Valores F y p son mostrados sobre los gráficos

Rarefacción y diversidad asintótica

Como se muestra en la Figura 108, los sitios más diversos como PL1 y HU1 lograron saturar curvas de rarefacción-extrapolación (i.e., al doblar el esfuerzo muestral se encontrarían sólo ~ 3 taxa más), mientras que las curvas para el sitio CN1 empieza recién a curvarse, las de CH se acerca aún menos a la saturación. Distinto que para la riqueza, la curva agrupada para el sitio PL1 saturó con más taxa el inverso de Shannon y la concentración de Simpson que HU1. Esta incapacidad de los sitios CH y CN1 para saturar las curvas de rarefacción de forma agrupada (8 años) se vio acentuada en 2018 (Figura 108).

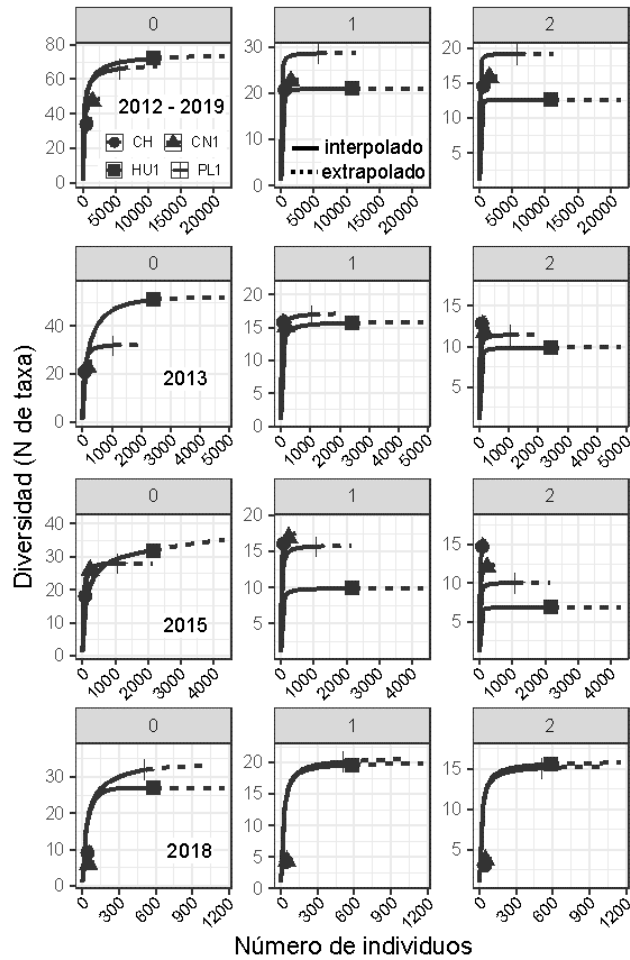


Figura 108 – Curvas de rarefacción para la macro-infauna submareal en la Ensenada Chapaco (sitio impactado) y sitios de referencia al sur (PL1) y norte (HU1 y CN1) para el periodo 2012-2019 (agrupado) y años 2013, 2015 y 2018 (individual). Para cada curva el intervalo de confianza al 95% es mostrado en gris. Para más detalles ver Metodología

3 Objetivo específico 2 – Realizar un catastro de fuentes emisoras, autorizadas y no autorizadas, en toda la zona objetivo del estudio

3.1 Identificación y caracterización de fuentes emisoras

A partir de la información disponible en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), en el Sistema Nacional de Información Fiscalización Ambiental (SNIFA) y en la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), se identificaron cuatro fuentes con 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 109 siguiente.



Figura 109 – Ubicación fuentes emisoras a cuerpos de agua marítimos en área del proyecto

Fuente: RETC, SNIFA y SISS

En las secciones a continuación se realiza una caracterización general de las cuatro fuentes identificadas.

3.2 Ensenada Chapaco (Planta de Pellets)

3.2.1 Planta de Pellets

Se adjunta una ficha de caracterización de la presente fuente.

Tabla 32 – Ficha de caracterización fuente emisora Planta de Pellets

Nombre	Planta de Pellets	
Empresa	Compañía Minera del Pacífico S.A.	
Código industrial Internacional Uniforme (CIU4)	Extracción de minerales metalíferos no ferrosos, excepto los minerales de cobre, uranio y torio	Extracción de minerales de hierro
Rubro RETC	Extracción de minerales	Minería
Año de inicio de actividades	1978	
Descripción de las actividades	Corresponde a una Planta de Pellet donde se procesan minerales de hierro concentrados previamente, sometiéndolos a un proceso de reducción y concentración magnética, para luego mezclar sus residuos con agua de mar y realizar la descarga en el fondo marino. Por 16 años descargó sus residuos en la zona intermareal, para luego realizarlo mediante un relaveducto a mayor profundidad.	
Instalaciones	La planta de pellet genera residuos industriales líquidos y relave que son descargados por un ducto de 300 metros de largo y a 35 metros de profundidad (Figura 110).	
Otros antecedentes	En el año 2013 se presentó en el Sistema de Evaluación de Impacto ambiental el EIA de un proyecto para realizar el depósito de relaves a 100 metros de profundidad, proyecto que fue rechazado. De manera similar el año 2020 se presentó el EIA para un Depósito de Relaves Filtrados en tierra, el cual se encuentra con RCA favorable.	

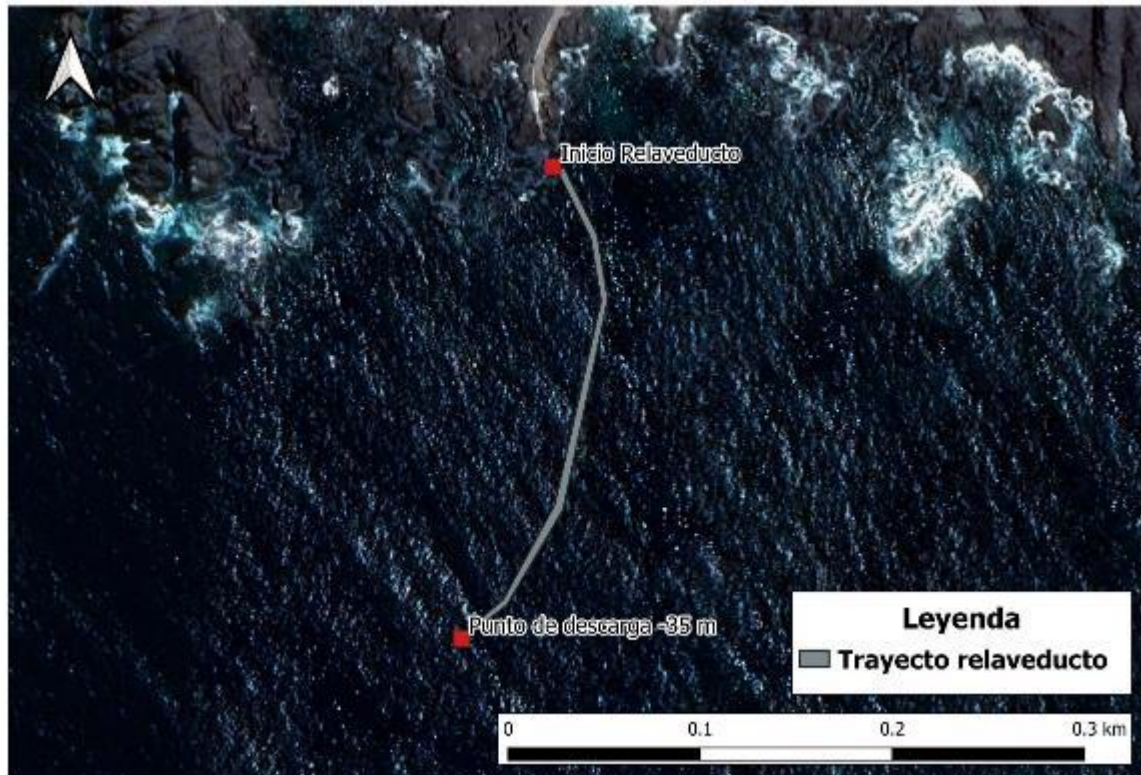


Figura 110 – Ubicación y trayecto del relaveducto de CMP

Fuente: EIA “Proyecto actualización del sistema de deposición de relaves de planta de pellets” (2013)

3.2.2 Cronología de la descarga

Desde 1978 hasta el día de hoy, la Planta de Pellets (propiedad de CMP), descarga sus desechos de relave del proceso de peletización de hierro a las aguas costeras de la ensenada Chapaco. La descarga de relaves ha indudablemente afectado el fondo marino y la biota presente en la ensenada, principalmente con la asfixia de comunidades bentónicas presentes en la zona de descarga.

La disposición de relaves ha ocurrido en tres periodos distintos que corresponden a la ubicación del punto de descarga en Chapaco. Estas fases son descritas en el Anexo 18, de la Declaración de Impacto Ambiental, presentada por CAP Minería en el 2018 (FisioAqua, 2018), y se detallan a continuación.

Periodo de descarga en zona intermareal (1978-1994)

Durante este tiempo, los relaves fueron descargados directamente en la zona intermareal de Chapaco, creando problemas de turbidez evidentes por la introducción de sólidos en una zona de alta energía, que facilitaba su mezcla con el mar (como se muestra en la Figura 111 y Figura 112). Los relaves depositados eran también objeto de resuspensión, erosión y transporte producto del oleaje.

Según indica SEMAR (1989), la descarga de sólidos sedimentables implica una alteración del fondo natural, el cual ha sido rellenado paulatinamente con la descarga, además de alteraciones por la turbidez

introducida. Se reporta también que de acuerdo a una comparación con una exploración batimétrica de 1986 y 1989 el relleno en el centro de la ensenada alcanza entre 4 a 6 m de espesor.

En cuanto a efectos específicos en la biota SEMAR (1989) reporta que no hay efectos en las comunidades intermareales, pero que “la eliminación de desechos industriales a Chapaco ha afectado drásticamente las cadenas tróficas submareales”, y que se afectan no solo los organismos asociados al fondo marino, sino que también a aquellos de la columna de agua, indicado por la escasa diversidad de peces observada.



Figura 111 – Relaveducto histórico de CMP

Fuente: SEMAR “Estudio Oceanográfico Zona Guacolda - Chapaco” (1989)



Figura 112 – Relaveducto histórico de CMP (vista de la ensenada Chapaco)

Fuente: SEMAR “Estudio Oceanográfico Zona Guacolda - Chapaco” (1989)

Periodo de descarga en zona submareal (1994-2002)

Después de 16 años de descarga en la zona intermareal, en 1994 la DIRECTEMAR autoriza el traslado del ducto de descarga de relaves a 25m de profundidad, a 170m de la costa.

La depositación de relaves promedió aproximadamente 3000 toneladas por día, lo que causó cambios significativos de profundidad en el fondo marino.

En 1994 comenzó un Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) que fue ejecutado por el Departamento de Biología Marina de la Universidad Católica del Norte. El PVA tenía dos objetivos: (i) con respecto al cese de la descarga intermareal, evaluar la recuperación de las comunidades del intermareal y submareal somero de la Ensenada Chapaco y (ii) respecto de la nueva descarga submareal (25m), vigilar los efectos que ésta podía tener sobre las mismas comunidades. La depositación submareal mejoró las condiciones físicas de la columna de agua al disminuir la turbidez, sin embargo, se evidenció la formación de un cono de relaves que se extendía hasta los 1,8 km al suroeste del punto de descarga, con una cresta que oscilaba entre los 4 y 10 m de espesor. Se describe también una recolonización del submareal rocoso principalmente por algas pardas, calcáreas, crustosas y erizos negros. Sin embargo, la recuperación solo era evidente en comunidades ubicadas en el sector sur de esta ensenada, mientras que en el sector norte no se evidenciaba el mismo grado de recuperación.

Periodo de descarga en zona submareal actual (2002 - presente)

El 2002, el ducto de relaves se traslada a 35 m de profundidad, con la finalidad de disminuir aún más los impactos en la turbidez de la bahía. No obstante, se presentan nuevamente eventos de turbidez, los que se asociaron a:

- problemas de operación en el sistema del estanque mezclador que resultaba en un ingreso de aire que impulsaba la fase sólida hacia la columna de agua
- acumulación de sólidos al final del relaveducto, con formación de un cono de depositación con derrumbes ocasionales, los que transportan material en forma de corrientes hacia profundidades mayores a 100 m, hasta puntos alejados a 3km del lugar de descarga. Se describen diques y canales por los cuales se transportaría material.
- Resuspensión por acción del oleaje. Los estudios del 2011-2012 indican un cono de más de 16m de altura.

En resumen, se ha visto afectado el relieve del fondo marino en forma significativa, por la depositación de relaves histórica. Se describe un manto de limo-arcilla que recubre el lecho marino natural, con mayores espesores cerca del punto de descarga.

En cuanto a efectos en la biota, se han indicado pequeñas disminuciones de la abundancia de fitoplancton y menor riqueza de algunos invertebrados de comunidades intermareales de fondos duros y fauna bentónica submareal en el 2011, disminuciones en ictiofauna en el 2014-2015, entre otros. Sin embargo, el impacto más significativo es el reportado en la infauna y epifauna sésil, ya que estos organismos son incapaces de trasladarse del área de descarga y se ven expuestos a asfixia.

No obstante lo anterior, se indica que al realizar un análisis desde 1993 en adelante, se observa un cierto grado de recuperación de la biota, especialmente en comunidades submareales de fondos blanqueados dados por la profundización del relaveducto y la mejora en condiciones de turbidez de la ensenada.

3.2.3 Descripción actual del footprint de relaves

El footprint actual del relave se presenta en la Figura 113.

No se tiene información reciente del tamaño del footprint del relave, sin embargo, el *Anexo 17: Análisis geoespacial y predicción de la descarga* incluido en la DIA Cese de la descarga (PRDW, 2018) indica un footprint total de 3099 Ha aproximadamente. En cuanto al sector donde el relave tendría un espesor mayor a 5cm de relave, tendría una extensión de 2061Ha. Adicionalmente, de manera indicativa, se calculó el área donde el relave tendría un espesor mayor a 4m (133 Ha) y mayor a 10m (24,6 Ha), utilizando la diferencia de niveles en batimetría entre los años 1993 y 2011. El estudio de PRDW (2018), indica también de manera predictiva que a una descarga de 9.13Mton en 5 años (hasta la fecha de cese de descarga, el 2023) el relave estaría contenido en el footprint actual. Lo anterior se presenta en la Figura 114.



Figura 113 – Footprint del Relave

Fuente: Elaboración propia



Figura 114 – Footprint del Relave y predicción al 2023

Fuente: PRDW “Anexo 17: Análisis geoespacial y predicción de la descarga DIA Cese de la descarga de Relaves en Ensenada Chapaco” (2018)

3.3 Bahía de Huasco

3.3.1 Central Guacolda

Se adjunta una ficha de caracterización de la fuente identificada como Guacolda en la Tabla 33.

Tabla 33 – Ficha de caracterización fuente emisora Guacolda

Nombre	Guacolda
Empresa	AES Gener S.A. – Guacolda Energía S.A.

Código industrial Internacional Uniforme (CIU4)	Generación, captación y distribución de energía eléctrica
Rubro RETC	Generación de energía
Año de inicio de actividades	1995
Descripción de las actividades	Generación de electricidad a partir del uso de petcoke, carbón bituminoso y sub-bituminoso. La energía generada se incorpora al Sistema Interconectado Central de Chile.
Instalaciones	La central Guacolda cuenta con cinco unidades generadoras de electricidad (Figura 115), con una potencia bruta de 154 MW. Las unidades U1 y U2 inician actividades en 1995 y 1996 respectivamente. La unidad U3 en 2009, La unidad U4 en 2012 y la unidad U5 en 2016.
Otros antecedentes	Las principales emisiones generadas por esta industria se centran en la matriz de aire, siendo eventuales las descargas de residuos industriales líquidos a las aguas marinas. La regulación de las emisiones al aire se encuentra normadas por el DS N°13/2011 del Ministerio de Medio Ambiente - Norma de emisión para Centrales Termoeléctricas.



Figura 115 – Ubicación Unidades generadoras de Guacolda

Fuente: DIA “Eliminación del uso de petcoke en Central Guacolda y ajuste de la capacidad de generación eléctrica” (2016)

3.3.2 Central Huasco Enel

Se adjunta una ficha de caracterización de la fuente identificada como ENEL Huasco en la Tabla 34.

Tabla 34 – Ficha de caracterización fuente emisora ENEL Huasco

Nombre	Central Huasco
Empresa	Enel Generación Chile S.A.
Código industrial Internacional Uniforme (CIU4)	Generación, captación y distribución de energía eléctrica
Rubro RETC	Generación de energía
Año de inicio de actividades	Central Huasco Vapor Unidades 1 y 2 en el año 1965 Central Huasco TG Unidades 1 y 2 en el año 1977, unidad 3 en año 1976
Descripción de las actividades	Generación de electricidad a partir del uso de petróleo o carbón según sea el caso.
Instalaciones	Huasco TG utiliza petróleo diésel y cuenta con tres unidades de generación con una potencia total de 64.23 MW. Huasco Vapor cuenta con dos unidades que utilizan carbón para la generación de energía con una potencia total de 16MW. Las diversas unidades se indican en la Figura 116.
Otros antecedentes	Las principales emisiones generadas por esta industria se centran en la matriz de aire, siendo eventuales las descargas de residuos industriales líquidos a las aguas marinas. La regulación de las emisiones al aire se encuentra normadas por el DS N°13/2011 del Ministerio de Medio Ambiente - Norma de emisión para Centrales Termoeléctricas.



Figura 116 – Ubicación Unidades generadoras de ENEL Huasco
Fuente: Enel Chile

3.3.3 Emisario submarino (Nueva Atacama, ex Aguas Chañar)

Se adjunta una ficha de caracterización de la presente fuente.

Tabla 35 – Ficha de caracterización fuente emisora Emisario Aguas Chañar

Nombre	Emisario Aguas Chañar
Empresa	Nueva Atacama S.A. (Ex Aguas Chañar)
Código industrial Internacional Uniforme (CIU4)	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares
Rubro RETC	Suministro y tratamiento de aguas
Año de inicio de actividades	La RCA favorable fue obtenida en noviembre de 1998
Descripción de las actividades	Luego de un tratamiento preliminar de las aguas servidas estas son descargadas al mar mediante un emisario submarino a 600 metros de la costa (Figura 117). En promedio los flujos de descarga son de 16 l/s en invierno y 21 l/s en verano.
Instalaciones	Consta de una planta de tratamiento de aguas servidas donde se realiza un pre-tratamiento físico o primario donde se retiran elementos sedimentables. El efluente líquido luego se transporta por el emisario y se descarga a 44,6 metros de profundidad. Los lodos extraídos en el tratamiento de aguas servidas son retirados de la planta y depositados en rellenos sanitarios.
Otros Antecedentes	La descarga realizada por el emisario se rige por el D.S 90 – Norma emisión de contaminantes asociados a descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

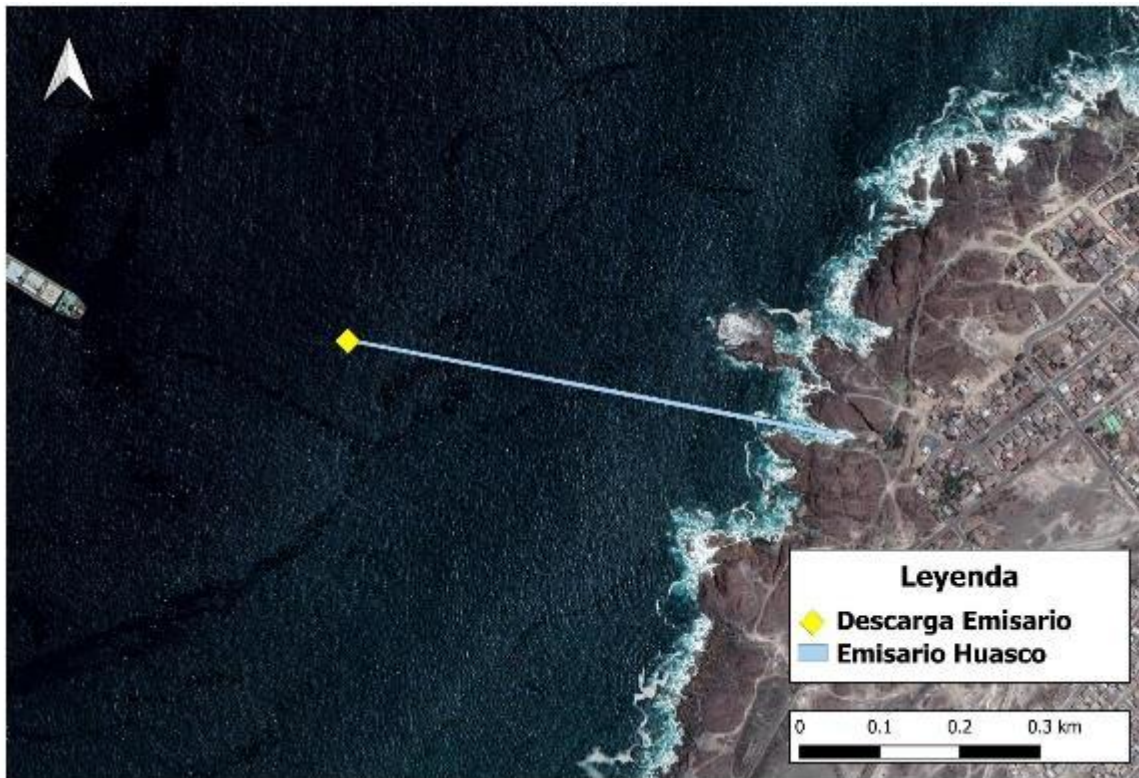


Figura 117 – Ubicación de descarga y emisario Huasco

Fuente: Plan de Vigilancia Ambiental Aguas Chañar

3.3.4 Fuentes no autorizadas

Se deja constancia que, durante la inspección de terreno en la Bahía de Huasco, en un sector cercano al emisario submarino (Nueva Atacama, ex Aguas Chañar) se observó un sector del suelo adyacente a una tubería histórica, en donde fue posible visualizar abundante vegetación atípica para el sector dada la disponibilidad de agua y nutrientes (ver Figura 118 y Figura 119). Esta vegetación puede deberse a filtraciones del mismo emisario, o debido al aporte de otras fuentes no asociadas al emisario que estén vertiendo al sector identificado.

Una revisión de documentos históricos (SEMAR, 1989) indicaría que la tubería correspondería a un emisario histórico, de diámetro 25 cm, que evacuaba las aguas servidas de 31 casas y un parvulario (población CMP Huasco II). En el momento de la evaluación de SEMAR, existían solicitudes para poder utilizarlo en la red de alcantarillado general de Huasco. Adicionalmente, su estado se describe como precario por corrosión.



Figura 118 – Tubería histórica, posible fuente no autorizada en sector emisario submarino
Fuente: Elaboración propia



Figura 119 – Ubicación tubería histórica, posible fuente no autorizada en sector emisario submarino
En rojo, tubería histórica y en azul instalaciones de Nueva Atacama. Fuente: Elaboración propia (GoogleEarth)

3.4 Caracterización de descargas de residuos líquidos

En base a la información disponible en el RETC y en conjunto con la revisión bibliográfica de Declaraciones de Impacto Ambiental, Estudios de Impacto Ambiental y Planes de Vigilancia Ambiental, se detallan a continuación la caracterización de las emisiones para cada una de las fuentes identificadas.

3.4.1 Planta de Pellets

Se presenta en la sección a continuación el registro anual de emisiones del RETC, y en la sección subsiguiente, la información de caracterización fisicoquímica disponible para esta fuente.

3.4.1.1 Emisiones anuales

La fuente Planta de Pellets posee registros entre los años 2007 y 2019, pero cabe destacar que en los años 2013 a 2016 solo registran emisiones anuales para boro, cromo hexavalente y fluoruros. A continuación, se presenta en la Figura 120 un panel de gráficos que indican las emisiones anuales para seis contaminantes emitidos por la fuente Planta de Pellets a cuerpos de aguas marinas.

En primera instancia se destaca para las seis emisiones anuales de contaminantes la drástica disminución de las emisiones en el período 2008 a 2016; donde en el año 2007 y posterior a 2017 las emisiones anuales vuelven a elevarse, a excepción de la emisión anual de cobre. Por otra parte, es importante destacar el aumento progresivo de las emisiones anuales de cloruros y boro, donde para los años 2017 a 2019 existió un aumento significativo de las emisiones. Para el caso del cromo hexavalente las emisiones anuales se mantuvieron bajas entre el 2009 y el 2016, para aumentar en 2017 y comenzar una disminución progresiva hasta alcanzar el año 2019; situación muy similar a la que ocurre con las emisiones anuales de fluoruros.

En la Figura 121 se muestra el porcentaje de la emisión total anual que aporta cada contaminante, para la realización de esta figura se consideraron los contaminantes que se encontraban en el 25% más alto de la totalidad de las emisiones anuales. De esta forma esta figura permite evaluar el cambio que han tenido las emisiones anuales de la Planta de Pellets a lo largo de los años. Para el periodo comprendido entre el 2007 y el 2012 los principales aportes en términos de toneladas anuales fueron para los sólidos suspendidos totales y el nitrógeno total. Pero posteriormente en el periodo 2017 a 2019, las principales emisiones anuales fueron de sulfatos y cloruros. El resto de los contaminantes graficados aportan de manera poco significativa en términos de masa como lo son el manganeso, los aceites y grasas, entre otros.

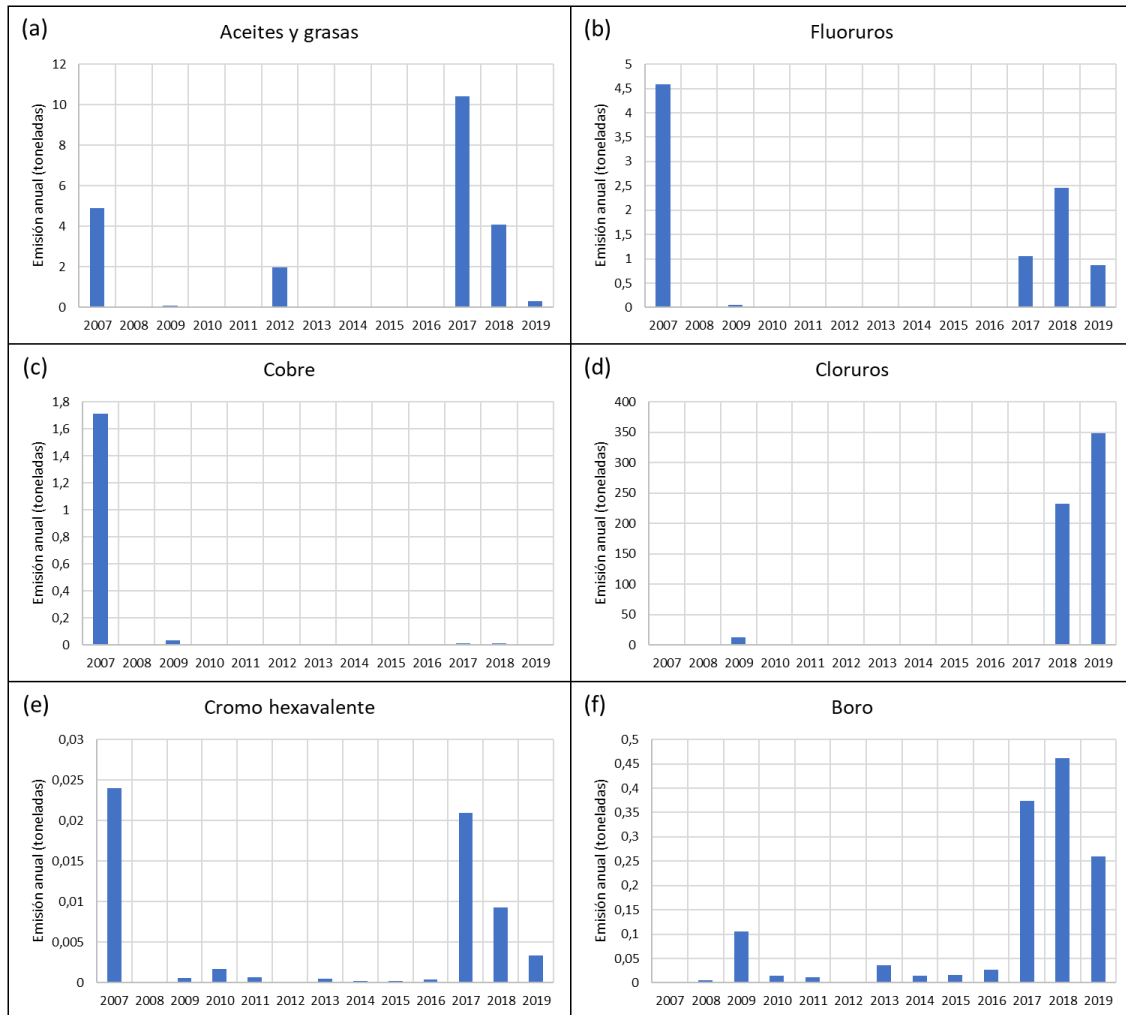


Figura 120 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Fluoruros, (c) Cobre, (d) Cloruros, (e) Cromo Hexavalente y (f) Boro para fuente Planta de Pellets
Fuente: Elaboración propia en base a RETC

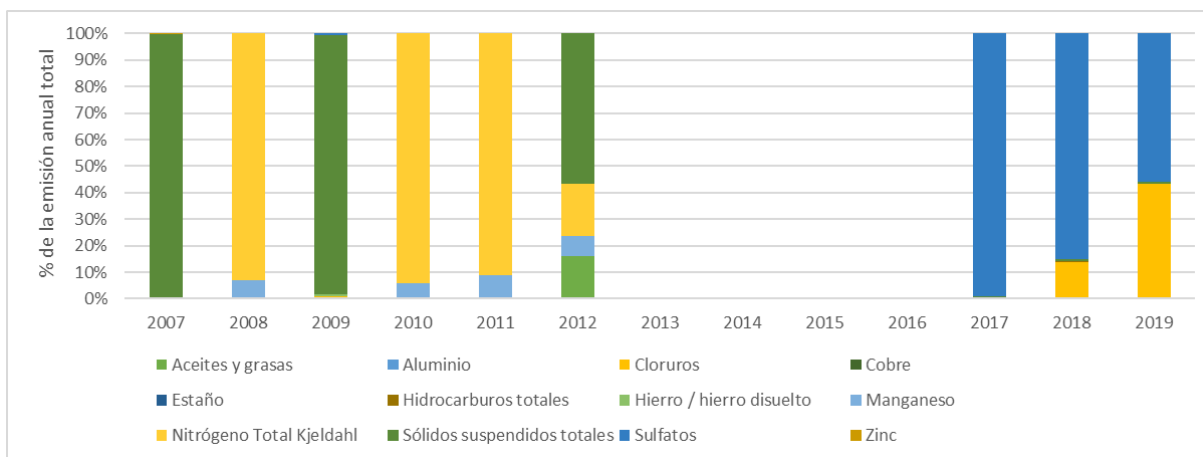


Figura 121 – Porcentaje de la emisión anual total por contaminante

Fuente: Elaboración propia en base a RETC

3.4.1.2 Calidad química y física de relaves

A partir de la información registrada durante la ejecución del Programa de Vigilancia Ambiental correspondiente al Depósito Submarino de Relaves de la Planta de Pellets de la Compañía Minera del Pacífico, se recopiló los valores de pH y temperatura de descarga entre los años 2013 y 2021, considerando 3 meses representativos por cada año.

La Figura 122 muestra las mediciones de pH a lo largo de los años, es importante destacar que el promedio de pH para todas las mediciones incluidas fue de 7,76, con una desviación estándar de 0,26. Además, se incluyen en el gráfico, el intervalo correspondiente a tres desviaciones estándar desde el promedio, que nos indica que no existen valores fuera de estos rangos.

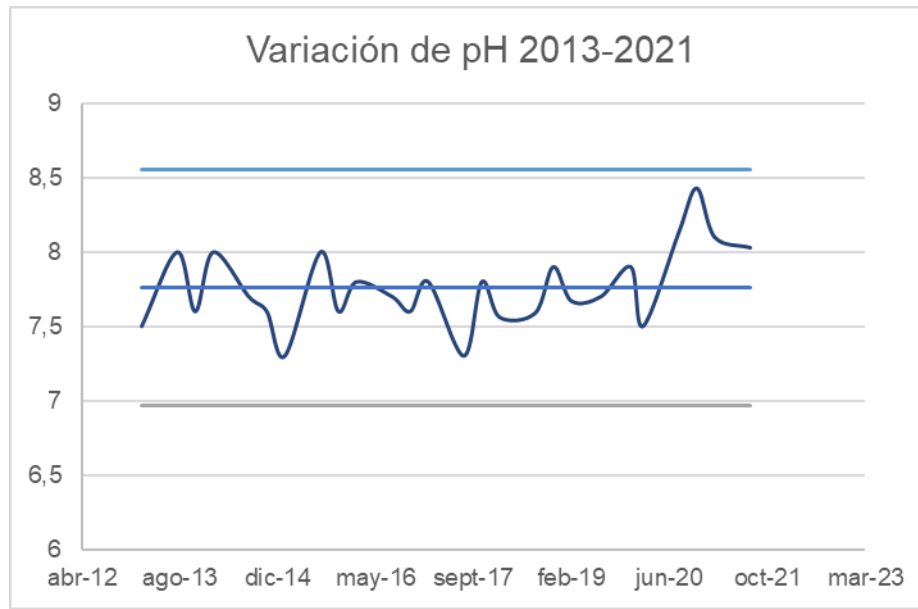


Figura 122 – Medición de pH en fase líquida del relaveducto
Fuente: Plan de Vigilancia Ambiental Planta Pellet CMP 2013 a 2021

La Figura 123 muestra las mediciones de temperatura a lo largo de los años y en dos momentos, antes de la descarga y en la descarga. Es importante destacar que la temperatura previa a la descarga es siempre más alta que al momento de descargar, debido a la mezcla que se produce con el cuerpo receptor al momento de la descarga. Por otro lado, es importante destacar la tendencia a la disminución de las temperaturas antes de la descarga a través de los años, pasando desde valores por sobre los 35 grados a valores bajo este.

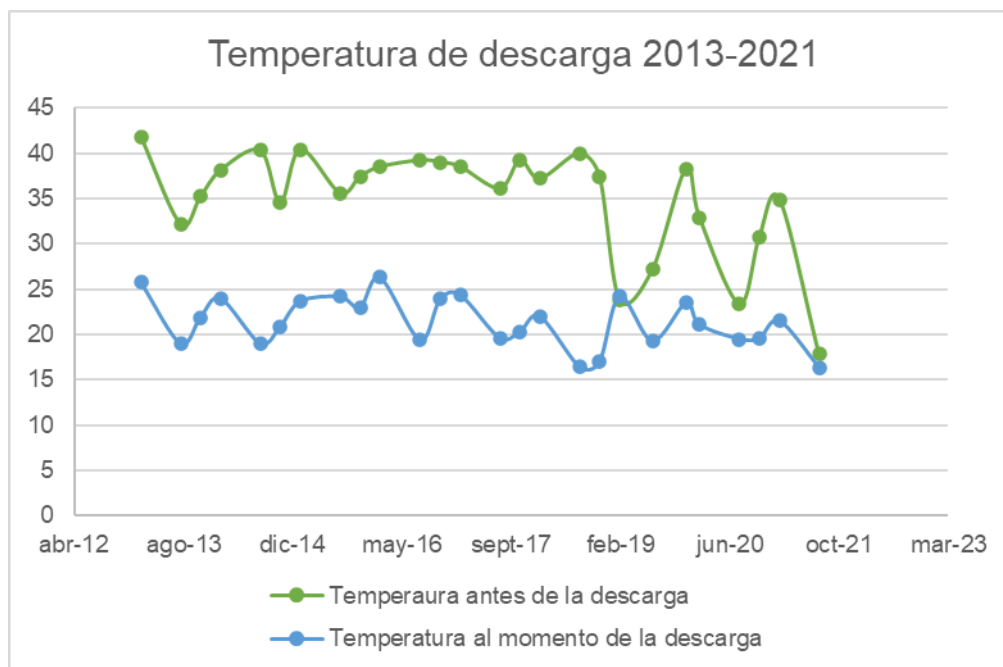


Figura 123 – Medición de Temperatura en fase líquida del relaveducto, antes y al momento de la descarga
Fuente: Plan de Vigilancia Ambiental Planta Pellet CMP 2013 a 2021

La caracterización del material de relave descargado en la Bahía de Chapaco se realizó en detalle para el proceso de Estudio de Impacto Ambiental para el proyecto Actualización del sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets; información que es presentada a continuación para detallar la caracterización fisicoquímica del relave.

Desde un punto físico el relave originado en la Planta de Pellets se constituye de una suspensión de sólidos con líquido, conformando la pulpa; principalmente conformado por partículas finas. En la Tabla 36 se presenta la granulometría del relave, destacando que se compone principalmente de limo y arcilla y sus fracciones finas; y donde solo un 2% del total corresponde a arena.

Tabla 36 – Distribución de tamaño de partículas de la fase sólida de la pulpa de relave

Tamaño de Partícula (µm)	% del total
149 y más	1,75
148,9 a 105,0	2,94
104,9 a 74,0	5
73,9 a 53,0	7,36
52,9 a 46,0	2,09
45,9 a 27,5	11,8
27,4 a 21,0	5,38
20,9 a 15,0	6,19
14,9 a 10,0	6,51
9,9 a 7,5	3,84
< 7,5	47,1

Fuente: EIA Proyecto Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets, CMP (2013)

Desde un punto de vista mineralógico el relave se compone de 5 minerales principales, los que corresponden a casi un 70% de toda la fase sólida del relave; el detalle de los principales resultados obtenidos por difracción de rayos X se presenta en la Tabla 37. Es importante destacar que el alto porcentaje de Clinocloro y Pargasita Potásica podría estar relacionado con las altas emisiones de cloruros y fluoruros de la fuente Planta Pellets indicados en la sección anterior.

Tabla 37 – Principales fracciones de la composición cristalina del relave

Componente	Formula Química	%
Clinocloro	$(\text{Mg,Fe}^{2+})_5 \text{Al}(\text{Si}_3 \text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	34
Pargasita Potásica	$(\text{K,Na})\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_5 \text{Si}_8 \text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$	18
Actinolita	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_5 \text{Si}_8 \text{O}_{22}(\text{OH})_2$	11
Magnesio ferrita	$\text{MgFe}_2^{3+} \text{O}_4$	1-9
Anortita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2 \text{O}_8$	7

Fuente: EIA Proyecto Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets, CMP (2013)

En la Tabla 38 se presenta la composición química del relave en base a dos técnicas de medición distintas.

Tabla 38 – Composición química del relave

Elemento	Expresado como	EAA (%)	FRX (%)
Hierro	Fe	10,98	8,53
Hierro	Fe Magnético	4,31	-
Fósforo	P	0,94	0,367
Silicio	SiO ₂	38,07	35,7
Calcio	CaO	8,48	9,74
Magnesio	MgO	12,8	13,7
Aluminio	Al ₂ O ₃	8,24	6,59
Vanadio	V	0,06	0,01
Titanio	TiO ₂	1,02	0,65
Cobre	Cu	0,020	0,01
Manganeso	Mn	0,298	0,37
Cromo	Cr	0,008	-
Níquel	Ni	0,015	-
Zinc	Zn	0,017	-
Plomo	Pb	0,011	-
Azufre	SO ₃	-	0,29
Cloruro	Cl	-	0,19
Sodio	Na ₂ O	0,90	0,65
Potasio	K ₂ O	1,06	3,90

Fuente: EIA Proyecto Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets, CMP (2013)

En la tabla anterior se destacan algunos puntos relevantes. Por un lado, la alta concentración de hierro debido a que esta planta procesa mineral de hierro. En segundo lugar, la alta presencia de magnesio, coincidente con las emisiones anuales indicadas previamente.

A continuación, en la Tabla 39 se presenta información de muestreos realizados al relave (fresco y depositados procedente del emisario antiguo y actual) por CMP en el año 2012. Además, se presenta el contenido promedio de la corteza terrestre, como una forma de comparación de enriquecimiento. Según el análisis realizado por CMP para la DIA, se ha encontrado enriquecimientos de arsénico, fósforo, selenio y manganeso en el relave fresco; de selenio, arsénico, fósforo, cobalto, hierro y vanadio en el relave depositado del emisario actual; y de selenio, arsénico, cobalto, fósforo, molibdeno, hierro y vanadio en el relave depositado del emisario antiguo.

Tabla 39 – Contenido multi-elemental analizado en muestras de relaves

Elemento	Unidades	Contenido promedio cortical	Límite detección	Relave fresco	Emisario antiguo	Emisario actual
Hg	mg/kg	0,05	0,005	0,0161	0,0434	0,0147
Ag	mg/kg	0,07	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Al	mg/kg	82.000	50	24.500	10.900	12.800
As	mg/kg	1,5	0,05	32,5	33,6	34,6
Ba	mg/kg	500	0,5	14,1	7,67	7,04
Be	mg/kg	2,6	0,2	0,29	0,21	0,25
Bi	mg/kg	0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cd	mg/kg	0,11	0,05	0,137	<0,05	0,107
Ca	mg/kg	41.000	50	34.100	43.600	33.300
Co	mg/kg	20	0,1	41,2	431	79,9
Cr	mg/kg	100	0,5	13,2	16,8	6,66
Cu	mg/kg	50	0,5	95,8	92,8	139
Fe	mg/kg	41.000	50	81.800	227.000	196.000
K	mg/kg	21.000	100	1.700	2.230	1.010
Li	mg/kg	20	5	33,2	13,6	22,8
Mg	mg/kg	23.000	20	40.100	15.600	18.900
Mn	mg/kg	950	1	3.200	734	1.540
Mo	mg/kg	1,5	0,5	1,96	5,25	1,93
Na	mg/kg	23.000	100	1.100	2.390	2.920
Ni	mg/kg	80	0,5	25,7	96,4	45,2
P	mg/kg	1.000	50	9.990	14.800	12.600
Pb	mg/kg	14	0,5	2,59	1,78	3,01
Sb	mg/kg	0,2	0,1	0,46	0,34	0,32
Se	mg/kg	0,05	0,2	0,47	2,42	1,39
Sn	mg/kg	2,2	2	<2	<2	<2
Sr	mg/kg	370	0,5	28	39,6	27,5
Ti	mg/kg	5.600	1	824	425	393
Tl	mg/kg	0,85	0,05	<0,05	<0,05	<0,05
U	mg/kg	2,4	0,05	0,984	1,33	0,722
V	mg/kg	160	0,2	284	582	566
Zn	mg/kg	75	1	204	44,4	89,2

Fuente: DIA Cese de la descarga de Relaves en Ensenada Chapaco, Anexo 6 Geoquímica del relave (CMP, 2018)

Se presenta en la Tabla 40 la composición química de la fase líquida del relave durante dos años de monitoreo. Algunos puntos a destacar son la presencia de fluoruro y sulfatos, coincidentes con las emisiones anuales reportadas previamente.

Tabla 40 – Composición química del agua de relave en dos años de monitoreo

Parámetros	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13
Aceites y Grasas (mg/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
SSD (ml/L)*h	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
SS (mg/l)	16	<10	<10	10	<10	<10	<10	<10	12	5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Aluminio (mg/l)	0,4	<0,1	0,2	1	0,4	0,9	0,3	0,6	0,5	0,099	<0,010	0,113	0,153
Arsénico (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,004	0,003	0,004	0,003	0,001
Cadmio (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cianuro (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cobre (mg/l)	<0,05	<0,05	0,3	<0,05	<0,05	0,07	0,05	0,09	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	0,011
Índice de Fenol (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002	0,009	<0,002	<0,002
Cromo Hexavalente (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cromo Total (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,005	<0,005	<0,005	0,006
Estaño (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Fluoruro (mg/l)	8,0	0,6	0,6	10,0	1,4	0,9	<0,5	<0,5	0,5	1,11	1,27	<0,2	0,53
Hidrocarburos Totales (mg/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Hidrocarburos Volátiles (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Hidrocarburos Fijos (mg/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Manganeso (mg/l)	0,4	0,3	0,3	2	0,4	0,5	0,28	0,62	0,6	0,435	<0,001	0,300	0,321
Mercurio (mg/l)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Molibdeno (mg/l)	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,03	0,02	0,04	0,14	<0,01	0,03	<0,005	0,011	0,017
Níquel (mg/l)	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,005	0,012	<0,005	<0,005
pH (20 °C) (unidad)	6,9	7,6	7,7	7,5	7,2	7,5	7,9	8,0	7,7	7,69	6,91	7,95	7,92
Plomo (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,010	0,015	0,014	<0,010
Detergente como SAAM (mg/l)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Selenio (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Sulfuros (mg/l)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Zinc (mg/l)	<0,05	<0,05	0,1	<0,05	<0,05	0,05	0,05	<0,05	<0,05	0,010	<0,002	0,006	0,005
Hierro disuelto (mg/l)	0,05	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	0,22	0,11	0,12	<0,05	0,008	-	-	-
Sulfatos (mg/l)	1.930	1.975	1.755	1.868	2.072	1.211	2.014	2.084	2.071	1.918	1.605	1.140	2.441

Cloro Libre (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-
--------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---	---	---	---

Fuente: EIA Proyecto Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets, CMP (2013)

3.4.2 Central Huasco Enel

La fuente Enel Huasco no posee registros disponibles sobre la composición fisicoquímica de sus efluentes liberados al mar. Debido a esto en la sección a continuación se presenta solo el registro anual de emisiones del RETC.

3.4.2.1 Emisiones anuales

Para el caso de las emisiones a cuerpos de aguas marinas la fuente Enel Huasco solo posee registros de emisiones anuales para contaminantes para los años 2007 y 2012; el detalle de las emisiones anuales de contaminantes para ambos años se adjunta en Anexo 10. A continuación, en la Figura 124 se presentan cuatro contaminantes destacados para esta fuente. En primera instancia se destaca que para el año 2012 las emisiones para los cuatro contaminantes disminuyeron significativamente, a modo de ejemplo, las emisiones de aceites y grasas pasaron de 19,5 toneladas en 2007 a 2,95 kilogramos en 2012; situación similar para la mayoría de los contaminantes registrados.

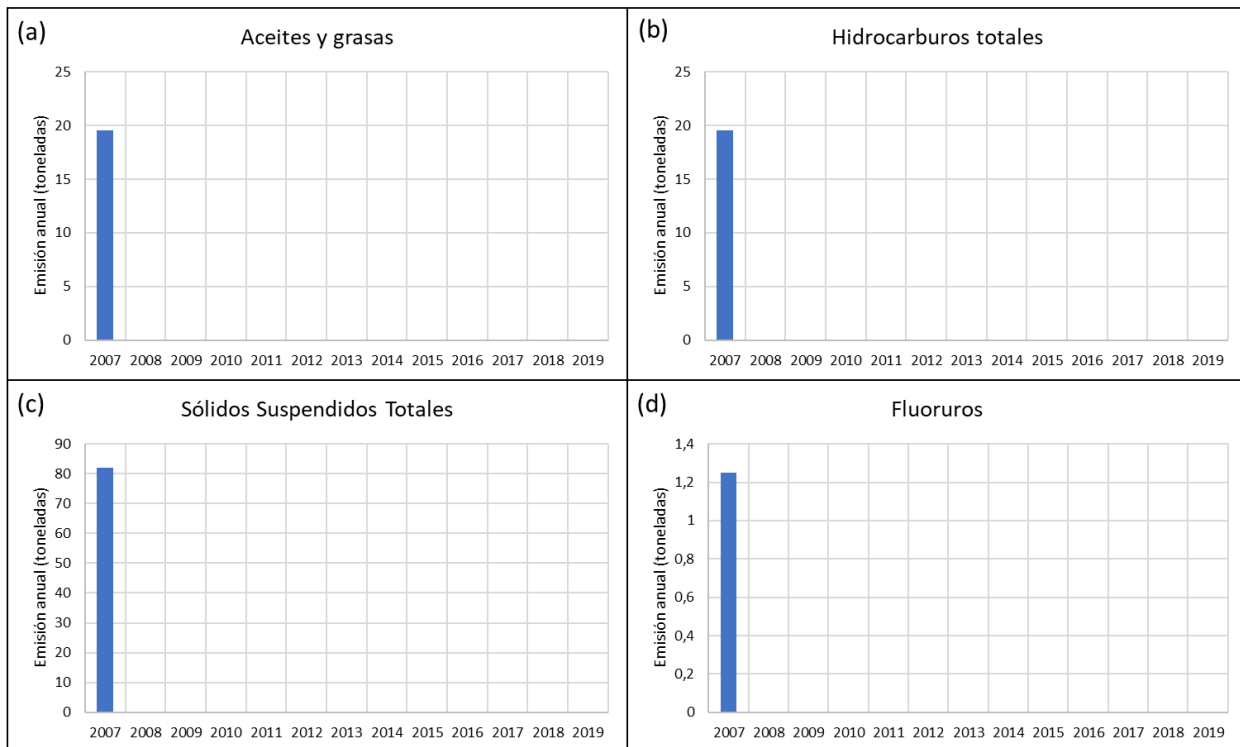


Figura 124 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Hidrocarburos totales, (c) Sólidos Suspendedos Totales y (d) Fluoruros para fuente Enel Huasco

Fuente: Elaboración propia en base a RETC

3.4.3 Central Guacolda

La fuente Guacolda no posee registros disponibles sobre la composición fisicoquímica de sus efluentes liberados al mar. Debido a esto en la sección a continuación se presenta solo el registro anual de emisiones del RETC.

3.4.3.1 Emisiones anuales

Para el caso de las emisiones a cuerpos de aguas marinas la fuente Guacolda no posee registros de emisiones anuales para contaminantes en los años 2007, 2009, 2010 y 2011; el detalle de las emisiones anuales de contaminantes para cada año se adjunta en Anexo 10. A continuación, se presenta en la Figura 125 un panel de gráficos que indican las emisiones anuales para seis contaminantes emitidos por la fuente Guacolda a cuerpos de aguas marinas.

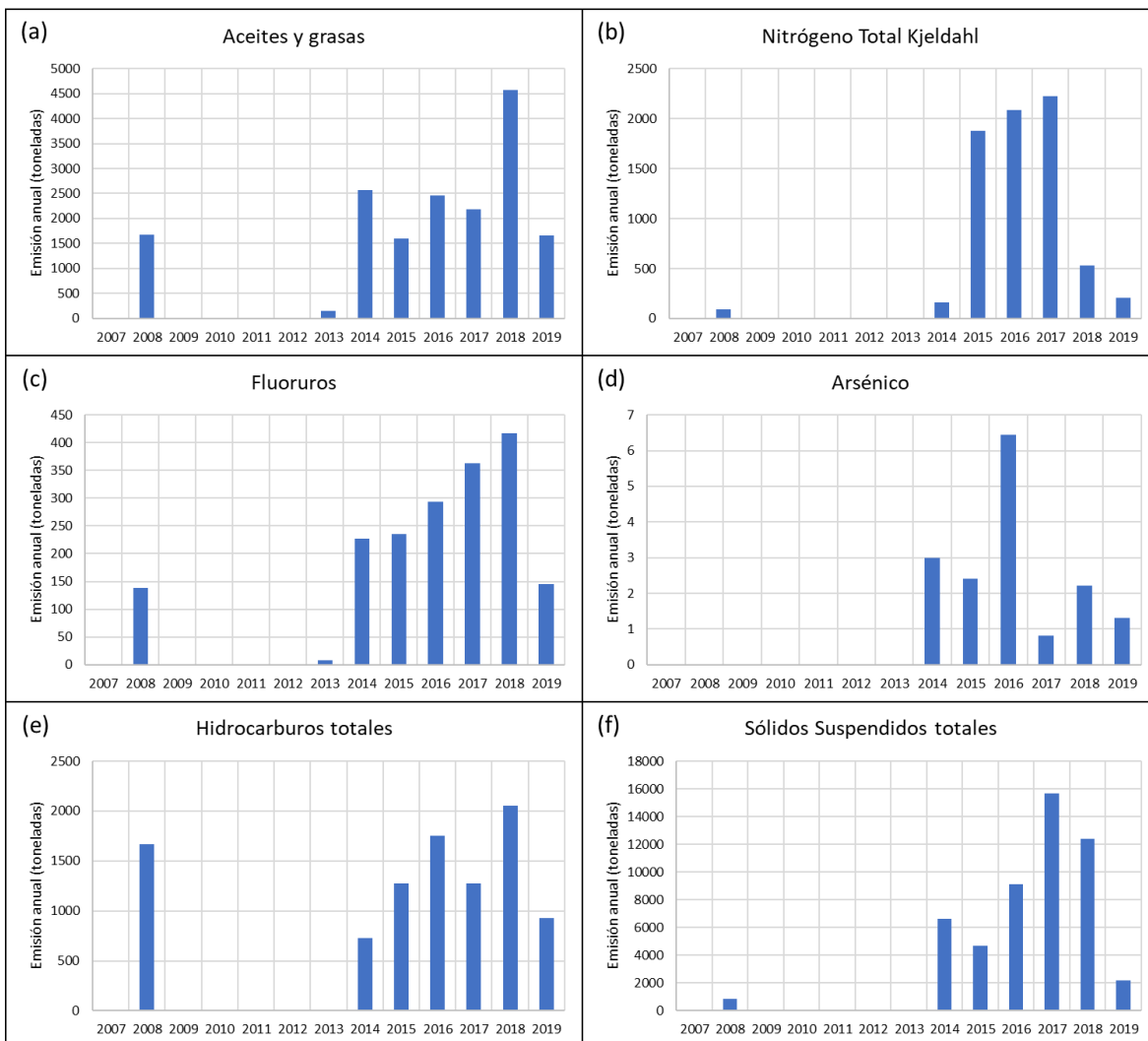


Figura 125 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Nitrógeno Total Kjeldahl, (c) Fluoruros, (d) Arsénico, (e) Hidrocarburos totales y (f) Sólidos Suspendedos Totales para fuente Guacolda

Fuente: Elaboración propia en base a RETC

En primera instancia las emisiones de aceites y grasas muestran un comportamiento constante a lo largo de los años con un fuerte aumento en el 2018 para luego volver a niveles similares en el año 2019. Las emisiones de nitrógeno total Kjeldahl mostraron un progresivo aumento hasta el año 2017, para luego caer drásticamente en los años 2018 y aún más en 2019. En el caso de las emisiones de fluoruros mostraron una tendencia al aumento hasta el año 2019 donde las emisiones disminuyeron a el 34% respecto al 2018. Para el caso de las emisiones anuales de arsénico se observa una tendencia a la disminución a excepción del año 2016, donde las emisiones se duplicaron respecto al año 2015. Las emisiones de hidrocarburos totales se mantienen entre el 2008 y 2019 en un rango de valores relativamente constantes. Por último, las emisiones anuales de sólidos suspendidos totales mostraron una tendencia al aumento entre los años 2008 y 2017, para luego comenzar un brusco descenso en los años 2018 y 2019.

3.4.4 Emisario submarino (Nueva Atacama, ex Aguas Chañar)

Se presenta en la sección a continuación el registro anual de emisiones del RETC y en la sección subsiguiente la información de caracterización fisicoquímica disponible.

3.4.4.1 Emisiones anuales

Para el caso de las emisiones a cuerpos de aguas marinas la fuente Emisario Submarino no posee registros de emisiones anuales para contaminantes en los años 2008, 2011 y 2019, el detalle de las emisiones anuales de contaminantes se adjunta en Anexo 10. A continuación, en la Figura 126 se presentan cuatro contaminantes destacados para esta fuente.

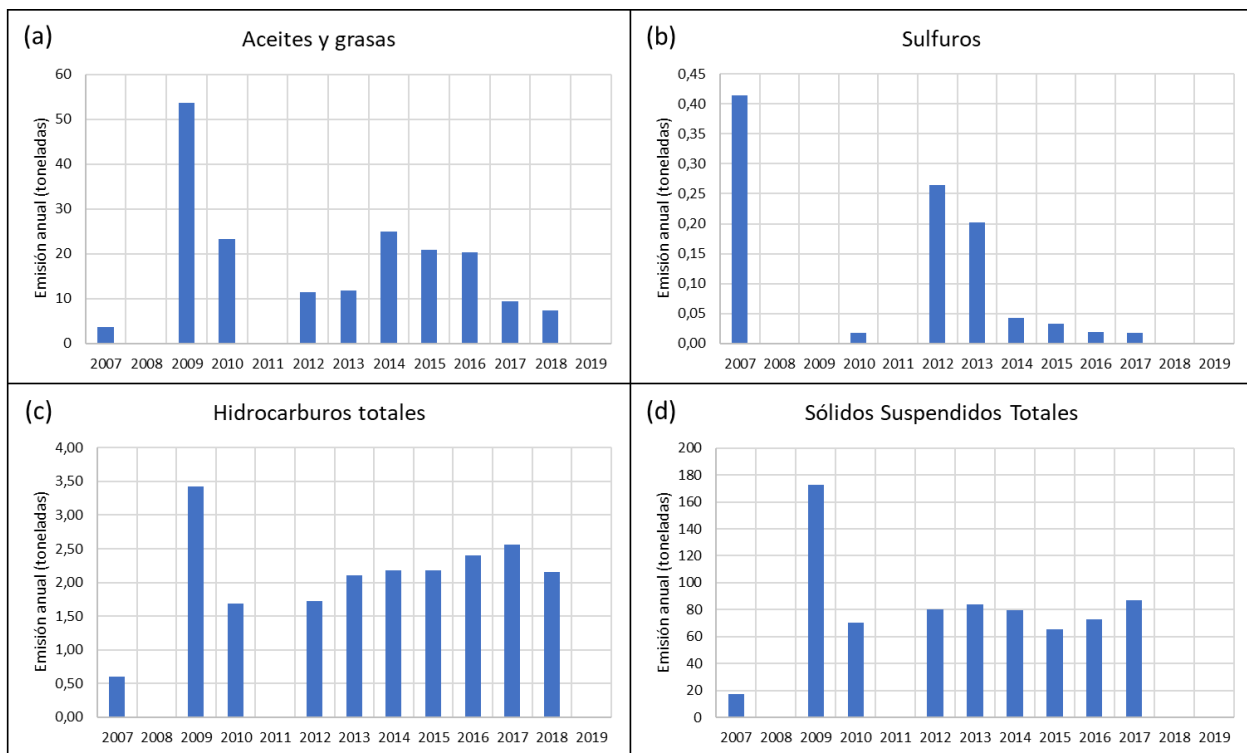


Figura 126 – Emisiones anuales de (a) Aceites y grasas, (b) Sulfuros, (c) Hidrocarburos totales y (d) Sólidos Suspendidos Totales para fuente Emisario submarino

Fuente: Elaboración propia en base a RETC

En primera instancia es importante destacar la magnitud de las emisiones de Aceites y Grasas o de Sólidos suspendidos Totales, en comparación con Sulfuros e Hidrocarburos totales. Para los cuatro contaminantes mostrados en la Figura 126 se observa una tendencia a la disminución donde los años 2007 y 2009 poseen los mayores valores de la serie. Se destaca además el caso de los Sulfuros donde para el año 2007 las emisiones alcanzaron los 414 kilogramos, disminuyendo a 17,54 kilogramos en el año 2017. Para el caso de Aceites y grasas, Hidrocarburos totales y Sólidos suspendidos totales, la tendencia es a mantener valores constantes, a excepción del año 2009 donde se registran los *peaks* de las emisiones anuales.

3.4.4.2 Calidad química y física de la descarga

A partir de la información disponible en el Sistema Nacional de Información Ambiental y durante los Programa de Vigilancia Ambiental correspondiente al Emisario Submarino de Aguas Chañar, se recopilieron caracterizaciones químicas de las descargas del emisario. Estas caracterizaciones se presentan en la Tabla 41.

Tabla 41 – Caracterización química de la descarga del emisario submarino

Fecha	Unidad	ene-13	ene-14	ago-15	ene-16	D.S. 90
S ₂	mg/L	0,4	S/l	S/l	S/l	5
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	2
Aceites y Grasas	mg/L	23	63	18	48	150
DBO ₅	mg/L	260	314	129	117	-
Hidrocarburos fijos	mg/L	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	-
Hidrocarburos totales	mg/L	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	20
Detergentes aniónicos	mg/L SAAM	1,88	1,76	1,22	1,95	-
Sólidos sedimentables	ml/L	S/l	5,0	0,2	1,0	20
Sólidos suspendidos totales	mg/L	322	283	93	90	200
Coliformes fecales	NMP/100mL	500000000	9000000000	5000000000	9000000000	-
pH	unidad	8,35	8,20	7,33	7,26	5.5-9.0
T°	°C	23,9	25,8	18,7	20,1	-
COT	mg/L	S/l	S/l	79,3	64,0	-

Fuente: Elaborado en base a Sistema Nacional de Información Ambiental

En la tabla anterior se puede observar, como es esperable, grandes valores de coliformes fecales en la descarga de aguas del emisario. Por otro lado, también es importante destacar que los Sólidos Suspendidos Totales superan en dos ocasiones el D.S. N°90 para descargas a aguas marinas, en los años 2013 y 2014.

3.4.5 Comparación de emisiones anuales entre las fuentes caracterizadas

A continuación, se presenta una serie de figuras donde se realiza la comparación entre las toneladas de emisiones anuales de cada fuente previamente caracterizada. Cabe destacar que la información presentada en la sección se basa en los registros del RETC, por lo que es altamente dependiente del correcto reporte de emisiones por parte de los privados citados.

En la Figura 127 se presentan las emisiones de arsénico, cobre y hierro. Es relevante destacar que la fuente Guacolda es la principal emisora de arsénico, cobre y hierro; y que sus emisiones se vuelven dominantes desde el año 2014 al 2019. Por otro lado, para el año 2009 las emisiones de hierro superaron las 30 toneladas y fueron exclusivamente emitidas por la Planta de Pellets de CMP.

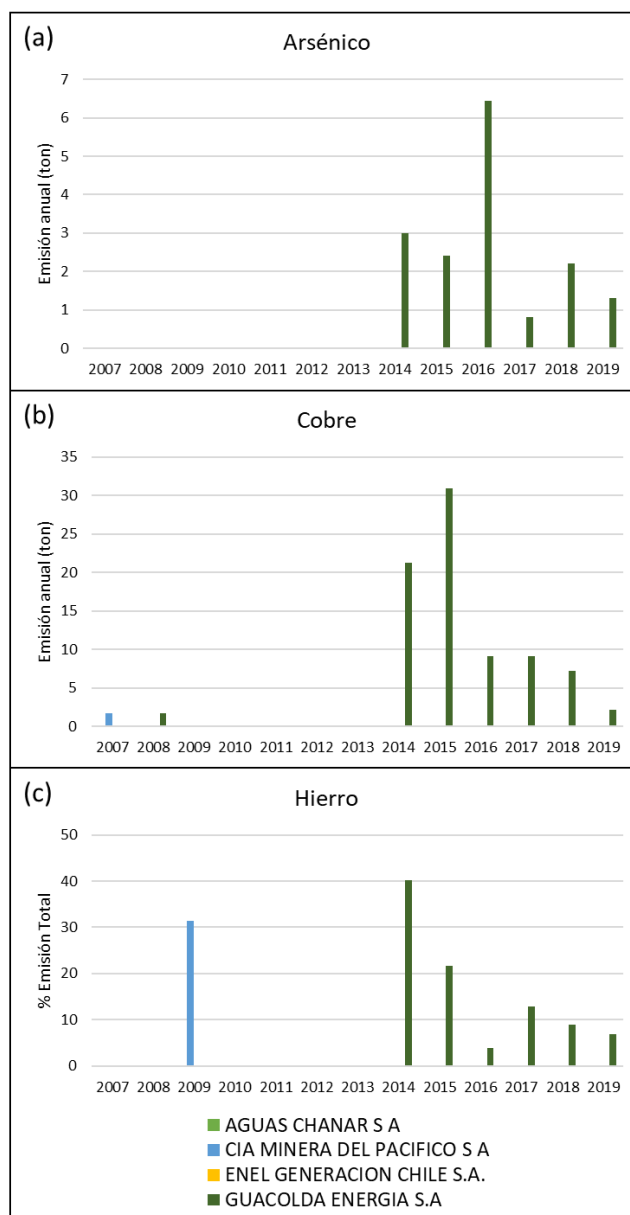


Figura 127 – Comparación de emisiones anuales por fuente para (a) Arsénico, (b) Cobre y (c) Hierro

Fuente: Elaboración propia en base a RETC

En la Figura 128 se presentan las emisiones de Aceites y Grasas, Hidrocarburos Totales y Nitrógeno total Kjeldahl. Es relevante destacar que nuevamente la fuente Guacolda es la principal emisora de estos tres contaminantes; y que sus emisiones se vuelven dominantes desde el año 2014 al 2019. En este caso las emisiones originadas por Enel Huasco, la Planta de Pellets y el Emisario de Aguas Chañar son despreciables en términos de masa.

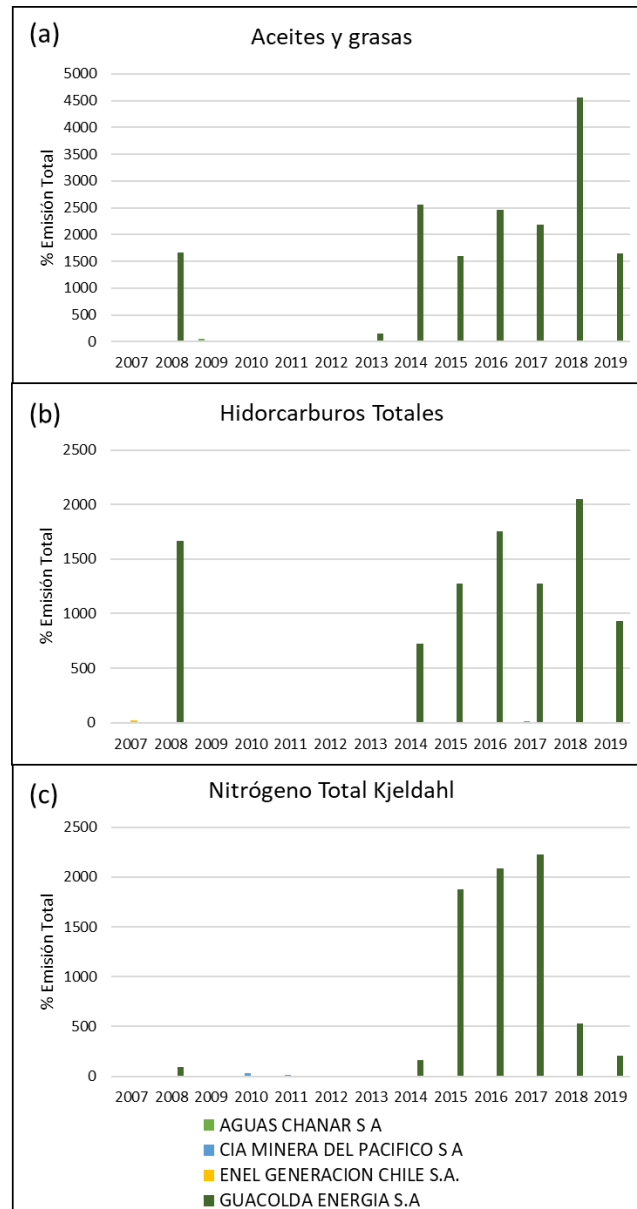


Figura 128 – Comparación de emisiones anuales por fuente para (a) Aceites y Grasas, (b) Hidrocarburos Totales y (c) Nitrógeno Total Kjeldahl
 Fuente: Elaboración propia en base a RETC

En la Figura 129 se presentan las emisiones de cloruros, fluoruros y sulfatos. Es relevante destacar que nuevamente la fuente Guacolda es la principal emisora de fluoruros. Pero a diferencia de los casos anteriores, la Planta de Pellets de CMP fue la mayor aportante de cloruros y sulfatos en los años 2017, 2018 y 2019. En este caso las emisiones originadas por Enel Huasco y el Emisario de Aguas Chañar son despreciables en términos de masa.

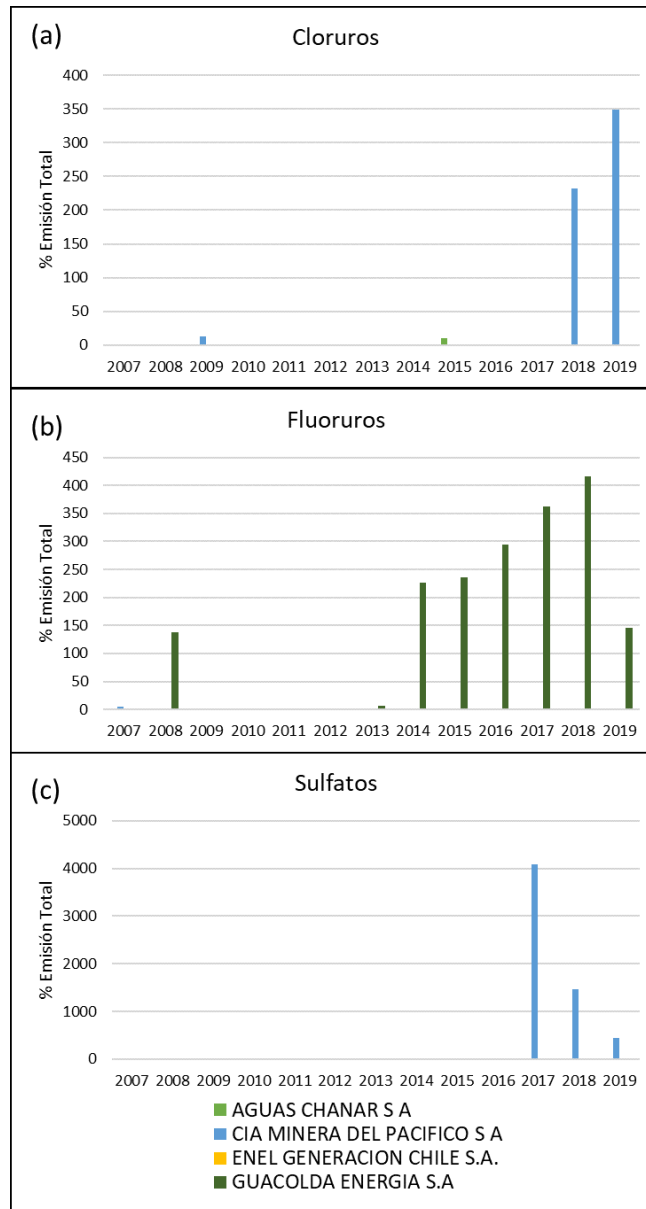


Figura 129 – Comparación de emisiones anuales por fuente para (a) Cloruros, (b) Fluoruros y (c) Sulfatos
Fuente: Elaboración propia en base a RETC

3.5 Análisis de pros y contras y proponer una hoja de ruta con alternativas y opciones conducentes a terminar con las emisiones de residuos líquidos vertidos a la Bahía de Chapaco

Como discutido anteriormente, las fuentes emisoras de residuos líquidos corresponden a las declaradas en el sistema RETC, que incluye las siguientes:

- Planta de Pellets de CMP
- Central Guacolda de AES Gener
- Central Huasco de Enel
- Emisario submarino Nueva Atacama

Las fuentes emisoras indicadas aportan principalmente los siguientes contaminantes a bahía Huasco y ensenada Chapaco: aceites y grasas, fluoruros, cobre, cloruros, cromo hexavalente, boro, sulfato, aluminio, arsénico, silicio, calcio, magnesio, hierro, hidrocarburos totales, sólidos suspendidos y nitrógeno.

Todas estas fuentes de emisoras de residuos líquidos cuentan con sus permisos respectivos, que no pueden ser caducados, salvo bajo órdenes de la Superintendencia de Medio Ambiente frente a faltas serias repetidas en el cumplimiento de los límites establecidos por normativa y/o de compromisos ambientales adquiridos. La revisión realizada no ha detectado tales situaciones, con excepción de procesos abiertos a CMP, frente a los cuales la empresa ha propuesto medidas para aumentar sus estándares ambientales. En este sentido, las emisiones de residuos líquidos de las empresas identificadas continuarán hasta el fin de la vida útil de cada proyecto (según la respectiva RCA, si corresponde).

De estas fuentes de residuos líquidos, solo CMP tiene planificado el finalizar con sus emisiones líquidas a ensenada Chapaco en septiembre de 2023 (proyecto “Cese de la descarga de Relaves en Ensenada Chapaco”, con Resolución de Calificación Ambiental N° 120/2019). Este proyecto contempla el desmantelamiento de la estructura de descarga de relaves ubicadas en tierra dejándose las submarinas para no causar mayor perturbación del medio ambiente marino. Luego de este proceso la disposición de relaves se realizaría en una zona terrestre, ubicada hacia el sur de la Planta de Pellets.

El cese de descarga de relaves al mar incluye una serie de compromisos ambientales, entre los que se cuenta la realización de un programa de monitoreo por 4 años después de finalizada la descarga. Este programa de monitoreo consiste en muestreo del footprint del relave mediante testigos submarinos, muestreo de biota, además de estudios de batimetría para monitorear el movimiento de los relaves. Según indica el Anexo 12: Plan de Seguimiento Ambiental actualizado de la DIA Cese de descarga (GAC, 2018), se realizará un monitoreo de la estabilidad del depósito de relaves a través de un muestreo semestral de muestras de sedimento obtenidas en 25 estaciones, dispuestas a 1 Km de distancia entre ellas, y a 150 m del margen del footprint actual, tal como se detalla en la Figura 130.

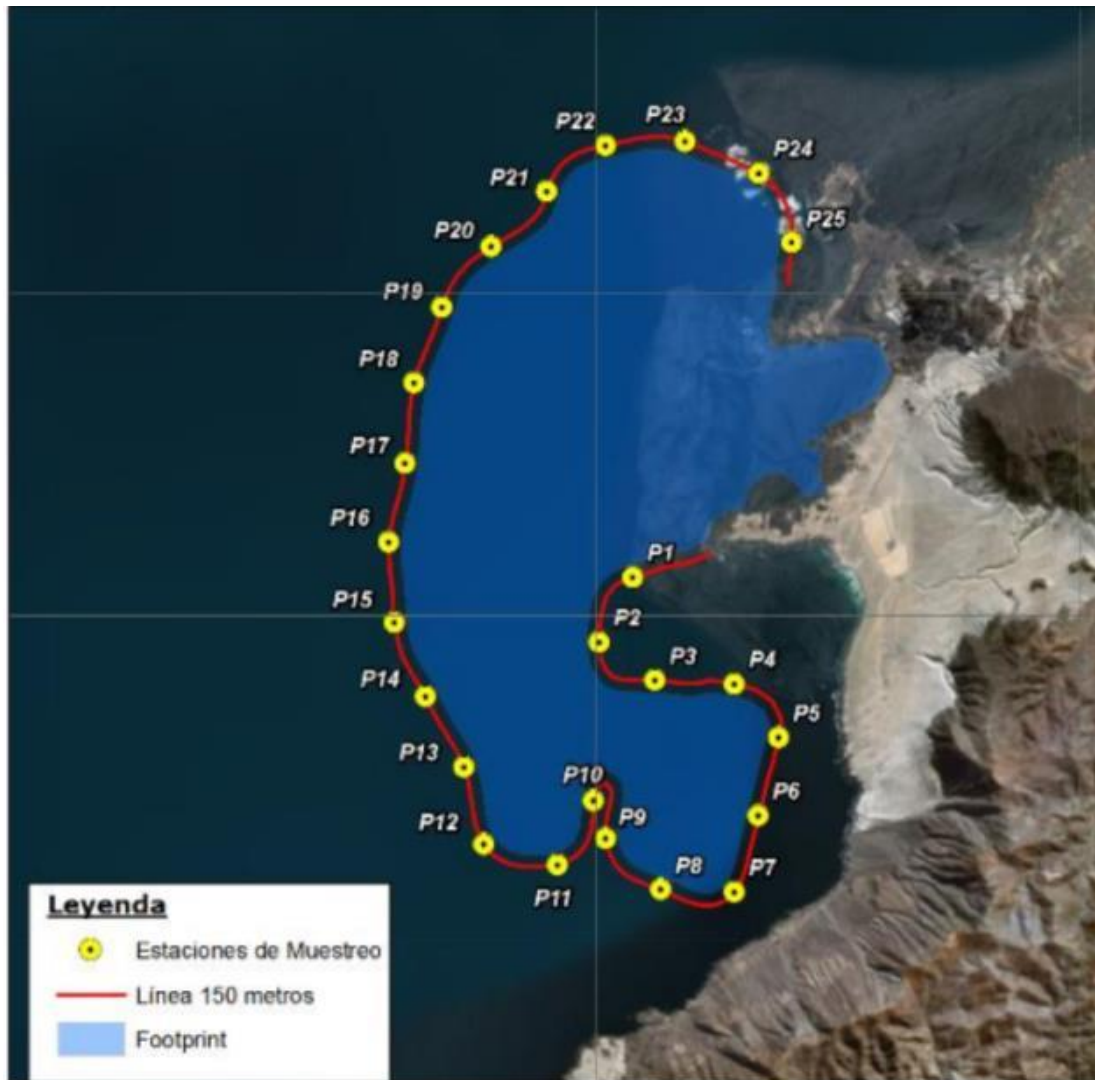


Figura 130 – Estaciones de muestreo del footprint de relave comprometidas por nuevo PVA
Fuente: GAC “Anexo 12: Plan de Seguimiento Ambiental actualizado Adenda Cese de la descarga de Relaves en Ensenada Chapaco” (2018)

4 Objetivo específico N°3 – Analizar y justificar si procede o no restaurar el borde costero de Huasco y realizar propuestas de mejora para la situación de su estado ecológico/ambiental, con énfasis en Bahía Chapaco

4.1 Diagnóstico y caracterización de las principales alteraciones del borde costero y ambiente marino de Huasco, con un enfoque crítico/analítico, identificando causas asociadas a eventuales deterioros

4.1.1 Determinación de contaminantes ambientalmente relevantes para el área de estudio

Se realizó un análisis para determinar los contaminantes y analitos más relevantes, en cuanto a su posible impacto al medio ambiente y su necesidad de seguir monitoreando en las bahías de Huasco y Chapaco. Para este análisis se contemplaron los datos de monitoreos y muestreos realizados en ambas bahías para las matrices agua y sedimentos (POAL, PVA, EnSoil, Rescan, DIA Cese, etc., discutido en la sección 2.4.1), además de información sobre las emisiones de las fuentes emisoras de residuos líquidos a la bahía (relaves y otras, discutido en la sección 3.4.1).

En primer lugar, para realizar el análisis se seleccionaron todos aquellos contaminantes que superaban la norma de referencia (norma australiana, ver sección 2.4) en alguno de los muestreos analizados; y además aquellos presentes en los relaves (enriquecimiento, ver sección 3.4), según lo indicado en la DIA de cese de descarga. Luego, para todos estos contaminantes se revisó en qué matriz hubo superación de las normativas de referencia; la diferencia de concentraciones promedio, mediana y máximo entre ambas bahías; el reporte de emisiones en RETC; e información sobre la composición del relave y enriquecimiento con respecto a la corteza terrestre. De esta forma, se preparó la Tabla 42, que indica los contaminantes seleccionados, y el detalle en cuanto a su relevancia en muestreos de agua, sedimentos, relaves y otras emisiones.

Tabla 42 – Contaminantes seleccionados y relevancia ambiental

Contaminante	Agua	Sedimentos	Relave	Otras emisiones líquidas
Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> Alto en datos DIA Cese (máx. 83 ug/L) Bajo norma en muestreo EnSoil Sin monitoreo en PVA CMP, POAL Chapaco ni POAL Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma para sedimentos Máx. NCH-18_Inv: 36966,7 mg/kg, en datos DIA Cese Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Composición del relave de hasta 24500 mg/kg de aluminio, sin enriquecimiento relevante PVA mensual descarga (0,585 mg/L en 03/2015; 0,899 mg/L en 03/2021) (bajo DS90, pero sobre norma Australia) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de aluminio en Guacolda (máx. 33,65 ton año 2017) Emisión de aluminio en Planta Pellets (máx. 22,1 ton año 2009) Emisión de aluminio en emisario Nueva Atacama (máx. 0,067 ton año 2017) No se reporta emisiones de aluminio en ENEL Huasco en RETC
Arsénico	<ul style="list-style-type: none"> Bajo en POAL Chapaco y Huasco Alto en PVA (máx. PVACH-6: 0,0132 mg/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Alto en POAL Chapaco (máx. 010-S-Ec: 32,80 mg/kg); bajo en POAL Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Enriquecimiento en relaves (máx. 34,6 mg/kg) PVA mensual descarga (0,007 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de arsénico en Guacolda (máx. 6 ton año 2016)

Contaminante	Agua	Sedimentos	Relave	Otras emisiones líquidas
	<ul style="list-style-type: none"> Alto en muestreo EnSoil (máx. Cha1: 0,0352 mg/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Alto en muestreo EnSoil (Cha1: 40,1 mg/kg) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<p>mg/L en 03/2015; 0,005 mg/L en 03/2021) (bajo DS90, pero sobre norma Australia)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de arsénico en Planta Pellets (máx. 0,018 ton año 2009) Emisión de arsénico en emisario Nueva Atacama (máx. 0,001 ton año 2014) No se reporta emisiones de arsénico en ENEL Huasco en RETC
Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> POAL Chapaco (máx. 050-A-Ec: 0,6 ug/L) POAL Huasco (máx. 070-A-Hu: 2 ug/L) PVA CMP (máx. PVACH-3: 0,3 ug/L) Sin superar norma (5,5 ug/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Alto en POAL Huasco (máx. 070-S-Hu: 5 mg/kg) Alto en datos DIA Cese (máx. NCH25_Pri: 7,405 mg/kg) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Composición del relave de hasta 0,137 mg/kg de cadmio, sin enriquecimiento relevante Indetectable PVA mensual descarga 03/2015 y 03/2021 (bajo DS90) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de cadmio en Guacolda (máx. 1,67 ton año 2008) Emisión de cadmio en Planta Pellets (máx. 0,031 ton año 2009) Emisión de cadmio en emisario Nueva Atacama (máx. 0,001 ton año 2007) Emisión de cadmio en ENEL Huasco (máx. 0,02 ton año 2007)
Cobalto	<ul style="list-style-type: none"> Alto en una muestra en estudio Rescan (1993) (WQ4_45m: 0,0026 mg/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma para sedimentos No se mide en POAL Huasco ni POAL Chapaco Muestreo EnSoil (máx. Cha1: 779 mg/kg) Datos DIA Cese (máx. 17 mg/kg en Huasco y 663 mg/kg en Chapaco) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Enriquecimiento en relaves (máx. 431 mg/kg) 	<ul style="list-style-type: none"> No se reporta emisiones de cobalto en RETC
Cobre	<ul style="list-style-type: none"> Alto en POAL Chapaco (máx. 050-A-Ec: 0,003 mg/L) Alto en POAL Huasco (máx. 020-A-Hu: 0,00467 mg/L) Alto en PVA (máx. PVACH-4: 0,0419 mg/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Alto en POAL Chapaco (máx. 010-S-Ec: 147 mg/kg) Alto en POAL Huasco (máx. 070-S-Hu: 1197 mg/kg) Promedio y mediana de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco; aunque máximo es mayor en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Composición del relave de hasta 139 mg/kg de cobre, sin enriquecimiento relevante PVA mensual descarga (<0,005 mg/L en 03/2015; 0,052 mg/L en 03/2021) (bajo DS90, pero sobre norma Australia) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de cobre en Guacolda (máx. 30,9 ton año 2015) Emisión de cobre en Planta Pellets (máx. 1,7 ton año 2007) Emisión de cobre en emisario Nueva Atacama (máx. 0,0076 ton año 2014) Emisión de cobre en ENEL Huasco (máx. 0,059 ton año 2007)
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> Alto en PVA CMP (máx. PVACH-4: 161,6 ug/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Alto en datos DIA Cese (máx. NCH25_Pri: 171,5 mg/kg) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Composición del relave de hasta 16,8 mg/kg de cromo, sin enriquecimiento relevante Indetectable PVA mensual descarga 03/2015 y 03/2021 (bajo DS90) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de cromo en Guacolda (máx. 19,7 ton año 2015) Emisión de cromo en Planta Pellets (máx. 0,362 ton año 2007) Emisión de cromo en emisario Nueva Atacama (máx. 0,003 ton año 2007)

Contaminante	Agua	Sedimentos	Relave	Otras emisiones líquidas
Estaño	<ul style="list-style-type: none"> Alto en una muestra en DIA Cese (38,1 ug/L) Bajo norma en muestreo EnSoil Sin monitoreo en PVA CMP, POAL Chapaco ni POAL Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma para sedimentos Máx. NCH27_Pri: 1,95 mg/kg, en datos DIA Cese Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Indetectable contenido de estaño en relaves Indetectable PVA mensual descarga 03/2015 y 03/2021 (bajo DS90) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de cromo en ENEL Huasco (máx. 0,098 ton año 2007) No se reporta emisiones de estaño en Guacolda en RETC Emisión de estaño en Planta Pellets (máx. 12,44 ton año 2009) Emisión de estaño en emisario Nueva Atacama (máx. 0,026 ton año 2017) No se reporta emisiones de estaño en ENEL Huasco en RETC
Fosfatos/Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> POAL Huasco (máx. 050-A-Hu: 0,64 mg/L fosfato y 070-A-Hu: 0,81 mg/L fósforo total) Muestreo EnSoil (máx. Hua1: 0,83 mg/kg fosfato y Cha1: 0,421 mg/L fósforo disuelto) Máximos superan rango "aceptable" según Calderón (2019) (0,05 mg/L para fosfato) Sin monitoreo en Chapaco (POAL ni PVA) 	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma de fósforo para sedimentos POAL Chapaco (máx. 010-S-Ec: 4887 mg/kg fósforo) POAL Huasco (máx. 050-S-Hu: 1012 mg/kg fósforo) Muestreo EnSoil (máx. Cha1: 17803 mg/kg fósforo) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Enriquecimiento de fósforo en relaves (máx. 14800 mg/kg) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de fósforo en Guacolda (máx. 316,8 ton año 2017) Emisión de fósforo en Planta Pellets (máx. 0,002 ton año 2009) Emisión de fósforo en emisario Nueva Atacama (máx. 0,2368 ton año 2015) Emisión de fósforo en ENEL Huasco (máx. 0,391 ton año 2007)
Hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma de hidrocarburos para agua POAL Huasco (máx. 070-A-Hu: 2 mg/L HC fijos, el resto es indetectable) Indetectable en POAL Chapaco Indetectable en muestreo EnSoil Sin monitoreo en PVA 	<ul style="list-style-type: none"> Niveles detectables en POAL Chapaco y Huasco Alto en muestreo EnSoil (Cha3: 2658 mg/kg) 	<ul style="list-style-type: none"> Sin presencia en relaves Indetectable PVA mensual descarga 03/2015 y 03/2021 (bajo DS90) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de hidrocarburos totales en Guacolda (máx. 2053 ton año 2018) Emisión de hidrocarburos totales en Planta Pellets (máx. 10,4 ton año 2017) Emisión de hidrocarburos totales en emisario Nueva Atacama (máx. 3,4 ton año 2009) Emisión de hidrocarburos totales en ENEL Huasco (máx. 19,5 ton año 2007)
Hierro	<ul style="list-style-type: none"> Alto en una muestra en DIA Cese (372 ug/L) Muestreo EnSoil (máx. Cha3: 185 ug/L), sin superar norma (300 ug/L) PVA CMP (máx. PVACH-4: 3,95 ug/L), sin superar norma (300 ug/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma para sedimentos No se mide en POAL Huasco ni POAL Chapaco Muestreo EnSoil (máx. Cha1: 171230 mg/kg) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Enriquecimiento en relaves (máx. 227000 mg/kg) PVA mensual descarga (1,27 mg/L en 03/2021; no incluido en DS90, sobre norma Australia) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de hierro en Guacolda (máx. 40,2 ton año 2014) Emisión de hierro en Planta Pellets (máx. 31,3 ton año 2009) Emisión de hierro en emisario Nueva Atacama (máx. 0,0019 ton año 2015) No se reporta emisiones de hierro en ENEL Huasco en RETC

Contaminante	Agua	Sedimentos	Relave	Otras emisiones líquidas
	<ul style="list-style-type: none"> Sin monitoreo en POAL Chapaco ni Huasco 			
Manganeso	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo EnSoil (máx. Cha3: 4,8 ug/L), sin superación de norma (80 ug) PVA CMP (máx. PVACH-4: 74,8 ug/L), sin superación de norma (80 ug) Sin monitoreo en POAL Chapaco ni Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma para sedimentos No se mide en POAL Huasco ni POAL Chapaco Muestreo EnSoil (máx. Cha3: 1678 mg/kg) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Enriquecimiento en relaves (máx. 3200 mg/kg) PVA mensual descarga (0,433 mg/L en 03/2015; 0,318 mg/L en 03/2021) (bajo DS90, pero sobre norma Australia) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de manganeso en Guacolda (máx. 13,8 ton año 2014) Emisión de manganeso en Planta Pellets (máx. 2,58 ton año 2009) Emisión de manganeso en emisario Nueva Atacama (máx. 0,004 ton año 2014) No se reporta emisiones de manganeso en ENEL Huasco en RETC
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> Alto en muestreo EnSoil (Cha1: 1 ug/L y Cha3: 0,9 ug/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Alto en POAL Huasco (máx. 040-S-Hu: 0,489 mg/kg) Alto en datos DIA Cese (máx. NH-1_Inv: 0,351 mg/kg) 	<ul style="list-style-type: none"> Composición del relave de hasta 0,0434 mg/kg de mercurio, sin enriquecimiento relevante Indetectable PVA mensual descarga 03/2015 y 03/2021 (bajo DS90) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de mercurio en Guacolda (máx. 0,21 ton año 2015) Emisión de mercurio en Planta Pellets (máx. 0,002 ton año 2017) Emisión de mercurio en emisario Nueva Atacama (máx. 0,399 ton año 2009) Emisión de mercurio en ENEL Huasco (máx. 0,002 ton año 2007)
Níquel	<ul style="list-style-type: none"> Indetectable en Muestreo EnSoil Sin monitoreo en POAL Chapaco ni Huasco, ni PVA Datos DIA Cese (máx. 5,49 ug/L), sin superación de norma (70 ug/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Alto en muestreo EnSoil (Cha1: 139 mg/kg) Alto en estudios para DIA Cese (máx. NCH2_Pri: 117,7 mg/kg) No se mide en POAL Huasco ni POAL Chapaco Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Composición del relave de hasta 96,4 mg/kg de níquel, sin enriquecimiento relevante PVA mensual descarga (<0,005 mg/L en 03/2015; 0,02 mg/L en 03/2021) (bajo DS90 y bajo norma Australia) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de níquel en Guacolda (máx. 25,1 ton año 2014) Emisión de níquel en Planta Pellets (máx. 0,013 ton año 2018) Emisión de níquel en emisario Nueva Atacama (máx. 0,0025 ton año 2017) No se reporta emisiones de níquel en ENEL Huasco en RETC
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> Alto en datos DIA Cese (máx. 52,4 ug/L) Alto en PVA CMP (máx. PVACH-3: 8 ug/L) Alto en muestreo EnSoil (Cha3: 146,6 ug/L; Hua1: 84 ug/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Sin superación de norma (máx. 070-S-Hu: 36,07 mg/kg, en POAL Huasco) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Huasco que en Chapaco 	<ul style="list-style-type: none"> Composición del relave de hasta 3,01 mg/kg de plomo, sin enriquecimiento relevante PVA mensual descarga (0,012 mg/L en 03/2015; 0,014 mg/L en 03/2021) (bajo DS90, pero sobre norma Australia) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de plomo en Guacolda (máx. 8,349 ton año 2008) Emisión de plomo en Planta Pellets (máx. 0,13 ton año 2011) Emisión de plomo en emisario Nueva Atacama (máx. 0,003 ton año 2007) Emisión de plomo en ENEL Huasco (máx. 0,098 ton año 2007)
Selenio	<ul style="list-style-type: none"> Sin monitoreo en POAL Chapaco ni Huasco, ni PVA Datos DIA Cese (máx. 6,73 ug/L), sin 	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma para sedimentos No se mide en POAL Huasco ni POAL Chapaco 	<ul style="list-style-type: none"> Enriquecimiento en relaves (máx. 2,42 mg/kg) Indetectable PVA mensual descarga 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de selenio en Guacolda (máx. 0,6 ton año 2015)

Contaminante	Agua	Sedimentos	Relave	Otras emisiones líquidas
	superación de norma (11 ug/L) <ul style="list-style-type: none"> Alto en una muestra en muestreo EnSoil (Cha3: 17,3 ug/L) 	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo EnSoil (máx. Cha3: 1,58 mg/kg) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	03/2015 y 03/2021 (bajo DS90)	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de selenio en Planta Pellets (máx. 0,011 ton año 2017) Emisión de selenio en emisario Nueva Atacama (máx. 0,0011 ton año 2014) Emisión de selenio en ENEL Huasco (máx. 0,002 ton año 2007)
Vanadio	<ul style="list-style-type: none"> Sin monitoreo en POAL Chapaco ni Huasco, ni PVA Indetectable en muestreo EnSoil 	<ul style="list-style-type: none"> Sin norma para sedimentos No se mide en POAL Huasco ni POAL Chapaco Muestreo EnSoil (máx. Cha2: 385 mg/kg) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Enriquecimiento en relaves (máx. 582 mg/kg) PVA mensual descarga (0,027 mg/L en 03/2021) (no incluido en DS90, bajo norma Australia) 	<ul style="list-style-type: none"> No se reporta emisiones de vanadio en RETC
Zinc	<ul style="list-style-type: none"> Alto en datos DIA Cese (máx. 211 ug/L) Alto en PVA CMP (máx. PVACH-5: 113,3 ug/L) Alto en muestreo EnSoil (máx. Cha1: 21,4 ug/L) Sin monitoreo en POAL Chapaco; en POAL Huasco solo se mide zinc total, no disuelto 	<ul style="list-style-type: none"> Alto en datos DIA Cese (máx. NCH-18_Inv: 290,7 mg/kg) Promedio, mediana y máximo de los muestreos es más elevado en Chapaco que en Huasco 	<ul style="list-style-type: none"> Composición del relave de hasta 204 mg/kg de zinc, sin enriquecimiento relevante PVA mensual descarga (0,048 mg/L en 03/2015; 0,227 mg/L en 03/2021) (bajo DS90, pero sobre norma Australia) 	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de zinc en Guacolda (máx. 15,99 ton año 2014) Emisión de zinc en Planta Pellets (máx. 5,23 ton año 2007) Emisión de zinc en emisario Nueva Atacama (máx. 0,0179 ton año 2017) Emisión de zinc en ENEL Huasco (máx. 0,02 ton año 2007)

A partir de la tabla anterior entonces se definieron 5 “líneas de evidencia” que permitirían indicar la relevancia ambiental de los contaminantes seleccionados. El uso de líneas de evidencia es una práctica recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para la evaluación de riesgos ambientales, como indica en su documento “Guía para la evaluación de riesgos ambientales” de 1998. Este enfoque permite llegar a conclusiones sobre los posibles estresores que estarían afectando a una especie o grupo de especies bajo determinadas condiciones.

Las líneas de evidencia definidas para este análisis son:

- Concentraciones sobre la norma australiana en aguas: aluminio, arsénico, cobre, cromo, fosfatos, plomo, zinc
- Concentraciones sobre la norma australiana en sedimentos: arsénico, cadmio, cobre, cromo, hidrocarburos, mercurio, níquel, zinc
- Concentraciones más elevadas en Chapaco que en Huasco: aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, fósforo, hierro, manganeso, níquel, selenio, vanadio, zinc
- Enriquecimiento en relaves: arsénico, cobalto, fósforo, hierro, manganeso, selenio, vanadio

- Emisiones de residuos líquidos: aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, estaño, fósforo, hidrocarburos, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, selenio, zinc

Finalmente, para cada contaminante se indicó si se cumplía o no de cada línea de evidencia, lo que se muestra con una “X” en la Tabla 43 a continuación. Luego, se sumó la cantidad de líneas de evidencia en que el contaminante está presente. A mayor evidencia, mayor es la relevancia ambiental del contaminante, lo que se indica con colores en la tabla (rojo: 4 a 5 líneas de evidencia – relevancia alta; amarillo: 3 líneas de evidencia – relevancia media; y verde: 2 líneas de evidencia – relevancia baja).

Tabla 43 – Contaminantes seleccionados y líneas de evidencia

Contaminante	Concentraciones sobre la norma australiana en aguas	Concentraciones sobre la norma australiana en sedimentos	Concentraciones más elevadas en Chapaco que en Huasco	Enriquecimiento en relaves	Emisiones de residuos líquidos	Suma
Aluminio	X		X		X	3
Arsénico	X	X	X	X	X	5
Cadmio		X	X		X	3
Cobalto	*		X	X		2
Cobre	X	X	X		X	4
Cromo	X	X	X		X	4
Estaño	*		X		X	2
Fosfatos/Fósforo	X		X	X	X	4
Hidrocarburos		X			X	2
Hierro	*		X	X	X	3
Manganeso			X	X	X	3
Mercurio	**	X			X	2
Níquel		X	X		X	3
Plomo	X				X	2
Selenio	*		X	X	X	3
Vanadio			X	X		2
Zinc	X	X	X		X	4

*: solo hay superación de norma en una muestra, por lo que no se considera para el análisis

** : solo hay superación de norma en dos muestras, por lo que no se considera para el análisis

En resumen, los contaminantes relevantes ambientalmente encontrados en aguas y sedimentos de Ensenada Chapaco son:

- **Con un nivel de relevancia alto:** arsénico, cobre, cromo, fósforo/fosfatos, zinc
- **Con un nivel de relevancia medio:** aluminio, cadmio, hierro, manganeso, níquel, selenio
- **Con un nivel de relevancia bajo:** cobalto, estaño, hidrocarburos, mercurio, plomo, vanadio

Para los contaminantes seleccionados con un nivel de relevancia alto, se comparan a continuación con otras normativas de referencia y con valores indicativos naturales en agua de mar y sedimentos.

Tabla 44 – Contaminantes de alta relevancia y referencias adicionales

Contaminante	Agua de mar (µg/L)			Sedimentos (mg/kg)		
	Máximo en muestreo Chapaco	Norma Australia	Concentraciones naturales*	Máximo en muestreo Chapaco	Norma Australia	Concentraciones naturales (corteza terrestre)
Arsénico	35,2	13	1 - 1,6	43,97	20	1,5
Cobre	439	1,3	0,003 - 0,37	283	65	50
Cromo	161,6	10	0,062 - 0,1	171,5	80	100
Fósforo	752	-	25	17803	-	1000
Zinc	211	15	<0,022 - 0,1	290,67	200	75

Notas: * indicados en la norma australiana

Relación de los muestreos con el footprint de relave

Un análisis de la ubicación de los monitoreos indica que todos los realizados en Chapaco (PVA, POAL y EnSoil), estarían dentro del footprint de los relaves descargados como muestra la Figura 131.

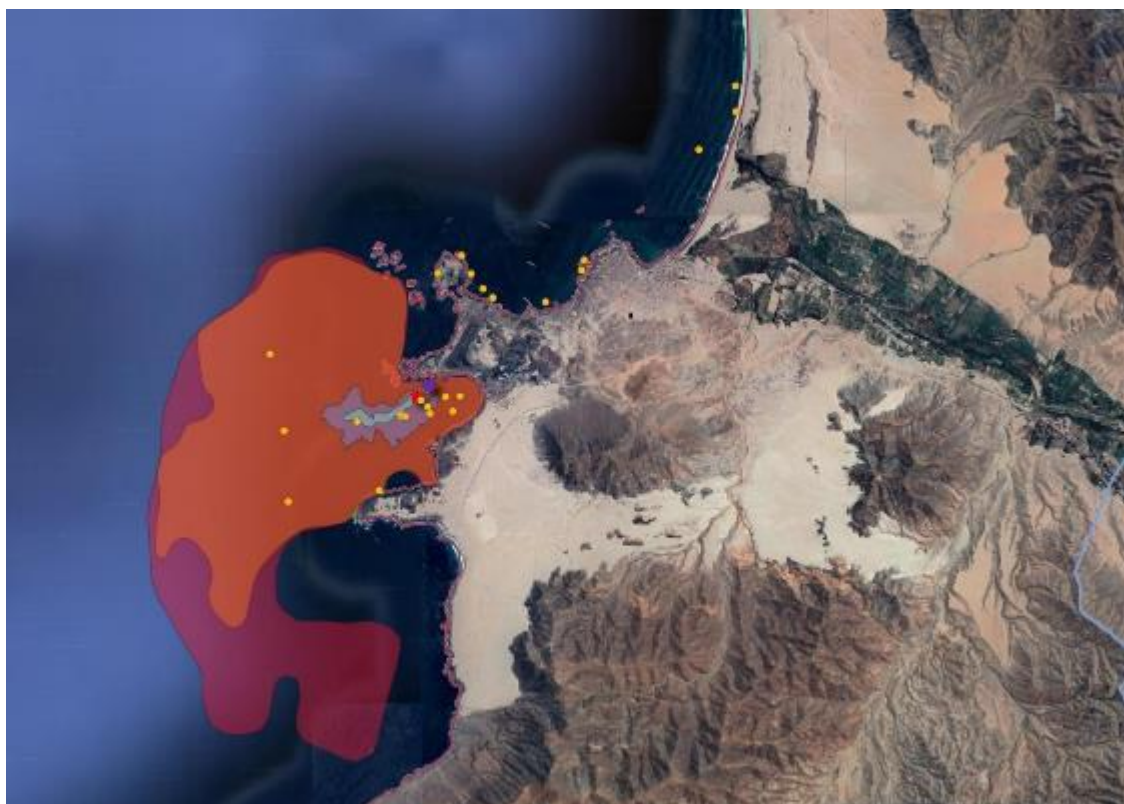


Figura 131 – Estaciones de muestreo y footprint del relave

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, para todos los contaminantes seleccionados, se realizó un análisis en que se comparó la concentración de estos en el relave (fresco y depositado; ver sección 3.4.1.2) y su concentración en sedimentos en Huasco y Chapaco (mediana de todos los muestreos; ver sección 2.4.1.2). A partir esta información, se generaron los siguientes gráficos, en que se puede comparar el contenido de cada contaminante en los relaves y en sedimentos. Este análisis indica correspondencia en cuanto a las concentraciones de relaves y muestras de sedimentos de Chapaco, no así de las muestras tomadas en Huasco. Esto sugiere que los contaminantes determinados como ambientalmente relevantes, tienen probablemente como fuente el relave emitido en la ensenada, descartándose un origen natural para las concentraciones elevadas de estos (ver Tabla 44). Es importante recalcar sí que lo anterior no implica necesariamente que estos contaminantes estén afectando la biota, ya que para determinar sus efectos son necesarios estudios de ecotoxicidad.

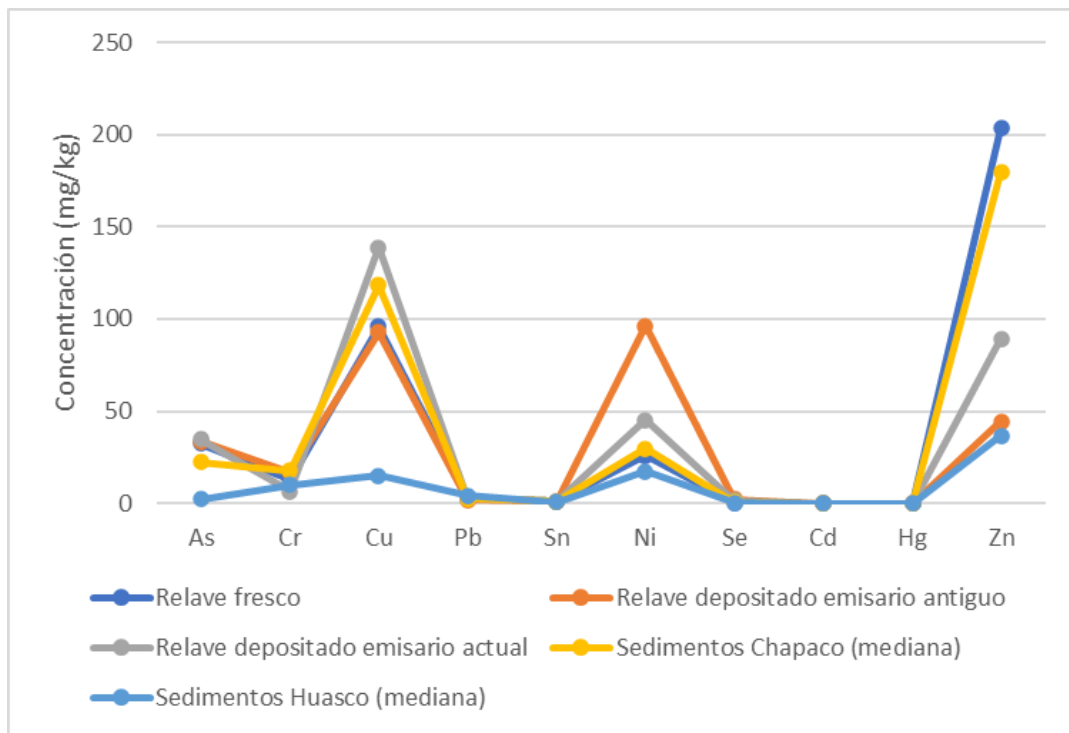


Figura 132 – Concentraciones en relave y sedimentos (1)

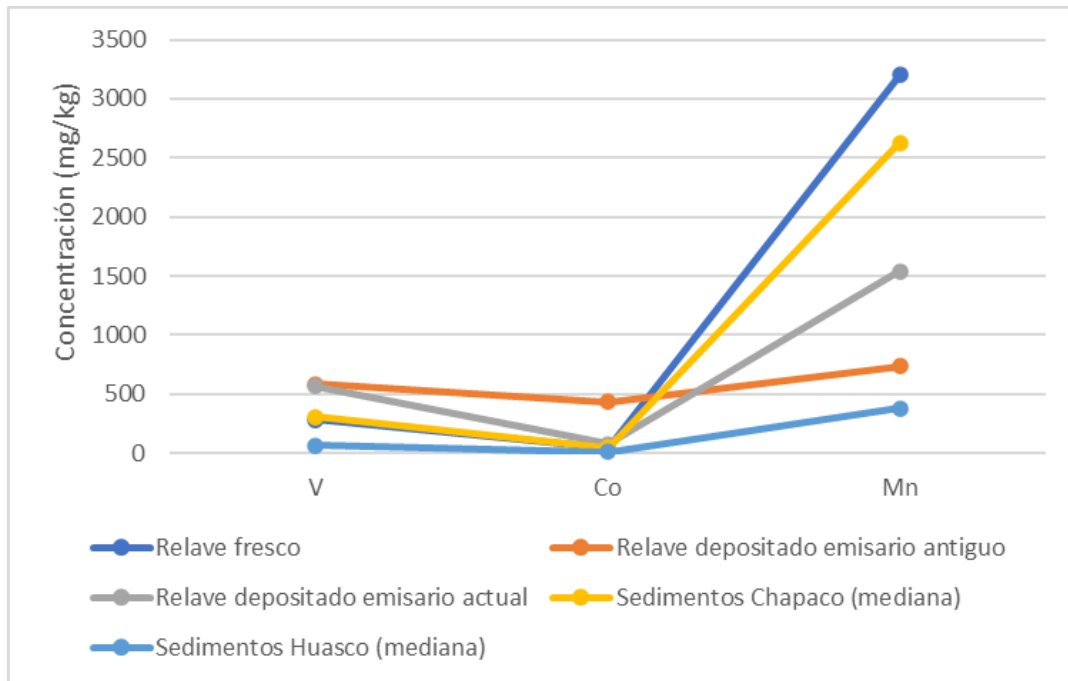


Figura 133 – Concentraciones en relave y sedimentos (2)

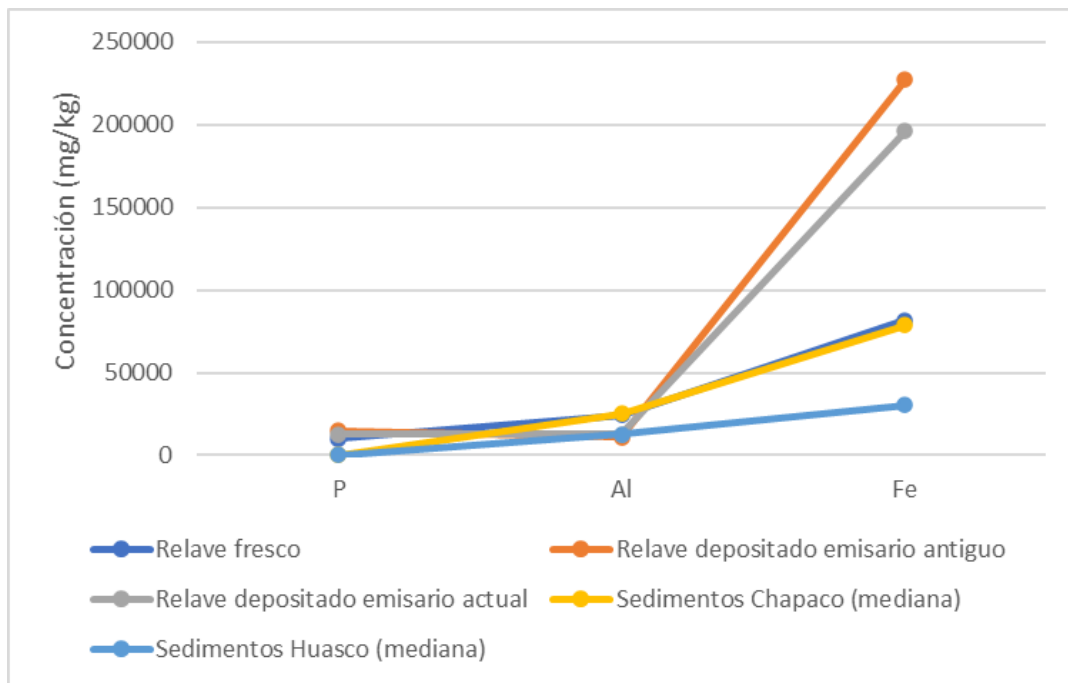


Figura 134 – Concentraciones en relave y sedimentos (3)

4.2 Diagnóstico y caracterización de las principales alteraciones del borde costero y ambiente marino de la Bahía de Chapaco, centrado en comunidades de macrofauna de ecosistemas del intermareal rocoso y submareales de fondos blandos, principalmente de especies sometidas a extracción para consumo humano (peces, moluscos, crustáceos y algas)

Comunidades submareales de fondo blando

La serie temporal de abundancia, riqueza, y biomasa promedio macro-infaunal compilada aquí sugiere una perturbación ambiental sostenida en Chapaco. Esto desde 1994, cuando sólo 2 taxa alcanzaron una baja abundancia relativa (i.e., ensamble de 20 m vs 110 m y 2 controles, ver Lancellotti y Stotz, 2004), pasando por una riqueza local aumentada en 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016 (rango: 14-21 taxa), que luego se revirtió con unos pocos taxa ($\ll 11$) dominando la abundancia y biomasa en 2017, 2018, 2019 y 2022. Con esta baja riqueza, Chapaco no pudo saturar curvas de rarefacción y extrapolación (i.e., 2x esfuerzo muestreo) comparado con sitios de referencia. Según análisis de curvas ABC, usando datos del muestreo EnSoil 2022, el grado de perturbación es moderado y concentrado en la zona más interior de Chapaco, mostrando potencial de recuperación del ensamble macro-infaunal 10 m aguas adentro (e.g., ver Lancellotti y Stotz, 2004), aunque este desapareció a los 28 m. Aunque los micro-invertebrados sobre sustrato rocoso o asociados a *Lessonia trabeculata* muestran resiliencia al relave de hierro en Chapaco en 2013 (González et al., 2014), este los afectaría menos que un relave de cobre (Vásquez et al., 2005). En casos de perturbación por alta actividad antrópica, se ha reportado la ausencia completa del ensamble macro-infaunal en el sitio impactado (e.g., Koo et al., 2004; Belin et al., 2015). Esta categoría de extrema perturbación no aplicaría para la macro-infauna de Chapaco entre 2012-2019, cuando a pesar de exhibir menores abundancias y riqueza macro-infaunal comparado con sitios de referencia más productivos (Huasco y Punta Lachos), estas no fueron significativamente distintas a sitios con baja biomasa (Huasco 2 y Cabo Norte), y están dentro del rango inferior reportado para otros sistemas costeros (e.g., Kundu et al., 2009; Pabis et al., 2011). Además, el género de poliqueto *Lumbrineris spp.* que dominó la comunidad macro-infaunal en sitios empobrecidos de Chapaco en 1994 (Lancellotti y Stotz, 2004), siendo común en ambientes altamente contaminados (e.g., Belan, 2003), fue reemplazado en 2013 por *Mediomastus spp.*, un género de poliqueto oportunista y tolerante al estrés ambiental (Méndez et al., 1998), un molusco carnívoro en 2015, 2016 y 2022 (a 12 m), y un cangrejo carroñero en 2022 a 22 m. Esto sugiere que, a pesar de la perturbación de largo plazo, el ambiente submareal de Chapaco podría soportar ensamblajes de macro-infauna más abundantes y diversos y con complementariedad funcional para hacer frente a un ambiente de estresores múltiples.

¿Existe un marco de referencia para el manejo y remediación del ambiente submareal de la Ensenada Chapaco? Considerando los casi 45 años de funcionamiento del relaveducto en Chapaco, los estudios científicos con revisión de pares evaluando sus impactos ambientales son escasos y esporádicos, con sólo 3 artículos disponibles (Vásquez et al., 2000; Lancellotti y Stotz, 2004; González et al., 2014). El único estudio enfocado en la respuesta del ensamble macro-infaunal como indicador de perturbación reporta datos colectados en 1994, cuando el relaveducto cumplía 16 años vertiendo millones de toneladas anuales de relave a la zona intermareal (CAP 2018). Luego en 1995 bajo el contexto del PVA, la UCN inicia el monitoreo de la macro-infauna, el cual, después de una actualización en 1997 se ejecutó de forma ininterrumpida por 25 años (PVA, 2019). Según se reporta en la sección 5.2.4.2. del PVA 2019, durante el periodo 1995-2011 las abundancias promedio fueron $\sim 4x$ veces mayor (492 ± 347 ind. \bullet 0,1 m⁻²) y la riqueza suavemente mayor (hasta 31 taxa) a las reportadas en PVAs 2012-2019. Sin embargo, no se reportan datos desagregados por taxa y de biomasa, y sin sitio de referencia, por lo cual, se decidió no agruparlos con los otros datos. De todas formas, este reporte de altas abundancias durante 17 años (hasta 1,220 ind. \bullet 0,1 m⁻²) podría representar un máximo histórico de recuperación en Chapaco, con implicancias en las medidas de manejo y remediación futuras (ver abajo). Para el periodo 2012-2019, se cuenta con datos desagregados por taxa

(riqueza) y biomasa obtenidos en Chapaco (sitio impactado) y 6 sitios de referencia hacia el sur y norte. Finalmente, el muestreo EnSoil pudo capturar el estado actual del ensamble macro-infaunal en Chapaco y 1 sitio control en la Bahía de Huasco. Por consiguiente, se cuenta con una base de datos de abundancia y riqueza macro-infaunal de 10 años que sirve para diagnosticar el estado de la macro-infauna desde el cese de la descarga en la zona intermareal hasta la actualidad.

Intermareal Rocoso

- Si bien el presente estudio no contempla revisión específica y exhaustiva de la especie de *Lessonia trabeculata*, es posible señalar que la zona infralitoral presenta en todos los sectores, al menos presencia (predominancia en la mayoría) de *Lessonia sp.*
- Sobre la base de que los discos de adhesión de las algas laminariales (*Lessonia sp.*, entre otros) albergan comunidades de invertebrados marinos, es posible concluir y proponer que en el futuro la investigación y seguimiento del desarrollo de las comunidades infralitorales asociadas a cordones o coberturas de *Lessonia* en el sector de interés, Ensenada Chapaco, puede arrojar con mayor especificidad las condiciones de recuperación en función del crecimiento, reclutamiento de juveniles, desove y emigración de especies del área.

Relación entre las condiciones fisicoquímicas del ambiente y los efectos observados en la biota

La descarga de relaves en ensenada Chapaco evidentemente ha afectado a las comunidades intermareales y submareales presentes en el área. El efecto más significativo ha sido descrito como disminución en la riqueza y la abundancia debido a las condiciones físicas de mayor turbidez en la columna de agua y el sofocamiento de biota de fondo blando por la misma descarga del relave.

Los efectos en la biota por aumento de concentraciones de contaminantes en la columna de agua y sedimentos no se pueden descartar a priori, no obstante, estudios realizados por CMP indicarían que estos efectos serían despreciables. A pesar de lo anterior, existen casos en la literatura que reportan diversos efectos en la biota cuando es sometida a medio con concentraciones elevadas de los elementos determinados como ambientalmente relevantes para ensenada Chapaco. En particular, la literatura arroja bastante correlación entre los altos valores de metales pesados y los efectos a niveles estructurales o de funcionamiento de organismos marinos, ya sea flora o fauna marina en distintos niveles.

Como ejemplo, se puede citar el estudio de Latorre Padilla, N. (2021), donde se evaluaron in situ los efectos de un pulso de contaminación corto (7 días) de soluciones combinadas de metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) + (Cu + PAHs, Cd + PAHs, Cu + Cd, y Cu + Cd + PAHs) sobre el desarrollo y las características morfológicas de los esporofitos de *Macrocystis pyrifera* durante un período de 90 días. Además, se determinaron los efectos sobre la estructura de la comunidad de especies asociada a esta alga. Los resultados arrojaron un menor número de láminas y una disminución del tamaño de las mismas y de los discos de fijación (estructuras que les permiten unirse a un sustrato rígido bajo la superficie), así como la muerte de los individuos expuestos a una mezcla secundaria de metales (Cu + Cd) y a una mezcla terciaria de contaminantes (Cu + Cd + PAHs). Asimismo, respecto de la fauna acompañante, se registró una baja riqueza y diversidad. Los herbívoros de *M. pyrifera*, según la mezcla de contaminantes, estaban ausentes o disminuidos. Estos resultados muestran que el pulso de la contaminación en los primeros estadios del alga afecta negativamente a su desarrollo y morfometría, así como a su papel como ingeniero ecosistémico debido a una alteración negativa en la composición de las especies que la acompañan y que tienen un rol importante en la mantención y salud de los ecosistemas.

Más aún, en un reciente estudio publicado en agosto (Espinoza-González, C., et al, 2021) se determinaron los efectos combinados de contaminantes en las primeras etapas de desarrollo de huiro negro (*Lessonia spicata*). Se evaluó con precisión los efectos independientes y combinados del cobre y de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) sobre la gametogénesis y el desarrollo de los esporofitos mediante cultivos in vitro. Las conclusiones muestran que en *L. spicata*, la gametogénesis es la etapa de desarrollo más afectada por la toxicidad del cobre, mientras que la toxicidad de los PAHs tuvo un mayor impacto en la formación de esporofitos. Sin embargo, el efecto más dañino en el desarrollo temprano del alga fue la exposición tóxica a la combinación de cobre + PAHs, que manifestó altos efectos negativos, más rápido que los tratamientos independientes.

A través del monitoreo de las praderas de algas pardas presentes en el borde costero de Bahía Chapaco, y estudiar los principales parámetros de interés que arroja este estudio e integrarlo con la respuesta del desarrollo temprano de las algas, por ejemplo, claramente ayudaría a entender mejor los riesgos ecológicos vinculados con la contaminación antropogénica del sector.

4.3 Recopilación de estudios nacionales, macrozonales y regionales de antecedentes respecto a criterios para propuestas de mejora del borde costero y ambiente marino de Huasco, con énfasis en la Bahía Chapaco

El problema que afecta al borde costero de Huasco y Bahía de Chapaco es común a otras áreas en Chile y cae dentro de lo denominado usualmente como “Zonas de Sacrificio”. Este concepto se utiliza para definir áreas que debido a la concentración de industrias contaminantes presentes poseen bajos estándares ambientales lo que se traduce en un deterioro de la calidad de vida de sus habitantes. Este concepto engloba temas que trascienden lo únicamente ambiental, y es en efecto un problema multifactorial que se conjuga aspectos sociales, sanitarios y económicos con temas ambientales.

Según la ONG Terram¹³, existen actualmente 5 zonas de sacrificio en Chile que corresponden (de norte a sur) a Tocopilla, Mejillones, Huasco, Puchuncaví-Quintero y Coronel, todas las cuales corresponden a localidades costeras. El Ministerio del Medio Ambiente ha desarrollado iniciativas en estas zonas implementando planes de descontaminación o recuperación, además de comisionar estudios para la caracterización del estado ambiental de estas localidades. En este sentido, se ha determinado valioso el revisar estudios para las localidades de la zona centro y norte (todas las mencionadas a excepción de Coronel), en especial en cuanto a las iniciativas que se han propuesto que pudiesen ser extrapolables a la bahía de Chapaco. Los estudios revisados corresponden a los siguientes:

- “Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla”, Centro de Ecología Aplicada (2020)
- “Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Mejillones del Sur”, Centro de Ecología Aplicada (2019)
- “Plan de Monitoreo y Gestión de Objetos de Conservación en Bahía Mejillones, Comuna de Mejillones, Región de Antofagasta”, Centro de Estudios Agrarios y Ambientales (2019)
- “Análisis de Riesgo Ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta” Centro de Ecología Aplicada (2020)
- “Informe final Análisis para la creación de un área de conservación marina en la bahía de Mejillones del Sur, Región de Antofagasta”, Centro de Estudios de Sistemas Sociales (2021)

¹³ <https://www.terram.cl/carbon/2019/06/las-cinco-zonas-de-sacrificio-de-chile/>

- “Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración ambiental y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero”, Centro de Ecología Aplicada (2020)

Cabe notar que si bien la bahía de San Jorge (Antofagasta) no está catalogada dentro de las zonas de sacrificio, se ha incluido un estudio referente a esta localidad dada la problemática ambiental en la Bahía por presiones industriales¹⁴ y eventos de contaminación ocurridos.

“Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla”, Centro de Ecología Aplicada (2020)

La zona de estudio correspondió a la bahía Algodonales y su entorno, ubicada en la comuna de Tocopilla, región de Antofagasta. El área de estudio se presenta en la siguiente figura.

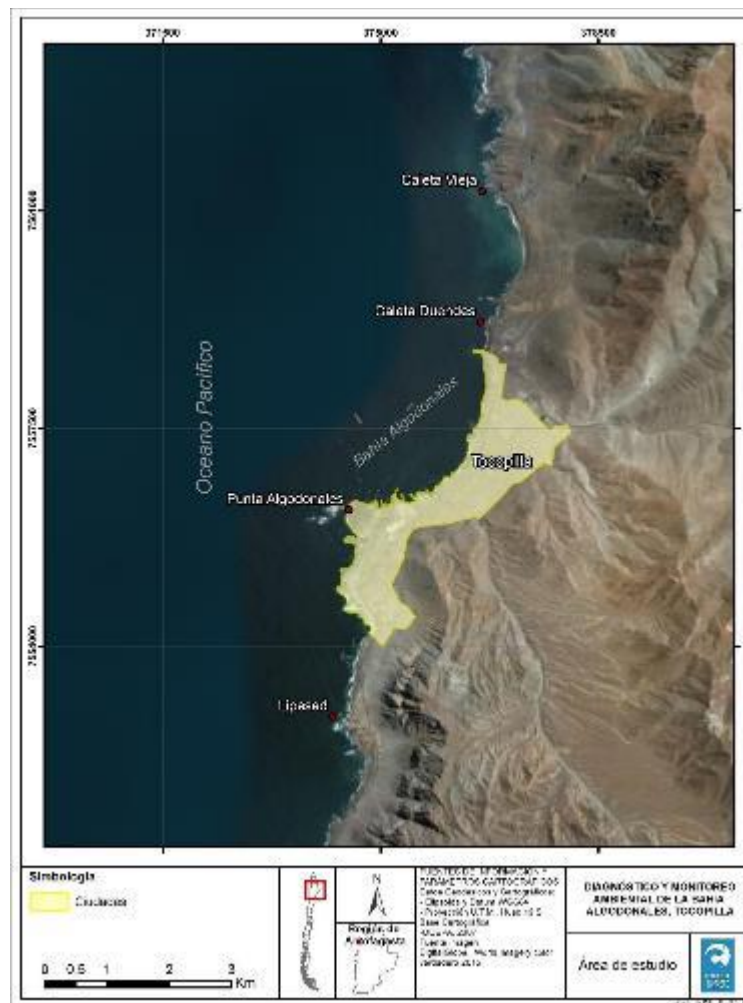


Figura 135 – Ubicación área de estudio en Tocopilla

¹⁴ <https://www.ciperchile.cl/2018/06/18/puerto-de-antofagasta-un-dispositivo-urbano-que-intoxica/>

En la zona costera interactúan factores naturales y antrópicos, y donde convergen al menos 5 diferentes titulares que descargan contaminantes a la bahía según el RETC.

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

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

Los objetivos específicos planteados para el estudio fueron los siguientes:

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

El análisis de datos históricos indicó concentraciones elevadas de cadmio, cobre y plomo en el agua, sin embargo, disminución en el tiempo en las fracciones totales de cobre, cromo y zinc. En cuanto a sedimentos, solo arsénico y cobre registraron excedencias con respecto a la normativa utilizada. Se observó además una disminución entre 1994 y 2018 (periodo del estudio) en las concentraciones promedio de cobre, cromo, plomo, zinc y mercurio. Con respecto a metales en biota, arsénico y los metales cadmio, cobre, plomo y zinc presentaron periodos de tiempo en donde superaron, al menos una, de las referencias nacionales y/o internacionales (son de especial relevancia arsénico, cadmio y cobre en este caso). Destaca también el alto contenido de nutrientes que se emite a la bahía por parte principalmente de las termoeléctricas, no obstante, no se observó correlación con datos químicos de las matrices (no obstante, no se descartan efectos agudos sobre la biota en este respecto).

Adicional al análisis de datos históricos, se realizó un monitoreo integrado que contempló cuatro campañas de medición de parámetros de calidad química de agua y sedimentos, invierno 2018, verano 2019, invierno 2019 y verano 2020. Este monitoreo no indicó valores de pH, Redox, u oxígeno disuelto indicativos de degradación en la bahía, sin embargo, se observó valores esporádicamente elevados para arsénico, zinc,

hierro, cobre y molibdeno en el agua. Adicionalmente, en sedimentos se observaron altas concentraciones de hierro, cobre, molibdeno, arsénico, vanadio y zinc. En cuanto a biota, se observó variaciones en cuanto al fito, ictio y zooplancton además de una distribución diferenciada en el extremo sur y norte del área de estudio, teniendo la primera mayor proporción de estados ontogénicos tempranos de cirripedios y la segunda, una mayor proporción de larvas de bivalvos y poliquetos de meroplancton.

Se realizó además una modelación numérica hidrodinámica, donde se obtuvo zonas de menor circulación de corrientes entre Punta Algodonales y Caleta Duendes, hasta el sector del acopio de cenizales inclusive. En este sentido, se determinó que la liberación de un contaminante en el sector de Punta Algodonales podría generar una mancha de concentración considerable hasta el sector de Caleta Duendes, sin tenerse una rápida mezcla del contaminante con el medio.

La evaluación de riesgos a la salud humana fue realizada mediante una búsqueda sistemática de información, además de la identificación del peligro y realización de encuestas de forma parcial a la población para caracterizar los patrones de consumo. Esta determinó que existe un riesgo de cancer por arsénico de aproximadamente de 1 a 6 personas por cada 100.000, no obstante, se determina que el riesgo es bajo tomando en cuenta la población total de Tocopilla (2017) de 25.186 habitantes.

Los resultados del análisis ambiental indicaron que la mayor problemática se encuentra en los sedimentos de la bahía y se debe priorizar en medidas para su protección.

En cuanto a las medidas planteadas para abordar las problemáticas ambientales, esto se realizó siguiendo la metodología de árbol de problemas y árbol de objetivos, utilizada formalmente en Chile para el desarrollo de proyectos del estado y un análisis PESTAL, que se enfoca en factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales (por su sigla). El problema determinado y sus posibles soluciones se presenta en la siguiente tabla.

Problema	Alternativa de solución
Desarrollo de actividades productivas que generan contaminación de la Bahía	Generación de normas secundarias de protección o estándares ambientales para industria minera, termoeléctrica, pesquera y sanitaria Sensibilización de actores productivos
Escasa información para la toma de decisiones, en particular aquellas asociadas al impacto ambiental	Generación de sistema de detección y control de impactos ambientales
Alta concentración de metales pesados, ocasionada por la acumulación de remanentes en sedimentos marinos dado el uso histórico	Generación de normas secundarias de protección o estándares ambientales para industria minera, termoeléctrica, pesquera y sanitaria

A partir de lo anterior, se plantearon una serie de medidas puntuales a modo de cartera de proyectos, que corresponden a las siguientes:

- Implementación de red de monitoreo continuo de matrices ambientales (columna de agua, sedimentos y biota)
- Realización de estudio de riesgo ecológico de la bahía
- Generación de información que permita elaborar norma secundaria

- Promover sociabilizar la importancia de la conservación y sustentabilidad de la bahía

“Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Mejillones del Sur”, Centro de Ecología Aplicada (2019)

La zona de estudio correspondió a la bahía de Mejillones del Sur, región de Antofagasta, entre los sectores de Punta Angamos y Punta Chacaya, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 136 – Ubicación área de estudio en Mejillones

Se identificaron actividades de al menos 13 diferentes titulares que descargan elementos en la bahía, entre los cuales se incluye el emisario de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad, empresas termoeléctricas, pesqueras y mineras, entre otras. Específicamente, estos son:

- Aguas Antofagasta S.A.
- Central Termoeléctrica Andina S
- Complejo Industrial Molynor S.A.
- Complejo Portuario Mejillones S.
- Corpesca S.A.
- E-CL S.A.
- Eléctrica Angamos S.A.
- Empresa Eléctrica Cochrane S.P

- Enaex Chile S.A.
- Gas Atacama Chile S.A.
- Interacid Trading Chile S.A.
- Minera Esperanza LTDA.
- Moly-Cop Chile S.A.

El objetivo general fue diagnosticar el estado de condición ambiental de la Bahía Mejillones del Sur, a través de la implementación piloto de un sistema de monitoreo integrado.

Los objetivos específicos (OE) de la propuesta son los siguientes:

- OE-1. Recopilar, sistematizar y analizar la información existente del ecosistema marino proveniente de proyectos que hayan sido ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en el área de estudio, monitoreos realizados por la autoridad, privados, universidades, centros de investigación, entre otros.
- OE-2. Realizar un monitoreo integrado semestral de las matrices, columna de agua, sedimento y biota marina, en la bahía por un periodo de dos años.
- OE-3. Generar un diagnóstico del estado de condición ambiental de la bahía en las componentes columna de agua, sedimento y biota marina.
- OE-4. Elaborar una cartera de proyectos que permita abordar las eventuales problemáticas ambientales que el estudio detecte.
- OE-5. Difundir a la comunidad y autoridades los resultados del estudio

El análisis de datos históricos (OE-1) indicó bajas de oxígeno disuelto en la columna de agua relacionada a dos causas, la primera corresponde a procesos de gran escala en función de la profundidad (zona de mínimo oxígeno o ZMO), y la segunda, a descargas de flujos con alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), lo que puede generar hipoxia para algunos grupos de organismos. En cuanto a metales y metaloides, se encontró gran variabilidad en las concentraciones de cobre, cadmio y arsénico en la fase disuelta y sedimentos.

Los datos recopilados a través del programa de monitoreo (OE-2), encontraron que en cuanto a metales y metaloides, arsénico y zinc fueron los que presentaron mayores concentraciones en la columna de agua, no obstante, estas estuvieron bajo los criterios adoptados. En cuanto a sedimentos submareales, los metales más abundantes fueron cromo, zinc y cobre, con valores esporádicos de arsénico y cadmio que podrían provocar efectos adversos en la biota.

De acuerdo al análisis de comparación de las curvas de dominancia de abundancia y biomasa, se observó que en general, los ensambles prospectados presentaron atributos propios de ensambles perturbados, particularmente aquellos provenientes desde puntos de muestreo cercanos al saco de la bahía y a la zona urbana e industrial de la ciudad. Asimismo, estos ensambles presentaron estacionalmente condiciones menos favorables en cuanto a sus atributos comunitarios de diversidad (H') y equidad (J), producto de estructuras comunitarias dominadas durante la época primaveral por muy pocas especies (gusanos Spionidae).

En cuanto a la condición ambiental de la bahía (OE-3), se indica que el estado actual de la columna de agua en general es apropiado para el desarrollo de la biota acuática, por lo que las concentraciones de metales

y metaloides presentes no representarían problemas. No obstante, la falta de oxígeno disuelto ya sea dada por procesos naturales o de descargas industriales con materia orgánica, si son importantes dentro de la dinámica ambiental de la bahía. Se determinó también zonas no adecuadas para procesos del ecosistema bentónico, con sedimentos anóxicos y presencia de arsénico, cadmio y cromo. En un sentido general, la bahía poseería un estado “deficiente con tendencia en deterioro”, de acuerdo a clasificación internacional.

El análisis de riesgo ambiental determinó este como alto, con excedencia en los parámetros arsénico cadmio, cobre y mercurio para sedimentos y cadmio, cobre y zinc para agua. Existe una correlación también con la bioacumulación observada en organismos especialmente aquellos cuyo hábitat son los sedimentos para estos elementos. Se desarrolló además una evaluación de riesgo para la salud humana, que determinó un riesgo posible por consumo de algunos alimentos de la bahía, que presentarían alto contenido de arsénico.

El análisis de posibles soluciones se realizó siguiendo la metodología de árbol de problemas y árbol de objetivos, utilizada formalmente en Chile para el desarrollo de proyectos del estado. Este determinó los siguientes problemas:

- Baja valoración de la bahía como recurso natural
- Ineficiente sistema de detección de impactos
- Procesos naturales de bioacumulación y biomagnificación
- Actividades productivas con bajos estándares ambientales
- Uso de recursos con alto contenido de contaminantes

En cuanto a las soluciones a los problemas identificados, estas corresponden a aumentar la valoración de la bahía a través de sensibilización y capacitación, definición de un sistema de monitoreo apropiado, y establecimientos de estándares ambientales que puedan ser utilizados para definir normas secundarias.

“Análisis de Riesgo Ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta” Centro de Ecología Aplicada (2020)

La zona de estudio correspondió a la bahía San Jorge, región de Antofagasta, entre los sectores de Punta Jorge y Punta Coloso, como se muestra en la siguiente figura.

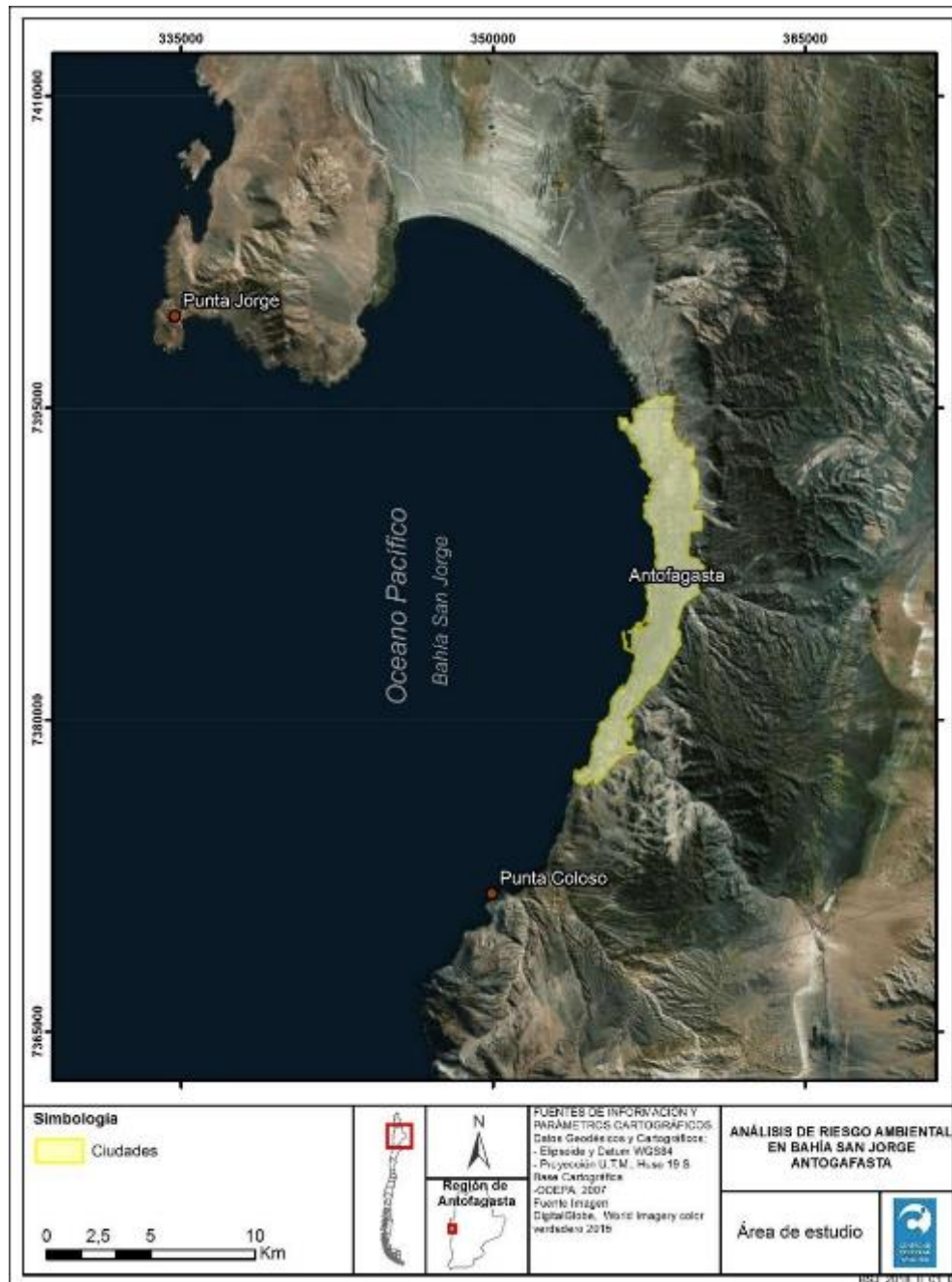


Figura 137 – Ubicación área de estudio en Antofagasta

La bahía de San Jorge es un sistema ambiental con un fuerte componente antrópico, en la cual durante toda su historia ha tenido una industria enfocada a la minería, donde existen al menos 8 diferentes titulares que descargan contaminantes a la bahía según el RETC.

Razón social	Planta
Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A.	Sin Nombre
Aguas de Antofagasta S.A.	Planta desaladora de agua de mar La Chimba

CYTEC Chile Ltda.	CYTEC Chile Ltda.
Fuerza Aérea de Chile III Brigada Aérea	Base aérea Cerro Moreno
Hipermercados Tottus S.A.	Sin nombre
IXOM Chile S.A.	IXOM Chile Antofagasta
Minera Escondida Ltda.	Mina 0 - Punta Coloso 0
OHL Industrial Chile S.A.	Sin nombre

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

Los objetivos específicos (OE) fueron los siguientes:

- OE-1: Recolectar, sistematizar y analizar la información existente sobre la condición ambiental de la bahía San Jorge.
- OE-2: Definir el modelo conceptual de las sustancias potencialmente contaminantes que puedan producir efectos negativos en las matrices ambientales agua, sedimento y biota.
- OE-3: Realizar una evaluación de riesgo para la salud de las personas y evaluación de riesgo ecológico, para la Bahía San Jorge.
- OE-4: Proponer medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo
- OE-5: Difundir las actividades del estudio

El análisis de datos históricos (OE-1) indicó presencia de cobre en la columna de agua, por sobre las normativas comparadas. Por otra parte, el arsénico, cromo, plomo y vanadio registraron valores bajo los niveles sugeridos por las normas. Para sedimentos, se determina una acumulación de metales, especialmente de cobre, mercurio, plomo y zinc, en comparación con las normas de referencia. Estos metales, están ligados a la actividad minera de exportación de concentrado que tiene lugar en la bahía. En cuanto a biota, se determinaron importantes niveles de arsénico, cobre y plomo presente en tejidos, superando la normativa de consumo nacional. Análisis de este hallazgo determinó procesos de bioacumulación y biomagnificación importantes. No se determinó un aporte importante de nutrientes por parte de fuentes antrópicas, sin embargo, sí la presencia de tensoactivos asociados a saneamiento de aguas.

La definición del modelo conceptual (OE-2) y resultados (OE-3) indicó riesgos ecológicos por cobre, zinc, mercurio, plomo, arsénico y cadmio en sedimentos, y riesgos a la salud humana por consumo de alimentos de la bahía con alto contenido de cadmio y arsénico.

En cuanto a las medidas de gestión propuestas (OE-4), se evaluó el mantener un seguimiento estricto de los procesos industriales que afectan la bahía y medidas inmediatas, como el dragado y/o encapsulamiento de los sedimentos en el lecho marino. En cuanto a establecer mayor seguimiento, se propone un programa de monitoreo en tiempo real de variables para funcionamiento ecosistémico, lo que incluye mejorar la forma en que se evalúan las descargas de RILES y establecer una plataforma de información ambiental para la bahía. Estas medidas se proponen de modo de “cartera de proyectos” siguiendo la metodología y requerimientos indicados para proyectos del estado en este respecto. Con respecto al dragado y/o

encapsulamiento, se estima que tendrían un altísimo costo y que el problema seguiría presente en el mediano a largo plazo si no se contempla además una reducción de los contaminantes emitidos.

“Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración ambiental y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero”, Centro de Ecología Aplicada (2020)

El estudio se centra en la bahía de Quintero, ubicada en la comuna de Puchuncaví, Región de Valparaíso, en la zona costera de Chile Central, que se muestra en siguiente figura.



Figura 138 – Ubicación área de estudio en Quintero

De acuerdo a la información reportada por el RETC, se identificaron 12 descargas directas a la bahía de Quintero. La mayoría correspondiente al rubro “Generación de Energía”.

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

El objetivo general del estudio fue de realizar un análisis integral de información histórica y actual de los ecosistemas de la bahía de Quintero, incluyendo aspectos de calidad del agua, sedimentos, emisiones hídricas puntuales y difusas y objetos de conservación presentes. Lo anterior, como antecedentes necesarios para la elaboración de una futura Norma Secundaria de Calidad Ambiental en la bahía

Los objetivos específicos (OE) fueron los siguientes:

- OE1: Recopilar, sistematizar y clasificar información histórica y georreferenciada de calidad de aguas, sedimentos, flora y fauna marina y fuentes hídricas de contaminación puntuales y difusas de distinto origen, sanitario, industrial y agrícola entre otros, desde diversas fuentes verificables.
- OE2: Realizar un análisis crítico de la información recopilada e identificar vacíos de información con objeto de generar una futura Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la bahía de Quintero.
- OE3: Realizar un modelo conceptual de la estructura de los ecosistemas de la bahía de Quintero.
- OE4: Definir objetos de conservación ambiental de interés en la bahía.
- OE5: Realizar un modelo conceptual para comprender el estado y las presiones ambientales de la bahía.
- OE6: Definir y justificar debidamente los criterios que permitan la elaboración de una NSCA en la bahía de Quintero, considerando: i) propuesta de variables y parámetros a normar y límites de calidad; ii) propuesta de áreas de vigilancia; iii) propuesta de objetivos ambientales por área de vigilancia; iv) propuesta de tabla de clases; v) propuesta de frecuencias de monitoreo; y vi) propuesta de espacios para la mejora de la calidad del agua, asociados a tipos de fuentes o actividades productivas presentes en la bahía de Quintero.

El análisis de información histórica (OE-1) fue realizado con datos de entre 1972 y 2019, que incluían principalmente programas POAL y PVA, además de procesos de evaluación ambiental (EIA y DIA). Se indica que no se analizó la calidad química del agua, si no que se evaluó si la información ambiental era suficiente para dar inicio a un proceso de elaboración de norma secundaria de calidad. En este respecto, se revisaron cuatro aspectos fundamentales:

- i) Cantidad de años que se cuenta con información
- ii) La frecuencia de muestreo (escala temporal)
- iii) La distribución de los puntos de muestreo (escala espacial)
- iv) Las variables monitoreadas.

La revisión (OE-2) indicó que los POAL y PVA presentan datos de distintas variables por alrededor de 25 años con una frecuencia semestral o trimestral. El análisis de biota es reciente, y se ha realizado principalmente por los estudios para procesos de evaluación de impacto ambiental. Estos análisis se redicen sin embargo a algunos grupos taxonómicos como fitoplancton, zooplancton y macroinfauna. Hay pocos registros de mamíferos y aves.

Las escalas temporales en los que obtienen los datos en los diferentes programas y estudios no son necesariamente adecuadas a las escalas temporales en las que se expresa la dinámica de las masas de agua (mareas llenante, vaciante, patrones de circulación estacionales, anuales, etc.). Las normas secundarias de calidad ambiental deben tener en consideración la complejidad de la estructura y función de los componentes de los ecosistemas, y de la heterogeneidad de los organismos.

El modelo conceptual (OE-3) se definió dos tipos de ecosistemas marinos: i) intermareal, y ii) submareal en el área de la bahía de Quintero; a su vez para cada uno de estos tipos se distinguieron por tipo de sustrato, intermareal y submareal blando y duro. Los componentes abióticos son la columna de agua en la bahía, los sustratos duros y los sustratos blandos. Los componentes bióticos se han definido en concordancia con criterio taxonómico y de grupos funcionales, ampliamente reconocidos en ecología de comunidades. Los componentes se han diferenciado en función de los ecosistemas intermareales y submareales, y su relación con los sustratos duros y blandos.

En cuanto a los objetos de conservación (OE-4), se definieron los siguientes: i) columna de agua; ii) ecosistema submareal blando; y iii) ecosistema submareal duro. La protección de estos contribuye a la conservación de la biodiversidad asociada a cada uno de ellos, no obstante son importantes también especies específicas de relevancia las que incluyen: v) Lontra felina (Chungungo) en categoría de conservación “Vulnerable”; vi) cetáceos en categoría de conservación “Vulnerables” y en “Peligro”; vii) *Spheniscus humboldti* (Pingüino de Humboldt) en categoría de conservación “Vulnerable”; viii) *Arctocephalus philippii* (Lobo fino de Juan Fernández) en categoría de conservación “Vulnerable”; y ix) *Lepidochelys olivácea* (Tortuga olivácea) en categoría de conservación “Vulnerable”.

Los resultados observados (OE-5) corresponden a valores que incluyen los efectos antrópicos sobre la bahía y que no se dispone de datos de referencias anteriores. De tal manera que no es posible establecer comparaciones con instantes de tiempo de referencia de la misma bahía. Existe una baja densidad temporal de las observaciones y falta de regularidad en las mediciones (lo que ha mejorado en los últimos años para algunas variables), sin embargo, el análisis sugiere que se debe hacer un esfuerzo por realizar muestreos más coordinados en el tiempo.

Las variables propuestas para el monitoreo (OE-6) son comunes en los estudios de las características del ambiente marino, incluyen en este caso metales que están asociados a los sectores productivos y a las operaciones portuarias de carga de productos mineros o como a la descarga de combustibles que ocurren en la bahía. Otro grupo de ellas corresponde a características que son alteradas por descargas de aguas servidas tratadas que corresponden a la ciudad de Quintero. Las variables a medir se deben registrar para todos los puntos que se proponen, independientemente de la localización espacial que tengan en la bahía o en los ecosistemas, ya que son relevantes para entender el funcionamiento ecológico de la bahía y por la naturaleza de las actividades antrópicas que ocurren en el área y que tienen relación al uso del territorio marítimo.

Otros estudios

Adicionalmente a los anteriores, se revisaron dos estudios relacionados a la comuna de Mejillones, que corresponden a los siguientes:

“Informe final Análisis para la creación de un área de conservación marina en la bahía de Mejillones del Sur, Región de Antofagasta”, Centro de Estudios de Sistemas Sociales (2021)

El objetivo general fue el de analizar la factibilidad de creación de un área marina protegida en la bahía Mejillones del Sur y sus objetivos específicos (OE) fueron los siguientes:

- Recopilar y sistematizar información biológica, ambiental, social, económica y de contingencias ambientales en la bahía de Mejillones.
- Diagnosticar el sistema socioambiental y ecológico de la bahía.
- Proponer las bases técnicas para un área de conservación en la bahía.

“Plan de Monitoreo y Gestión de Objetos de Conservación en Bahía Mejillones, Comuna de Mejillones, Región de Antofagasta”, Centro de Estudios Agrarios y Ambientales (2019)

El objetivo fue el de proponer un plan de gestión y monitoreo de los Objetos de Conservación de la Bahía de Mejillones valorizado: ensamble de aves y mamíferos marinos y sus y sus objetivos específicos (OE) fueron los siguientes:

- Elaboración de un protocolo de monitoreo para la Bahía de Mejillones aplicado a los diferentes objetos de conservación.
- Identificación de actores responsables de la implementación de las acciones (e.g., Ministerio de Medio Ambiente, academia, ONG’s) y definición de los plazos asociados.
- Identificación y descripción de indicadores de gestión y cumplimiento asociados a cada acción de los diferentes programas de monitoreo.
- Estimación de costos de implementación de cada monitoreo.

4.3.1 Conclusiones con respecto a propuestas de mejoras presentadas en los estudios

En general, los estudios revisados coinciden en cuanto a la identificación de los problemas que afectan las condiciones ambientales en los ecosistemas costeros. Estos corresponderían a:

- Una baja concientización y valoración del medio marino como recurso natural
- Un sistema de detección de impactos deficiente
- Actividades productivas presentes con bajos estándares ambientales

En cuanto a las soluciones a los problemas identificados, estas corresponden a aumentar la valoración de la bahía a través de sensibilización y capacitación, definición de sistemas de monitoreo mejorados, y establecimientos de estándares ambientales apropiados incluyendo la definición de normas de calidad secundarias. Solo un estudio¹⁵ plantea la posibilidad de realizar medidas físicas de intervención tales como

¹⁵ “Análisis de Riesgo Ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta” Centro de Ecología Aplicada (2020)

el dragado de sedimentos contaminados o el encapsulamiento de estos, sin embargo, esto es desestimado pues se considera que estos tendrían un altísimo costo y que el problema se mantendría si no se considera una reducción de los contaminantes que son emitidos regularmente a la bahía.

Es importante notar también que solo para la bahía de Quintero-Puchuncaví ¹⁶se ha llegado al punto de poder evaluar si la cantidad de datos es suficiente para el establecimiento de una norma secundaria, estando los otros estudios en la fase anterior si se quiere, que correspondería a la misma colección de datos ambientales. Aun así, es reconocido por este y otros estudios revisados que la falta de datos base (antes de la instalación de grandes industrias) es un problema importante y se deben buscar mecanismos para sortearlo.

Finalmente, en los estudios también se indican otras problemáticas tales como falta de consistencia en los datos revisados (temporalidad y analitos), existencia de riesgos ambientales y a la salud de las personas (Tocopilla y Mejillones), y ausencia de estudios en especies claves como mamíferos marinos.

4.4 Determinación de la concentración de parámetros fisicoquímicos que, de acuerdo con la legislación vigente, la bibliografía técnica idónea y las evidencias encontradas en este estudio, puedan resultar generadoras de contaminación o suponer un potencial impacto, generar efectos adversos y/o de riesgo para los ecosistemas, población y biodiversidad del borde costero y el medio ambiente marino de Huasco

A partir de la información recolectada, no es posible el proponer niveles de referencia específicos para la protección de los ecosistemas marinos de Chapaco o Huasco ya que, en esencia, esto correspondería a la definición de una norma secundaria de calidad ambiental. Este proceso requiere de una multitud de etapas (ver Sección 5.1.3), entre las cuales es de vital importancia la realización de estudios complementarios para la determinación de los objetos de protección y una evaluación de riesgo ambiental para determinar las concentraciones que resultarían perjudiciales para estos.

Lo anterior, está fuera del alcance de este proyecto. Sin embargo, en este informe se ha avanzado en un aspecto fundamental en el camino de definir normas específicas para la protección de la biota en la zona, los que corresponde a la definición de los contaminantes de interés que de acuerdo a los datos recopilados potencialmente estarían afectando a la biota.

Los contaminantes de interés se presentan en la Sección 4.5. Se propone además normativa de referencia interina (norma australiana) mientras se desarrollan los estudios necesarios para implementar niveles de riesgo específicos enfocados a la protección de los objetos de protección que sean identificados en el desarrollo de la norma de calidad.

Finalmente, se propone un enfoque de filtro grueso / filtro fino, detallado en la Sección 4.5, como una primera aproximación a la determinación de los objetos de protección para el sector.

¹⁶ "Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración ambiental y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero", Centro de Ecología Aplicada (2020)

4.4.1 Normativa internacional propuesta

Como se ha mencionado, se ha optado por definir las concentraciones en base a normativa internacional, y específicamente a la normativa australiana en particular la norma australiana “*Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*” de Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ) (ANZECC & ARMCANZ, 2000), en adelante referida como la “norma australiana”. Esta incluye normas para aguas dulces y marinas, además de normas de calidad para sedimentos.

4.4.1.1 Norma australiana para aguas

Con respecto a la norma australiana para agua se proponen valores 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 norma australiana para aguas fue desarrollada después de un extenso proceso de revisión de normativas y guías internacionales (Canadá, Estados Unidos, Dinamarca, Sud África, 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 norma se han derivado, de acuerdo a 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 evaluaran respuestas comunitarias a la exposición de químicos, no obstante, también utilizando estudios unitarios de especies donde lo anterior no estuviese disponible.

Tabla 45 – Valores propuesto de parámetros químicos para agua

Parámetros químicos (metales y metaloides)	Valor propuesto (mg/L)
Aluminio (pH > 6.5)	0,055
Arsénico (As III)	0,013
Boro	0,37
Cadmio	0,0055
Cromo (Cr III)	0,0274
Cromo (Cr VI)	0,001
Cobalto	0,001
Cobre	0,0013
Hierro	0,3
Plomo	0,0044

Manganeso	0,08
Mercurio (inorgánico)	0,0004
Níquel	0,07
Selenio (Total)	0,011
Estaño (inorgánico, Sn IV)	0,01
Vanadio	0,1
Zinc	0,015

4.4.1.2 Norma australiana para sedimentos

Al igual que para el desarrollo de la norma de 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 norma 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 los, ISQG-L y ISQG-H, el primera indicando la necesidad de realizar estudios mayores por “posibles” efectos, y la segunda indicando efectos “probables” en la biota y la necesidad de realizar acciones inmediatas. De manera conservadora, se propone la utilización del nivel ISQG-L.

Tabla 46 – Valores propuesto de parámetros químicos para sedimentos

Parámetros químicos (metales y metaloides) Valor propuesto (mg/kg)

Arsénico	20
Cadmio	1,5
Cromo	80
Cobre	65
Plomo	50
Mercurio (inorgánico)	0,15
Níquel	21
Zinc	200

4.4.2 Objetos de protección ambiental

La diversidad biológica o biodiversidad, de acuerdo con la definición del Artículo 2 del Convenio de Diversidad Biológica, corresponde a la “variabilidad de organismos vivos de todo tipo, incluyendo entre otras cosas, los sistemas ecológicos terrestres, marinos y acuáticos y de los complejos ecológicos de los cuales forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre especies y de los ecosistemas” (ONU, 1992). Es así como la diversidad biológica se genera o desarrolla en diferentes niveles de organización: de genes a ecosistemas y paisajes (Noss,1990).

Así las cosas y en función de la presencia de especies ya definidas como de interés y recogidas por instrumentos de protección y por la bibliografía como es el caso de la *Guía visual para conocer e identificar*

sus componentes y especies, Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Isla Grande de Atacama (AMCP-MU IGA) (MMA, 2020) es posible señalar que en términos generales se entiende que los más altos niveles de organización (sistemas ecológicos y paisajes) contienen y afectan a los más bajos como genes, especies y poblaciones, lo cual es mencionado en la guía anteriormente citada, además la diversidad biológica ocurre a diferentes escalas espaciales. La guía indica que los ecosistemas o especies de fauna relevantes para la conservación fueron agrupados en Objetos de Conservación biológicos, entre los que se reconocen los objetos de filtro grueso y fino. Los primeros consideran ecosistemas y comunidades, las cuales al ser conservadas son capaces de cubrir las necesidades de conservación de un gran número especies. Los objetos de filtro fino incluyen especies o grupos de especies a los cuales, sus necesidades de conservación no son recogidas en su totalidad por los OdC de filtro grueso, es decir necesitan medidas de conservación adicionales.

En acuerdo a lo anterior, la selección de objetos de conservación se propone realizar en función del enfoque “filtro grueso-filtro fino” donde es posible en términos generales identificar lo siguiente:

Objetos de conservación de filtro grueso

La zona intermareal es el sector de la costa que sufre los cambios en la disponibilidad de agua y por ende de nutrientes debido a los cambios de marea. En el sector estudiado, específicamente en la Bahía Chapaco, si bien pertenece a un sitio que históricamente ha estado recibiendo aportes de contaminantes a nivel intermareal y posteriormente submareal, presenta en la actualidad algunas condiciones que hacen creer que es posible una recuperación si la zona intermareal rocosa es protegida. Una de las características que posee es la presencia de un cinturón de algas pardas en recuperación que es posible de mantener en el tiempo para asegurar de esta forma un sustrato que permita el reclutamiento de especies. La zonación de este sector intermareal contempla la presencia de cirripedios, caracoles, actinias entre otros. Considerando lo anterior y la menor actividad antrópica del sector, es posible plantearse la idea de conservar el sector como medida de recuperación y de posterior protección efectiva.

Objetos de conservación de filtro fino

Dado que el muestreo no contempló observación de aves, o de mamíferos marinos, al revisar la bibliografía se tiene la necesidad de seguir tomando en consideración a la especie Lontra Felina o chungungo, que corresponde a una de las dos especies de nutrias que habitan en Chile y, que además es de las especies de nutria más pequeña del mundo, habitando las costas rocosas a lo largo de todo el país, principalmente en zonas expuestas al fuerte oleaje, como es la característica de la Bahía Chapaco. Se alimentan en la zona intermareal-submareal. La fragmentación del hábitat debido a la gran perturbación, explotación y contaminación a la que están expuestas las zonas costeras está perjudicando sus poblaciones principalmente en las zonas centro y norte del país. Debido a esto, su estado de conservación, según la UICN, es catalogado como “En Peligro” y según el Ministerio de Medio Ambiente se encuentra “Vulnerable”. Además, se espera que la degradación del hábitat del chungungo aumente, por lo que es indispensable adoptar medidas de conservación para esta especie que ya se encuentra en una categoría de conservación desfavorable y estos impactos podrían generar extinciones locales.

4.5 Mapeo de brechas de información existente, respecto del estado ecológico/ambiental del borde costero de Huasco, con énfasis en Bahía Chapaco

Fisicoquímico

A pesar de la extensión temporal de los muestreos de agua en la Bahía de Chapaco y de Huasco, existen brechas debido a la poca sistematización de los muestreos que son listadas a continuación:

- a) Falta de medición de parámetros básicos para la comprensión del sistema acuático como el pH, oxígeno disuelto, coliformes fecales. Estos parámetros fueron reportados en un 5%, 16% y 26% del total de muestras de agua obtenidas, respectivamente. Se destaca que otros parámetros importantes como nitrato y fosfatos se reportan con 69% y 77% del total de muestras, respectivamente.
- b) Se destaca algunos parámetros no monitoreados como el boro, cobalto, hidrocarburos totales, sólidos suspendidos totales, todos ellos analitos de importancia ya que son emitidos, según información recopilada, por las fuentes presentes en la Bahía de Chapaco y de Huasco.
- c) Se recomienda analizar en las matrices agua y sedimento el contaminante tributilo de estaño (TBT), que es relevante por su toxicidad a la biota marina y por estar presente en las pinturas utilizadas para proteger embarcaciones.
- d) El monitoreo a pesar de ser extenso en tiempo no fue constante en los analitos medidos existiendo lapsos de tiempo hasta de 14 años sin reportes de ciertos analitos como arsénico disuelto, cobre disuelto y plomo disuelto, entre otros. Se destaca que de los 93 analitos monitoreados solo 32 de ellos poseen más de un 50% de mediciones respecto al total de muestras de agua, los 61 restantes no superan el 26% de las muestras totales.
- e) Se destaca también la importancia de monitoreos con métodos de medición similares, siendo un caso de ejemplo la medición de cobre disuelto y total, que entre ellas no son comparables. De forma similar existen numerosos parámetros que se miden para realizar un análisis extensivo de las muestras pero que no aportan información para el diagnóstico de la bahía.
- f) Se destaca la importancia de un reporte del límite de detección de forma correcta, donde dependiendo de la fuente de información se reportaba como el valor medio o con la indicación "<LD". Siendo la forma más recomendable "<LD".
- g) Se detectaron inconsistencias y omisiones en el reporte de unidades para los analitos medidos.
- h) Se detectaron inconsistencias y omisiones en el reporte de las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

En conclusión, para abordar estas brechas, se requiere del diseño y ejecución de un plan de monitoreo consistente y constante, centrado en parámetros relacionados a las emisiones de las fuentes emisoras y a parámetros básicos para la comprensión de los sistemas ambientales. En particular, con el objetivo de seleccionar estos parámetros, a lo largo del estudio se realizó una evaluación de los analitos relevantes según la superación de normativa; se revisaron los principales contaminantes emitidos por las fuentes emisoras; y se analizaron las brechas de información existentes en cuanto a parámetros relevantes que debiesen ser monitoreados.

A partir de lo anterior, se elaboró la siguiente lista de contaminantes y parámetros que debiesen ser monitoreados para las matrices agua y sedimento.

Tabla 47 – Analitos seleccionados para monitoreo y sus motivos de incorporación

Tipo de parámetro	Analitos	Motivo de selección
Parámetros físicos (in-situ)	Temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez, penetración de la luz en la columna de agua, pH.	Parámetros requeridos para la comprensión de sistemas acuáticos.
Parámetros químicos (iones mayores y nutrientes)	Silicatos, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, sulfuros, sulfatos, fosfatos, nitrógeno amoniacal, fluoruros, nitrógeno, magnesio, silicio, calcio, iones para balance iónico.	Compuestos presentes en emisiones líquidas.
Parámetros químicos (metales y metaloides)	Aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, fósforo, fosfatos, hidrocarburos, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, selenio, vanadio, zinc.	Analitos con superación de normativa. Analitos más medidos en monitoreos pasados. Compuestos presentes en emisiones líquidas y en relaves.
Parámetros químicos (orgánicos)	Hidrocarburos totales del petróleo (en fracciones), aceites y grasas.	Analitos con superación de norma en sedimentos. Compuestos presentes en emisiones líquidas.
Parámetros biológicos	DBO5, coliformes fecales	Analitos necesarios para la comprensión del sistema.

Biota

En relación con la información revisada y analizada, es posible señalar que existe una gran heterogeneidad de los datos en función de la información levantada en el área de Bahía Chapaco en el tiempo. Es discontinua en el tiempo y se utilizan con diferentes metodologías. Esto no permite establecer entre otros una dinámica poblacional de la Bahía, que pueda ser conocida y en profundidad y monitoreada a partir de ese conocimiento. Por ello se requiere conocer las dinámicas poblacionales del área respecto de macroinfauna de fondo blando principalmente, que es la variable con menos información recabada. Esto es relevante puesto que se necesita saber cuál será el efecto positivo o negativo en las comunidades existentes en el fondo blando de la Bahía, que responderán al futuro cese de la descarga de relave en el sector, a partir del año 2023, en septiembre. Esto es de sumo interés puesto que guarda directa relación con el origen de este estudio que intenta conocer y más que nada proponer acciones futuras en torno a la mejora del sector que ya no recibiría elementos contaminantes de la magnitud del vertimiento de relave por parte de la empresa CMP.

Asimismo, el reclutamiento a nivel intermareal y submareal es un elemento clave a conocer y necesario de seguir monitoreando debido a que es la expresión de los efectos positivos o negativos de aquí en más para la bahía, cuyo hito esencial será el cese de la descarga de relave en septiembre de 2023.

Como antecedente general, señalar que cada ensamble macro-infaunal es único y dinámico a la vez, con especies que pueden servir como indicadores de perturbación ambiental local. Los principales factores que influyen la distribución y composición de los ensambles de fondo blando son las características del sedimento y disponibilidad de alimento, los cuales, varían fuertemente con la profundidad (Piepenburg et

al., 2002; Lancellotti y Stotz, 2004). La principal fuente de alimento para la macro-infauna es la materia orgánica con su cantidad y calidad dependiendo fuertemente, en zonas costeras templadas, de la productividad fitoplanctónica y la mezcla de detrito vegetal proveniente desde el fondo y transportada desde el continente por los ríos (Szczepanek et al., 2021).

En función de esta información es que se requiere tener conocimiento para el caso de Ensenada Chapaco, de las dinámicas poblacionales a nivel de fitoplancton, con el objeto de efectuar correlaciones con la dinámica poblacional de la macroinfauna de fondo blando en la búsqueda de parámetros de seguimiento o bioindicadores específicos para el caso de esta bahía. Ello permitirá realizar un seguimiento y finalmente dar cuenta o no de una recuperación del estado ecológico.

Mientras los cambios en abundancias (y riqueza) y biomasa macro-infaunal presentan una serie de ventajas para evaluar y gestionar la calidad ambiental en sistemas costeros (resumido por Surugiu, 2009), se deben considerar la variación natural de los organismos independiente del relaveducto, y las limitaciones de un enfoque correlacional no-manipulativo (Hurlbert, 1984). Complementario a estudios buscando correlacionar las abundancias y biomasa macro-infaunal con gradientes de perturbación ambiental, estudios manipulativos han demostrado servir para evaluar el potencial de colonización de especies bajo distintos tipos de perturbación (Trannum et al., 2020).

Considerando el sostenido empobrecimiento mostrado por el ensamble macro-infaunal en Chapaco reportado aquí, y la evidencia mostrando que se necesitan varios años e incluso décadas para que estos ensamblajes expuestos a relaves mineros retornen a su estado original (Josefson et al., 2008; Schaanning et al., 2019), se recomienda un seguimiento ≥ 20 años después del cese de la descarga.

En relación al muestreo de fondo blando y el análisis de datos realizados bajo el PVA se recomienda:

- Mejorar el reporte de datos asegurando su disponibilidad y comparabilidad
- Incluir muestreo en zona norte de Chapaco y otras profundidades (ej. 50 y 120 m)
- Evaluar la realización de experimentos manipulativos (ej. jardín común)
- Incluir una estimación del suministro de alimento en términos de biomasa y composición fitoplanctónica
- Agregar el porcentaje de materia orgánica y pH en el sedimento
- Avanzar en la identificación de especies indicadoras de perturbación específicas para Chapaco que permitan calcular índices bióticos de estabilidad macro-infaunal

4.6 Análisis de la necesidad de restauración del borde costero de Huasco con énfasis en Bahía Chapaco

La Bahía Huasco y específicamente la Ensenada Chapaco es un sistema ecológico (una unidad funcional) que procesa e intercambia energía y materiales que posee una intervención principalmente antrópica, avalada por las conclusiones generales del estudio. En este sentido, se hace necesario efectuar una restauración ecológica del sector de Ensenada Chapaco, entendiendo la restauración ecológica como la disciplina técnico-científica orientada a la recuperación integral de un ecosistema que se encuentra parcial o totalmente degradado, en cuanto a su estructura vegetal, composición de especies, funcionalidad y autosuficiencia, hasta llevarlo a condiciones semejantes a las presentadas originalmente, sin dejar de considerar que se trata de sistemas dinámicos que se encuentran influenciados por factores externos que provocan que las características anteriores varíen dentro de un rango a lo largo del tiempo.

En este rango de tiempo se inserta entonces la necesidad de realizar seguimiento de las variables de mayor relevancia, contenidas en el respectivo plan de seguimiento ambiental, la generación de indicadores específicos, establecer luego medidas acotadas a la realidad del sector de estudio y generar normas apropiadas para la regulación futura. La implementación de las acciones de restauración depende del nivel de degradación del ecosistema¹⁷. Lo que se propone para Bahía Chapaco es el siguiente concepto:

Efectuar una acción humana cuyo objetivo sea facilitar el tránsito del ecosistema degradado de Bahía Chapaco hacia algún estado de referencia histórico, controles de referencia, representativo de la condición pre-perturbación. Los objetivos fundamentales serán:

1. Detener las causas que originaron la degradación (principalmente detener el aporte de relave a la Bahía, cuestión que ya se resolverá en septiembre de 2023)
2. Recuperar la flora y fauna marina propia de los ecosistemas históricos del área; facilitar y acelerar el proceso de sucesión ecológica de especies en todos los niveles, estimulando la regeneración natural
3. Promover acciones de auto-recuperación que permitan al ecosistema sostener su condición en el futuro.

En consecuencia, las acciones de restauración buscan generar un ecosistema más resiliente en Bahía Chapaco, es decir, que sea capaz de mantener su estructura, composición de especies y procesos ecológicos frente a variaciones ambientales.

¹⁷ <https://restauracionecologica.mma.gob.cl>

5 Objetivo específico N°4 – Proponer recomendaciones de manejo y restauración respecto del estado ecológico/ambiental del borde costero de Huasco, con énfasis en Bahía Chapaco y sociabilizar los resultados

5.1 Propuesta de recomendaciones de manejo y restauración del borde costero y ambiente marino de Huasco, con énfasis en la Bahía Chapaco, de acuerdo al diagnóstico y evidencias emanadas de este estudio

De acuerdo a las actividades anteriores, se plantean las siguientes recomendaciones para el manejo y restauración del borde costero y ambiente marino de Huasco y Bahía Chapaco:

- Realización de estudios complementarios que permitan determinar la contaminación en la bahía, el alcance histórico de ésta, además de sus efectos en la biota y salud humana
- Conformación de entidad a cargo de la vigilancia ambiental del área costera de Chapaco y Huasco que esté a cargo de la mantención y comunicación de la información recabada, además de la capacitación y sensibilización con respecto a la temática de la contaminación costera
- Avanzar en el proceso de desarrollo de una norma secundaria de calidad ambiental para la bahía de Chapaco

Al igual que indica el estudio de Centro de Ecología Aplicada (2020) para la bahía San Jorge, Antofagasta, no se consideran factible el dragado de sedimentos contaminados o el encapsulamiento de estos como medida de remediación para la bahía de Chapaco. Esto, dada su baja factibilidad económica dada la gran cantidad de sedimentos impactados que se han depositado a través de los años, lo que ha originado una extensa área impactada que requeriría de tratamiento. Los procesos de dragados adicionalmente requieren de una caracterización acabada de los contaminantes, sus características y la cantidad de material que se extraerá, con la finalidad de poder tomar decisiones en cuanto a su lugar de disposición final. El documento Guidelines for Dredging (Guía para el dragado) del 2001, desarrollado por la Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental) del estado de Victoria en Australia, indica que en general este es un proceso en general reservado para la mantención de la profundidad requerida para el paso de barcos, y que se debe considerar cuidadosamente la disposición final del material especialmente cuando está contaminado para no causar un problema mayor.

5.1.1 Realización de estudios complementarios

Considerando las brechas de información existentes en cuanto a caracterización ambiental, se proponen los siguientes estudios complementarios:

Monitoreo de variables ambientales: Este debiese realizarse por un periodo de dos años como mínimo, e incluir la caracterización de sedimentos, columna de agua, y biota. Con respecto a biota, se debe considerar los ecosistemas de las zonas intermareal, submareal blando y submareal duro. Se presenta en la Sección 5.2 una propuesta de monitoreo con sus costos y requerimientos.

Evaluación de riesgos a la salud: Se debiese de realizar una evaluación de riesgos a la salud humana utilizando metodologías internacionales (USEPA) que den cuenta de los riesgos que pudiesen estar generándose por el potencial consumo de especies locales con elevados niveles de contaminantes. De

manera muy resumida, esto se realiza mediante la determinación de los niveles de contaminantes presente en diferentes especies comestibles extraídas localmente, en conjunto con una evaluación de los receptores potenciales (población potencialmente afectada), y sus hábitos de consumo.

Evaluación de riesgos ecológicos: Se recomienda la realización de una evaluación de riesgos ecológicos para determinar el nivel de afectación de especies representativas de diferentes niveles tróficos. Esto se puede realizar comparando las concentraciones en sedimentos y columna de agua con los niveles de efectos (ej. NOAEL, EC50, etc.) reportados en la literatura. Otra manera de realizar una evaluación de riesgos es la de someter a las especies acuáticas a medios (sedimentos/agua) con diferentes concentraciones e ir observando sus efectos.

5.1.2 Conformación de entidad a cargo de la vigilancia ambiental de la bahía

Se recomienda la implementación de una entidad a cargo de la vigilancia ambiental conformada con actores públicos y privados de la región con la finalidad de velar por la mantención y comunicación de la información ambiental, además de la capacitación y sensibilización con respecto a la temática de la contaminación costera.

Como primer objetivo, esta entidad debiese estar encargada de mantener la información colectada actualmente por los Programas de Vigilancia Ambiental mantenidos por las empresas presentes, el Programa de Observación del Ambiente Litoral de la Directemar, procesos de evaluación ambiental (DIA, EIA), además de otros datos relevantes que pudiesen generarse por estudios específicos (ver 5.1.1). Esta información se debiese hacer disponible a la comunidad de manera didáctica y expedita, ya sea a través de la generación de material audiovisual u otros. Idealmente, se debiese mantener un sitio web donde se expliquen de manera sucinta conceptos ambientales relevantes, se muestren indicadores de calidad ambiental, se mantengan links a documentos oficiales (POAL, PVA, etc.), y se puedan descargar los datos mientras se van recopilando.

Adicionalmente, se propone que la entidad coordine esfuerzos para sensibilizar y capacitar sobre la problemática actual, sus efectos y acciones que pueden llevarse a cabo para revertir la situación actual. Se propone una intervención en variados niveles, comenzando con charlas a niños y jóvenes de los establecimientos educacionales municipales de la comuna, de modo que éstos comprendan la importancia de la Bahía para la sustentabilidad de la comuna y su estado de vulnerabilidad.

Existen muchas iniciativas de este tipo internacionalmente, entre las cuales se puede mencionar el programa *Great Barrier Reef Marine Monitoring Program*¹⁸ (Programa de Monitoreo de la Gran Barrera de Coral) de Australia, que vela por la protección de la Gran Barrera de Coral realizando monitoreo y seguimiento de variables ambientales en el área y es manejado por la entidad gubernamental Great Barrier Reef Park Authority. En cuanto a iniciativas nacionales, se puede mencionar la Red de Monitoreo Ambiental que evalúa las condiciones del estuario del Río Valdivia y es manejada por la Universidad Austral, y también el Monitoreo Ambiental y Productivo del Mar Interior de Chiloé, a cargo de monitorear las dinámicas bio-oceanográficas del mar interior de Chiloé, el cual es un proyecto Innova Corfo manejado por Intemit y la Universidad Austral. Una posibilidad para la conformación de esta entidad podría ser una cooperación entre

¹⁸ <https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/our-programs-and-projects/marine-monitoring-program>

la academia (ej. el Departamento de Química y Biología de la Universidad de Atacama), ONGs y el Ministerio del Medio Ambiente.

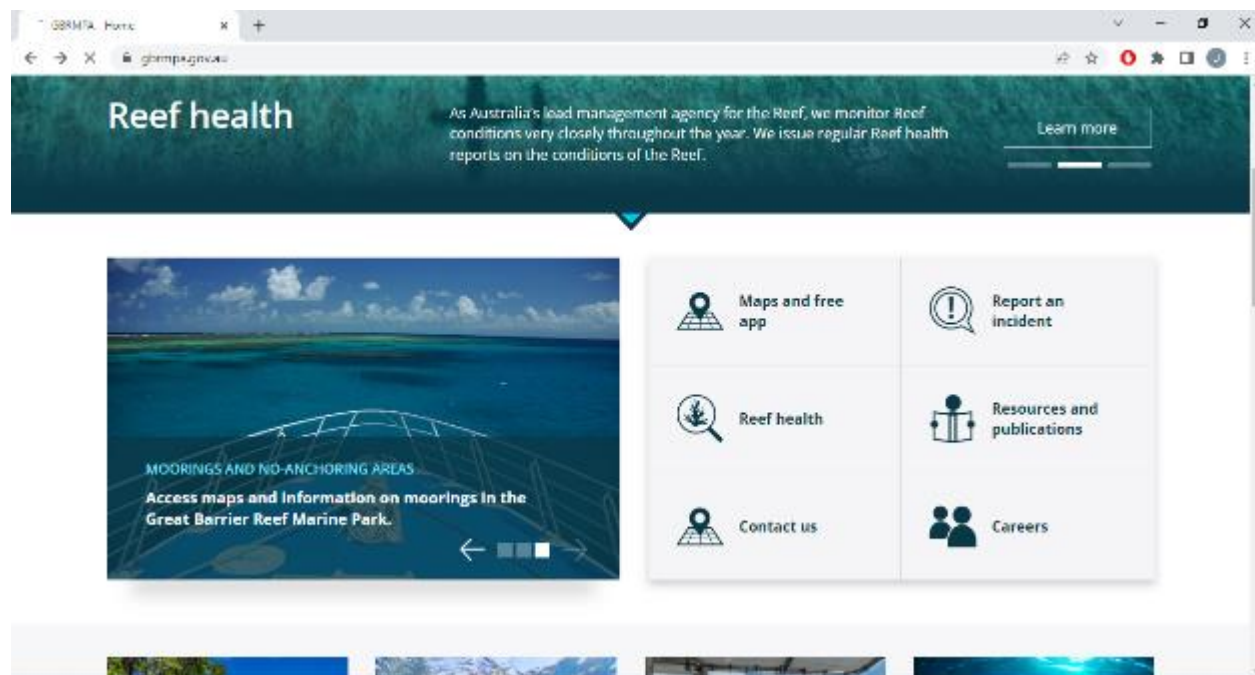


Figura 139 – Sitio web de Great Barrier Reef Marine Park Authority

5.1.3 Avanzar en los esfuerzos para el desarrollo de una norma de calidad de agua secundaria

Se debiese avanzar en los esfuerzos para el desarrollo de una norma de calidad de agua secundaria para la bahía de Chapaco. Cabe notar que como mencionado anteriormente, esto corresponde a una de las soluciones (C.1.1) indicadas por el PRAS para el componente “Mar”. Por consiguiente, es importante comprender qué comprende una norma de calidad secundaria y el proceso para su dictación.

La dictación de las normas de calidad ambiental se enmarca en el Decreto 38/2013 “Aprueba Reglamento Para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión” del Ministerio del Medio Ambiente, las que en su artículo 3º definen estas normas de la siguiente manera:

“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 cuanto a los requerimientos para la dictación de las normas de calidad ambiental, se indica en el artículo 6º, que estas deben comprender las siguientes etapas (que deberán tener una adecuada publicidad):

- Desarrollo de estudios científicos
- Análisis técnico y económico
- Consulta a organismos competentes, públicos y privados
- Análisis de las observaciones formuladas.

El proceso normativo se puede resumir en el siguiente diagrama:

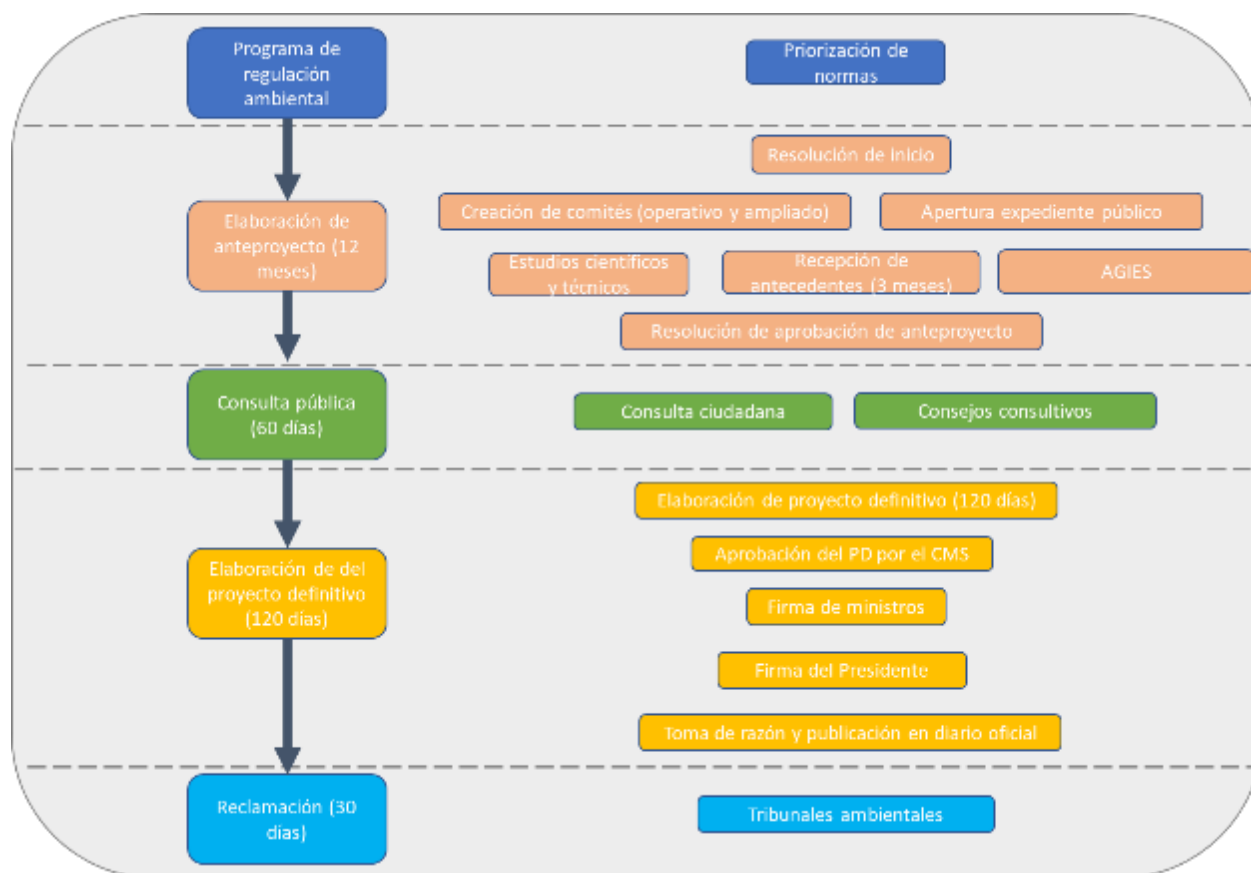


Figura 140 – Proceso para elaboración de normas

Actualmente, se encuentran vigentes las siguientes NSCA: NSCA Río Serrano (DS N°75/2010); NSCA Lago Llanquihue (DS N°122/2010); NSCA Lago Villarrica (DS N°19/2013); NSCA Río Maipo (DS N° 53/2014); NSCA Río Valdivia (DS N°1/2015); NSCA Río Biobío (DS N°9/2015). No existe ninguna NSCA para ecosistemas marinos, no obstante, como se vio en la sección 4.3.4, se han realizado estudios para revisar si la cantidad de datos es apropiada para la dictación de esta para comuna de Puchuncaví-Quintero. Formalmente, el proceso de NSCA para Puchuncaví-Quintero se encuentra en la etapa de conformación del comité operativo, de acuerdo al sistema de expedientes electrónicos del Ministerio del Medio Ambiente¹⁹.

¹⁹ https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=937647

De manera local, se observa que se inició el proceso de elaboración de norma secundaria para la cuenca de Huasco, mediante Resolución Exenta 553/2016 del Ministerio del Medio Ambiente, *Revoca Resolución Que Indica Y Da Inicio A La Elaboración De La Norma Secundaria De Calidad Ambiental Para La Protección De Las Aguas De La Cuenca Del Río Huasco*. Este proceso está en la etapa de elaboración de proyecto definitivo²⁰.

5.2 Propuesta de monitoreo anual del borde costero y ambiente marino de Huasco, con énfasis en la Bahía Chapaco

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.

5.2.1 Aspectos generales

- **Objetivo:** Evaluación de variables bióticas y abióticas en bahías de Chapaco y Huasco
- **Duración:** Muestreo semestral con campañas en verano e invierno por una duración de 2 años
- **Matrices a monitorear:** Columna de agua, sedimentos y biota
- **Estaciones de monitoreo:** al menos 10 estaciones

5.2.2 Columna de agua

El monitoreo en columna de agua debe comprender parámetros físicos, químicos y bióticos como se indica a continuación.

Tabla 48 – Parámetros a monitorear en columna de agua

Tipo de parámetro	Analitos	Metodología
Parámetros físicos (in-situ)	Temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez mediante una sonda paramétrica. Medición además de penetración de la luz en la columna de agua, utilizando un sensor PAR, y pH in-situ.	Se debe realizar un perfil de estas variables tomando mediciones cada 1m de profundidad hasta el fondo del lecho marino m. El pH se debe tomar in-situ a 1m e inmediatamente sobre el lecho marino.
Parámetros químicos y otros	Silicatos, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, sulfuros, sulfatos, fosfatos, nitrógeno amoniacal, hidrocarburos, aceites y grasas, tributilo de estaño (TBT). Adicionalmente se incluye concentración de metales pesados, principalmente aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, fósforo, fosfatos, hidrocarburos,	La colección de muestras debe realizarse a dos profundidades, una superficial (zona de mezcla) y la segunda inmediatamente antes del lecho marino. La obtención de las muestras se debe realizar mediante el uso de una botella oceanográfica Niskin (5 litros).

²⁰ https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/ver.php?id_expediente=927449

	hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, selenio, vanadio, zinc. DBO5 y coliformes fecales.	
Parámetros bióticos	Clorofila-a total, abundancia y composición fitoplanctónica (ej. diatomeas, dinoflagelados, cianobacterias)	Método fluorimétrico para clorofila-a. Método Utermöhl para abundancia y composición. Si al momento del muestreo se puede ver la señal de fluorescencia se podría tomar las muestras en la superficie + peak de fluorescencia + bajo el peak de fluorescencia. Alternativamente, tomar muestras a 1, 5, 10, 25, 50, 75 y 100 m.

5.2.3 Sedimentos

El monitoreo en sedimentos debe comprender parámetros físicos, químicos y bióticos como se indica a continuación.

Tabla 49 – Parámetros a monitorear en sedimentos

Tipo de parámetro	Analitos	Metodología
Parámetros físicos	Granulometría	El muestreo se debe realizar utilizando una draga tipo Van Veen de 0,1 m2 de mordida. Las muestras deben ser guardadas en bolsas de polietileno con cuidado de no romperlas, etiquetadas y conservadas para su envío al laboratorio.
Parámetros químicos	Silicatos, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, sulfuros, fosfatos, nitrógeno amoniacal, hidrocarburos totales del petróleo en fracciones, tributilo de estaño (TBT). Adicionalmente se incluye concentración de metales pesados, principalmente aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, fósforo, fosfatos, hidrocarburos, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, selenio, vanadio, zinc.	El muestreo se debe realizar utilizando una draga tipo Van Veen de 0,1 m2 de mordida. En cada una de las estaciones, se deben obtendrán dos muestras (réplicas). Las muestras deben ser guardadas en bolsas de polietileno con cuidado de no romperlas, etiquetadas y conservadas en frío para su envío al laboratorio.
Parámetros bióticos	Abundancias y biomasa de infauna a 20, 50 y 100 m de profundidad con 2 transectos y 3 réplicas por transectos por sitio y mínimo 1 sitio de referencia.	Las muestras serán obtenidas con una draga Van Veen de 0,1 m2 de mordida, las que serán guardadas en bolsas de polietileno etiquetadas y fijadas con formalina al 5% diluida en agua de mar.

		<p>Las muestras se deben trasladar al laboratorio, donde se lavarán con agua corriente y se filtrarán a través de un tamiz de 1mm de abertura de malla. 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.</p>
--	--	---

5.2.4 Biota

El monitoreo en biota debe comprender parámetros físicos, químicos y bióticos como se indica a continuación.

Tabla 50 – Parámetros a monitorear en biota

Tipo de parámetro	Analitos	Metodología
<p>Parámetros químicos</p>	<p>Metales pesados</p>	<p>Se deben seleccionar especies de diferentes grupos tróficos, privilegiando aquellos de importancia como recurso hidrobiológico. Esto puede incluir macrofauna intermareal rocosa (ej. lapas), crustáceos bentónicos (jaibas), y peces de submareal rocosa (apañao, bilagay). Estas muestras serán inmediatamente almacenadas en cooler con gel-pack para mantener la temperatura bajo los 4°C. Estas muestras se enviarán al Laboratorio para realizar el análisis respectivo de metales acumulados en los tejidos. Los análisis de metales se deben de realizar separadamente de la parte comestible (músculo) y de su hígado y/o estómago donde sea posible.</p>

5.2.5 Evaluación de intermareal rocoso

Adicionalmente se debe realizar una evaluación de comunidad intermareal de fondos duros en sitios costeros rocosos compuestos de rocas y peñascos expuestos a la acción de las olas, especialmente en el Norte de Ensenada Chapaco. Se debe cuantificar la pendiente de la costa para los sitios de muestreo y realizar la evaluación comunitaria dividiendo la zona intermareal en tres zonas: a) supralitoral, b)

mediolitoral y c) infralitoral. Se deben ubicar tres cuadrantes de 0,25 m² aleatoriamente en cada una de las tres zonas, y se contará el total de especies sésiles existentes. Para las algas y los organismos crustosos, se debe utilizar un cuadrante con una cuadrícula de 100 puntos de intersección para determinar el porcentaje de cobertura de cada especie observada. La identificación y la cuantificación de las especies se debe llevar a cabo por profesionales biólogos marinos.

5.2.6 Ubicaciones y costos de implementación

Las ubicaciones de las estaciones de monitoreo deberían cubrir el gradiente desde 3 hasta 18 m de depositación del relave y mínimo 1 estación en el costado sur de la Ensenada Chapaco, y con mínimo 2 estaciones en sitio vulnerable hacia el sur (Punta Lachos) y sitio control al norte de la bahía de Huasco (Cabo Norte).

Lo que se busca es tener llegar a un muestreo que sea costo efectivo, y que considere el número ideal de puntos de muestreo y los recursos que pueden estar disponibles para estas actividades. De manera general, de cualquier forma, se puede indicar que los costos por día de monitoreo de biota, agua y sedimentos ascienden a aproximadamente a 100 UF (se debiera realizar en 4-5 días), y los análisis por muestra alrededor de 15 UF.

Una propuesta de ubicación de las estaciones de monitoreo se presenta en la siguiente figura. El archivo SIG con estos puntos se encuentra en el Anexo 11.

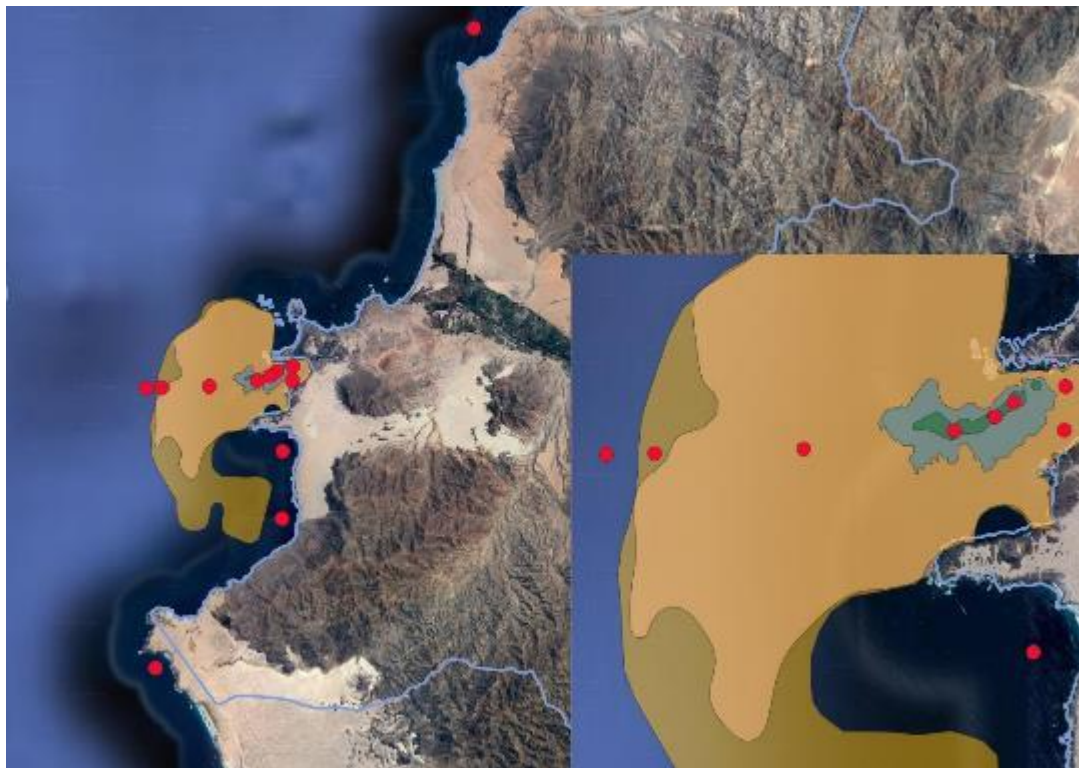


Figura 141 – Ubicación de los puntos de monitoreo propuestos

5.3 Estado ecológico/ambiental del borde costero y ambiente marino de Huasco, con énfasis en la Bahía Chapaco

Como desarrollado en la sección 4.1, se realizó un análisis para determinar los contaminantes y analitos más relevantes, en cuanto a su posible impacto al medio ambiente y su necesidad de seguir monitoreando en las bahías de Huasco y Chapaco. Para este análisis se contemplaron los datos de monitoreos y muestreos realizados en ambas bahías para las matrices agua y sedimentos, además de información sobre las emisiones de las fuentes emisoras de residuos líquidos a la bahía (relaves y otras). A partir de este análisis, se definieron los contaminantes relevantes ambientalmente encontrados en aguas y sedimentos de Ensenada Chapaco:

- Con un nivel de relevancia alto: arsénico, cobre, cromo, fósforo/fosfatos, zinc
- Con un nivel de relevancia medio: aluminio, cadmio, hierro, manganeso, níquel, selenio
- Con un nivel de relevancia bajo: cobalto, estaño, hidrocarburos, mercurio, plomo, vanadio

Adicionalmente, para todos los contaminantes seleccionados, se realizó un análisis en que se comparó la concentración de estos en el relave y su concentración en sedimentos en Huasco y Chapaco. Este análisis indica correspondencia en cuanto a las concentraciones de relaves y muestras de sedimentos de Chapaco, no así de las muestras tomadas en Huasco. Esto sugiere que los contaminantes determinados como ambientalmente relevantes, tienen probablemente como fuente el relave emitido en la ensenada, descartándose un origen natural para las concentraciones elevadas de estos. Es importante recalcar sí que lo anterior no implica necesariamente que estos contaminantes estén afectando la biota, ya que para determinar sus efectos son necesarios estudios de ecotoxicidad.

En cuando a biota, el análisis de información sobre la variación temporal y espacial de la macro-infauna submareal ha podido establecer lo siguiente respecto del estado ecológico de la Bahía Chapaco:

- Las abundancias, riqueza y biomasa promedio macro-infaunal en Chapaco son las menores reportadas dentro de la zona de estudio (~ 22 km de costa, $n = 7$ sitios).
- A nivel local existe una gran variación: desde sólo 2 taxa alcanzando altas abundancias en Chapaco 1994 (94 ind. • 0.1 m^{-2} Lancellotti y Stotz, 2004), pasando por un periodo de mayor riqueza entre 2012-2016 (rango: 14-21 taxa), y luego nuevamente bajas hasta 2022 (<< 11 taxa). La biomasa promedio macro-infaunal sufrió abruptos cambios anuales en Chapaco: en 2013 con la mayor biomasa y riqueza (5,3 g • 0.1 m^{-2} y 21 taxa) los poliquetos dominaron la biomasa comunitaria con el género *Mediomastus* spp. representando 89 % y 6 % de la biomasa y abundancia macro-infaunal. Esto cambió en 2015, 2016 y 2022 (a 12 m) cuando sólo 1 especie de molusco, *Felicioliva peruviana*, representó entre 71-97 % y 3-5 % de la biomasa y abundancia macro-infaunal. En 2022, la biomasa comunitaria a 12 m dominada por moluscos cambió a ser dominada a 22 m por 1 especie de crustáceo, *Pseudocorystes sicarius*, representando 77 % y 6 % de la biomasa y abundancia macro-infaunal. No se encontró macro-infauna a 28 m en Chapaco.
- Análisis de variancia y a posteriori muestran que las abundancias y riqueza promedio en Chapaco son significativamente menores ($p < 0,05$ en Huasco y Punta Lacho) o similares a sitios de referencia hacia el norte y sur ($p > 0,05$ en Huasco 2 y Cabo Norte).
- Análisis de curvas de rarefacción y diversidad asintótica muestran que Chapaco está lejos de saturar curvas de diversidad macro-infaunal, comparado con sitios con alta (Huasco), intermedia (PL1) y baja biomasa comunitaria (Cabo Norte).
- Análisis de curvas ABC, sugieren que Chapaco en 2022 presenta un grado de perturbación ambiental moderado con unos pocos taxa dominando la abundancia y biomasa comparado con 1

sitio de referencia ($W = 0,32$ vs $0,52$), aunque mostró capacidad de recuperación aguas adentro ($W = 0,61$; e.g., ver Lancellotti y Stotz, 2004), este ensamble macro-infaunal desapareció a los 28 m.

5.4 Material de difusión para sociabilizar los resultados del estudio

A partir de los resultados del estudio, se elaboró material audiovisual de difusión, consistente en un tríptico para ser entregado a la comunidad en las actividades o instancias de sociabilización del estudio, además de un video informativo. El contenido y formato del material fue discutido y acordado en conjunto con la contraparte técnica. El tríptico se presenta en el Anexo 12 y el video en el Anexo 13.

5.5 Taller informativo para presentar los resultados del estudio

En acuerdo con la contraparte técnica, se planificó y realizó una presentación de los resultados del estudio en una sesión extraordinaria del CRAS en la ciudad de Huasco. En esta participaron los integrantes del CRAS, además de profesionales de la Seremi de Medio Ambiente de Atacama y de la Municipalidad de Huasco. Los detalles de esta reunión se presentan en la minuta en el Anexo 14 y la presentación realizada en el Anexo 15.

5.6 Reuniones con diversos actores a lo largo del estudio

A lo largo del estudio, se planificaron y realizaron reuniones con diversos actores, que incluyen profesionales de CMP, profesionales de la Municipalidad de Huasco, integrantes del CRAS, además de profesionales de la Seremi de Medio Ambiente de Atacama (contraparte técnica). A continuación, se detallan las reuniones realizadas, separando aquellas en que participó la contraparte técnica (oficiales) y aquellas externas (con CMP).

5.6.1 Reuniones con MMA

Reunión	Fecha	Lugar	Participantes	Contenido
Reunión de inicio	7 de diciembre de 2021, 10:00	Online	Ricardo Catalán (MMA) Rocío Pino (MMA) Juan Luis Orellana (MMA) Jorge Alcaíno (EnSoil) Francisca Mihovilovic (EnSoil) Christian Betancourt (EnSoil) Pablo Moya (EnSoil)	Presentación del equipo técnico, objetivos del estudio, metodología de las actividades, cronograma de trabajo. Ver más detalle en minuta en Anexo 14.
Reunión de coordinación de terreno	2 de marzo de 2022, 10:00	Online	Ricardo Catalán (MMA) Rocío Pino (MMA) Juan Luis Orellana (MMA) Jorge Alcaíno (EnSoil)	Se presentó la planificación propuesta para la ida a terreno entre el 22 y 24 de marzo, en que se realizaría la evaluación

Reunión	Fecha	Lugar	Participantes	Contenido
			Francisca Mihovilovic (EnSoil) Christian Betancourt (EnSoil)	del intermareal y el muestreo de agua, sedimentos y biota (destacar que el muestreo no pudo ser realizado en la fecha propuesta, debido a malas condiciones climáticas).
Reunión con MMA y Municipalidad	24 de marzo de 2022, 12:00	Municipalidad de Huasco	Jorge Alcaíno (EnSoil) Christian Betancourt (EnSoil) Francisco Díaz (EnSoil) Genaro Briceño (Alcalde Huasco) Cinthia Iriarte (Encargada Medio Ambiente Municipalidad Huasco) Ricardo Catalán (MMA) Rocío Pino (MMA) Hugo Torres (MMA)	Presentación del estudio (contexto, objetivos, actividades) y recoger comentarios y preocupaciones de la municipalidad. Ver más detalle en minuta en Anexo 14.
Reunión coordinación informe final	7 de junio de 2022, 14:30	Online	Ricardo Catalán (MMA) Rocío Pino (MMA) Jorge Alcaíno (EnSoil) Francisca Mihovilovic (EnSoil) Christian Betancourt (EnSoil) Francisco Díaz (EnSoil)	Revisión de observaciones al informe final rev0. Planificación de actividades siguientes: se agenda reunión con CRAS en Huasco para el 23 de junio, en la que se realizará la presentación final del estudio. Ver más detalle en minuta en Anexo 14.
Reunión presentación final	23 de junio de 2022, 18:00	Municipalidad de Huasco	Equipo EnSoil Seremi Medio Ambiente de Atacama CRAS Huasco	Presentación final del estudio a CRAS de Huasco y al MMA (objetivos, actividades realizadas, resultados, conclusiones y recomendaciones). Ver más detalle en minuta en Anexo 14.

5.6.2 Reuniones con CMP

Reunión	Fecha	Lugar	Participantes	Contenido
Reunión 1	5 de enero de 2022, 14:30	Online	Profesionales de CMP Equipo EnSoil	Primera reunión para presentar los objetivos y actividades del estudio a CMP y para solicitar información de muestreos no disponibles públicamente. Solicitud de ingreso a planta de pellets de CMP para realización de evaluación intermareal.
Reunión 2	1 de abril de 2022, 12:30	Online	Edgardo Rivas (CMP) Claudio Masson (CMP) Karen González (CMP) Jorge Alcaíno (EnSoil) Francisca Mihovilovic (EnSoil) Christian Betancourt (EnSoil) Pablo Moya (EnSoil)	Aclaración de la información y documentos compartidos por CMP previamente (31 de marzo). Se hizo una revisión general de toda la información contenida en la carpeta compartida y se aclararon algunas dudas sobre esta.
Reunión 3	17 de mayo de 2022, 10:00	Online	Edgardo Rivas (CMP) Claudio Masson (CMP) Karen González (CMP) Paulina Andreoli (CMP) Marcelo Valdebenito (CMP) Jorge Alcaíno (EnSoil) Francisca Mihovilovic (EnSoil) Christian Betancourt (EnSoil) Francisco Díaz (EnSoil) Pablo Moya (EnSoil)	Presentación y aclaración de información compartida por CMP sobre las descargas en ensenada Chapaco.
Reunión 4	24 de mayo de 2022, 10:00	Online	Edgardo Rivas (CMP) Claudio Masson (CMP) Karen González (CMP) Paulina Andreoli (CMP) Marcelo Valdebenito (CMP) Jorge Alcaíno (EnSoil) Francisca Mihovilovic (EnSoil) Christian Betancourt (EnSoil) Francisco Díaz (EnSoil) Pablo Moya (EnSoil)	Presentación de historia de las descargas en ensenada Chapaco, además del footprint del relave depositado, modelo de predicción de crecimiento y plan de monitoreo propuesto por CMP luego del cese de la descarga.

6 Conclusiones generales y recomendaciones

A continuación, se presentan las principales conclusiones obtenidas de los distintos monitoreos e información analizada.

Monitoreos de agua

En cuanto a los monitoreos realizados en la zona, se destaca la presencia de altas concentraciones de aluminio, arsénico, cobre, cromo, fosfatos, plomo y zinc en el agua marina (con respecto a la norma australiana), según la información de los muestreos y monitoreos realizados en la bahía de Huasco y ensenada de Chapaco. Por otro lado, los resultados no indican una diferencia significativa en la calidad del agua de mar entre ambas bahías, a excepción de algunos contaminantes, como cobre y cromo, en que en general presentan concentraciones más altas en las aguas de Chapaco que de Huasco.

Monitoreos de sedimentos

En cuanto a los monitoreos realizados en la zona, se destaca la presencia de altas concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, hidrocarburos, mercurio, níquel y zinc en los sedimentos (con respecto a la norma australiana), según la información de los muestreos y monitoreos realizados en la bahía de Huasco y ensenada de Chapaco. Por otro lado, los resultados indican una diferencia relevante entre ambas bahías para los elementos aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, fósforo, hierro, manganeso, níquel, selenio, vanadio y zinc, que en general presentan concentraciones más altas en las aguas de Chapaco que de Huasco. Cabe destacar, además, que todos los puntos de monitoreo en la ensenada Chapaco están dentro del límite del footprint del relave según la información de CMP, por lo tanto, estos sedimentos corresponderían principalmente a material de relave depositado. Lo anterior coincide también con la firma química (relación entre contaminantes) y la granulometría entre las muestras de Chapaco y el relave.

Caracterización de fuentes emisoras y efluentes

En la zona de estudio, y a partir de la información disponible en RETC, SNIFA y SISS, se identificaron cuatro fuentes emisoras. De ellas, solo una, la Planta de Pellets de CMP descarga sus residuos industriales líquidos y relaves en la ensenada de Chapaco; otras dos fuentes (Guacolda, ENEL Huasco) realizan solo descargas eventuales de RILES al mar; y una (Emisario submarino de Nueva Atacama) realiza sus descargas a la bahía de Huasco, frente a la localidad del mismo nombre, no en la ensenada de Chapaco.

Con respecto a la caracterización de las descargas de estas fuentes emisoras según la información disponible en RETC, es relevante destacar que Guacolda es la principal emisora de arsénico, cobre y hierro; y que sus emisiones se vuelven dominantes a partir del año 2014. Por otro lado, para el año 2009 las emisiones de hierro superaron las 30 toneladas y fueron exclusivamente emitidas por la Planta de Pellets de CMP. Con respecto a iones, Guacolda es la principal emisora de fluoruros, mientras que CMP, de cloruros y sulfatos.

Análisis integral de datos fisicoquímicos

Se realizó un análisis para determinar los contaminantes y analitos más relevantes, en cuanto a su posible impacto al medio ambiente y su necesidad de seguir monitoreando en las bahías de Huasco y Chapaco. Para este análisis se contemplaron los datos de monitoreos y muestreos realizados en ambas bahías para las matrices agua y sedimentos, además de información sobre las emisiones de las fuentes emisoras de

residuos líquidos a la bahía (relaves y otras). A partir de este análisis, se definieron los contaminantes relevantes ambientalmente encontrados en aguas y sedimentos de Ensenada Chapaco:

- **Con un nivel de relevancia alto:** arsénico, cobre, cromo, fósforo/fosfatos, zinc
- **Con un nivel de relevancia medio:** aluminio, cadmio, hierro, manganeso, níquel, selenio
- **Con un nivel de relevancia bajo:** cobalto, estaño, hidrocarburos, mercurio, plomo, vanadio

Evaluación ecológica

Respecto de la evaluación ecológica efectuada que considera los resultados de la información obtenida en terreno (aspectos fisicoquímicos y biológicos), el análisis de los parámetros poblacionales (Abundancia, Biomasa, Densidad), la generación de curvas de dominancia ABC o k-dominancia y los descriptores comunitarios (Riqueza) y el posterior análisis comparativo con la información histórica bibliográfica de Bahía Chapaco, permiten establecer que:

- Existen bajos valores de abundancia, riqueza y biomasa en el sector de Bahía Chapaco en relación con otras zonas costeras aledañas.
- Existe una alta variabilidad en los datos de abundancia, riqueza y biomasa que impiden evaluar los impactos para el periodo 1995-2011. Además, la falta de un monitoreo mensual que incorpore el suministro de alimento hace muy difícil conocer la dinámica poblacional y sus impactos en otros niveles tróficos de la Bahía Chapaco.
- En el tiempo, como parte de la infauna de fondo blando, aparecen especies oportunistas probablemente producto de las modificaciones en las características de la composición tanto de sedimentos como de los parámetros físicoquímicos de la columna de agua de Bahía Chapaco.
- Los resultados de los análisis de curvas ABC, sugieren que la Bahía Chapaco presenta un grado de perturbación ambiental moderado con unos pocos taxa dominando la abundancia y biomasa. Esto impide a la comunidad macro-infaunal de Chapaco saturar curvas de rarefacción.

La descarga de relaves en ensenada Chapaco evidentemente ha afectado a las comunidades intermareales y submareales presentes en el área. El efecto más significativo ha sido descrito como disminución en la riqueza y la abundancia debido a las condiciones físicas de mayor turbidez en la columna de agua y el sofocamiento de biota de fondo blando por la misma descarga del relave. Si bien CMP realizó estudios de ecotoxicidad, los efectos en la biota por aumento de concentraciones de contaminantes en la columna de agua y sedimentos no se pueden descartar a priori, toda vez que existe evidencia en la literatura que sustentan estos efectos.

La Bahía Huasco y específicamente la Ensenada Chapaco es un sistema ecológico (una unidad funcional) que procesa e intercambia energía y materiales que posee una intervención principalmente antrópica, avalada por las conclusiones generales del estudio. En este sentido, se hace necesario efectuar una restauración ecológica del sector de Ensenada Chapaco, entendiendo la restauración ecológica como la disciplina técnico-científica orientada a la recuperación integral de un ecosistema que se encuentra parcial o totalmente degradado, en cuanto a su estructura vegetal, composición de especies, funcionalidad y autosuficiencia, hasta llevarlo a condiciones semejantes a las presentadas originalmente, sin dejar de considerar que se trata de sistemas dinámicos que se encuentran influenciados por factores externos que provocan que las características anteriores varíen dentro de un rango a lo largo del tiempo. En este sentido,

se han planteado las siguientes recomendaciones para el manejo y restauración del borde costero y ambiente marino de Huasco y Bahía Chapaco:

- Realización de estudios complementarios que permitan determinar la contaminación en la bahía, el alcance histórico de ésta, además de sus efectos en la biota y salud humana.
- Conformación de entidad a cargo de la vigilancia ambiental del área costera de Chapaco y Huasco que esté a cargo de la mantención y comunicación de la información recabada, además de la capacitación y sensibilización a nivel de comunidad con respecto a la temática de la contaminación costera.
- Avanzar en el proceso de desarrollo de una norma secundaria de calidad ambiental para la bahía de Chapaco.

7 Referencias bibliográficas

- ANZECC & ARMICANZ. 2000. "Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality". Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMICANZ).
- Australian Government. 2016. "Australia New Zealand Food Standards Code – Schedule 19 – Maximum levels of contaminants and natural toxicants". Disponible en: <https://www.legislation.gov.au/Details/F2017C00333>
- Belan, T. 2003. Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky Bay (the Peter the Great Bay, the Sea of Japan). *Marine Pollution Bulletin*. 46: 1111-1119.
- Belin, S., Sany, T., Hashim, R., Salleh, A., Rezayi, M. y Safari, O. 2015. Ecological quality assessment based on microbenthic assemblages indices along West Port, Malaysia coast. *Environmental Earth Science*. 74: 1331-1341.
- Calderón, N. 2019. "Índice de Calidad de Aguas Costeras para Chile" de la Universidad de Chile.
- CENMA. 2011. "Evaluación de riesgos para la salud en asentamientos humanos próximos a sitios de minería metálica: Investigación Preliminar y Confirmatoria de suelos con potencial presencia de contaminantes (SPPC). Comuna de Illapel".
- Centro de Ecología Aplicada (CEA). 2019. Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Mejillones del Sur
- Centro de Ecología Aplicada (CEA). 2020. Diagnóstico y monitoreo ambiental de la Bahía Algodonales, Tocopilla
- Centro de Ecología Aplicada (CEA). 2020. Análisis de Riesgo Ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta
- Centro de Ecología Aplicada (CEA). 2020. Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración ambiental y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero
- Centro de Estudios Agrarios y Ambientales. 2019. Plan de Monitoreo y Gestión de Objetos de Conservación en Bahía Mejillones, Comuna de Mejillones, Región de Antofagasta
- Centro de Estudios de Sistemas Sociales. 2021. Informe final Análisis para la creación de un área de conservación marina en la bahía de Mejillones del Sur, Región de Antofagasta
- Chao, A. et al. (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol. Monogr.*, 84, 45–67.
- CMP. 2012-2021. Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) "Depósito submarino de colas de proceso de la planta de pellets de la compañía minera del pacífico S.A. en Huasco" de la Compañía Minera del Pacífico (CMP).
- CMP. 2016. Estudio de Impacto Ambiental "Proyecto Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets".

- CMP. 2018. Declaración de Impacto Ambiental “Cese de la descarga de relaves en Ensenada Chapaco”.
- Compañía Minera del Pacífico. Anexo 18: Análisis histórico y estimación del impacto ambiental sobre comunidades biológicas en Ensenada Chapaco DIA cese de la descarga de relaves en Ensenada Chapaco. 2018. pp. 99.
- DIRECTEMAR. 2014-2019. Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) de la DIRECTEMAR para la Bahía de Chapaco.
- Environment Protection Authority. 2001. Guidelines for dredging. State of Victoria, Australia
- Espinoza-González, C., Meynard, A., Núñez, A. et al. Assessment of the independent and combined effects of copper and polycyclic aromatic hydrocarbons on gametogenesis and sporophyte development of the kelp *Lessonia spicata* (Phaeophyceae, Ochrophyta). *J Appl Phycol* 33, 4023–4034 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02552-7>
- FisioAqua. 2018. Anexo 18: Análisis histórico y estimación del impacto ambiental sobre comunidades biológicas en Ensenada Chapaco. DIA Cese de la descarga de Relaves en Ensenada Chapaco
- GAC. 2018. Anexo 12: Plan de Seguimiento Ambiental actualizado Adenda Cese de la descarga de Relaves en Ensenada Chapaco
- González, S., Stotz, W. y Lancellotti, D. 2014. Effects of the discharge of iron ore tailings on subtidal rocky-bottom communities in northern Chile. *Journal of Coastal Research*. 30: 500-514
- González et al. 2022. Guía visual para conocer e identificar sus componentes y especies, Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Isla Grande de Atacama (AMCP-MU IGA). Ministerio del Medio Ambiente. Seremi del Medio Ambiente Atacama
- Hsieh, T. C. et al. (2020) 2020 iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity. R package version 2.0.20.
- Hurlbert, S. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*. 54: 187-211.
- Josefson, A., Hansen, J., Asmund, G. y Johansen, P. 2008. Threshold response of benthic macrofauna integrity to metal contamination in West Greenland. *Marine Pollution Bulletin*. 56: 1265-1274.
- Koo, B., Je, J-G. y Shin, S-H. 2004. Benthic pollution assessment based on macrobenthic community structure in Gamak Bay, Southern Coast of Korea. *Ocean and Polar Research*. 26: 11-22.
- Kundu, S., Mondal, N., Lyla, P. y Khan, S. 2009. Biodiversity and seasonal variation of macro-benthic infaunal community in the inshore waters of Parangipettai Coast. *Environmental Monitoring and Assessment*. 163: 67-79.
- 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. - Szczepanek, M., Silberberger, M., Kozirowska-Makuch, K., Nobili, E. y Kędra, M. 2021. The response of coastal macrobenthic food-

web structure to seasonal and regional variability in organic matter properties. *Ecological Indicators*. 132: 10832

Latorre-Padilla, N.; AndrésMeynard; Fernanda Oyarzun; LorettoContreras-Porcía. Ingestion of contaminated kelps by the herbivore *Tetrapygnus niger*: Negative effects on food intake, growth, fertility, and early development. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 167, June 2021, 112365.

Méndez, N., Flos, J. y Romero, J. 1998. Littoral soft-bottom polychaete communities in a pollution gradient in front of Barcelona (Western Mediterranean, Spain). *Bulletin of Marine Science*. 63: 167-178.

Mining Watch Canada. 2002. Submarine Tailings Disposal Toolkit https://miningwatch.ca/sites/default/files/01.STDtoolkit.intr_.pdf

Ministerio de Medio Ambiente. Atlas de Riesgos Climáticos para Chile: Erosión de playas Accedido el 17 de junio del 2022.

Ministerio del Medio Ambiente. 2020. Guía visual para conocer e identificar sus componentes y especies, Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Isla Grande de Atacama (AMCP-MU IGA)

Ministerio de Medio Ambiente. Documento marco para la Restauración Ecológica.

Noss, R. 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology - CONSERV BIOL*. 4. 355-364

Pabis, K., Sicinski, J. y Krymarys, M. 2011. Distribution patterns in the biomass of macrozoobenthic communities in Admiralty Bay (King George Island, South Shetlands, Antarctic). *Polar Biology*. 34: 489-500.

Piepenburg, D., Schmid, M. y Gerdes, D. 2002. The benthos off King George Island (South Shetland Islands, Antarctica): further evidence for a lack of a latitudinal biomass cline in the Southern Ocean. *Polar Biology*. 25: 146-158.

PRDW. 2018. Anexo 17: Análisis geoespacial y predicción de la descarga DIA Cese de la descarga de Relaves en Ensenada Chapaco.

Ramírez R. 2009. Moluscos gasterópodos como bioindicadores en el archipiélago canario: de procesos naturales a casuas antropogénicas. Tesis doctoral Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

RStudio Team. 2022. RStudio: Integrated Development Environment for R.

Rodríguez, F., Moraga, C., Castillo, J., Gálvez, E., Robles, P. y Toro, N. 2021. Submarine tailings in Chile-a review. *Metals*. 11: 780.

SEMAR. 1989. Estudio Oceanográfico Zona Guacolda – Chapaco

Schaanning, M., Trannum, H., Øxnevad, S. y Ndungu, K. 2019. Benthic community status and mobilization of Ni, Cu and Co at abandoned sea deposits for mine tailings in SW Norway. *Marine Pollution Bulletin*. 141: 318-331.

- Surugiu, V. 2009. An overview of the methods used in the assessment of the marine environmental quality, based on the analysis of the zoobenthos. *Studia Universitatis Babes.* 1: 79-95.
- Szczepanek, M., Silberberger, M., Koziorowska-Makuch, K., Nobili, E. y Kędra, M. 2021. The response of coastal macrobenthic food-web structure to seasonal and regional variability in organic matter properties. *Ecological Indicators.* 132: 108326.
- Trannum, H., Næss, R. y Gundersen, H. 2020. Macrofaunal colonization of mine tailings impacted sediments. *Science of the Total Environment.* 708: 134866.
- U. S. Department of Energy. 1979. Extraction of uranium from seawater: Evaluation of uranium resources and plant siting. Volume I. Disponible en: <https://www.osti.gov/servlets/purl/6191296#:~:text=Although%20the%20concentration%20of%20uranium,great%2C%20some%204.5%20billion%20tonnes>
- Vare, L., Baker, M., Howe, J., Levin, L., Neira, C., Ramirez-Llodra, E., Reichelt-Brushett, A., Rowden, A., Shimmiel, T., Simpson, S. y Soto, E. 2018. Scientific considerations for the assessment and management of mine tailings disposal in the deep sea. *Frontiers in Marine Science.* 5: 17.
- Vásquez, J., Matsuhira, B., Vega, M., Pardo, L. y Veliz, D. 2000. The effects of mining pollution on subtidal habitats of northern Chile. *International Journal of Environment and Pollution.* 13: 453-472.
- Vásquez J, y Santelices B., 1984. Comunidades de macroinvertebrados en discos adhesivos de *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta) en Chile Central, *Revista Chilena de Historia Natural* 57: 131-154.
- Warwick, R. y Clarke, R. 1993. Comparing the severity of disturbance: a meta-analysis of marine microbenthic community data. *Marine Ecology Progress Series.* 92: 221-231.

8 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.
Coordinadora / Especialista ambiental	Francisca Mihovilovic	Realizar seguimiento técnico, asesoría técnica, planificación, desarrollo y revisión de los informes.
Especialistas ciencias biológicas	Christian Betancourt Francisco Díaz	Encargados del diseño y ejecución de muestreo de biota y evaluación de estado ecológico de la zona en estudio.
Especialista SIG	Pablo Moya	Apoyo en análisis en SIG, elaboración de productos geográficos y elaboración de informes.
Geógrafo	Paul Lorca	Apoyo en revisión de antecedentes y revisión de informes.
Ingeniera química	Fernanda Carrasco	Apoyo en elaboración de informes, incluyendo el punto de vista químico de la evaluación.

Jorge Alcaíno – Jefe de proyecto

Ingeniero Ambiental y MSc en Ciencias del Medio Ambiente (Universidad de Sydney, Australia), chileno-australiano, bilingüe, con más de 12 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 (minerías, 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 – Coordinadora / especialista ambiental

Ingeniera Civil Ambiental de la Pontificia Universidad Católica de Chile con más de 3 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).

Christian Betancourt – Especialista 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.

Francisco Díaz – Especialista ciencias biológicas

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.

Pablo Moya – Profesional de proyecto

Ingeniero Civil Ambiental con **Máster en Ciencias de la Ingeniería** (enfocado en contaminación urbana de origen minero en Copiapó) de la Pontificia Universidad Católica de Chile con 5 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. 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”.

Paul Lorca – Profesional de proyecto

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 multidisciplinarios 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.

Fernanda Carrasco – Profesional de proyecto

Ingeniera de Ejecución en Química de la Universidad de Santiago de Chile y **Técnico Universitario en Análisis Químico y Físico** de la misma casa de estudios. Cuenta con 9,5 años de experiencia en análisis fisicoquímico de suelo y agua, gran parte de este tiempo supervisando el desarrollo técnico de diversos proyectos de investigación en el Laboratorio de Calidad de Aguas y Geoquímica Ambiental de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). Cuenta con gran experiencia en análisis instrumental y analítico, además de desarrollo y ejecución de campañas de terreno. También, ha desarrollado consultorías para el sector público (Ministerio de Obras Públicas) en análisis de sedimentos, aguas y arenas para cumplimiento de normativas; estudios de intrusión salina en humedales; como también fue parte de dos proyectos mandados por el Ministerio del Medio Ambiente para el desarrollo de lineamientos para nueva norma de calidad para suelos.